

МИКРОСХЕМА ИНТЕГРАЛЬНАЯ
1906ВМ016

Руководство пользователя

Содержание

1	Введение.....	6
2	Краткое техническое описание.....	6
2.1	Функциональные возможности.....	6
2.1.1	Особенности архитектуры.....	6
2.1.2	Функциональное назначение выводов.....	8
2.1.3	Система команд.....	14
2.1.4	Карта памяти микропроцессора.....	14
2.1.5	Механизмы сбоеустойчивости.....	16
2.2	Основные характеристики микросхемы.....	18
3	Начало работы.....	20
3.1	Режимы работы процессора.....	20
3.2	Подключение выводов.....	20
3.3	Внешнее ОЗУ.....	20
3.4	Инициализация кэша, конфигурация доступа к PROM.....	21
3.5	Запуск программы из ПЗУ.....	21
3.6	Отладка программ.....	23
3.7	Сторожевой таймер.....	24
4	Функциональное описание.....	25
4.1	Система сброса.....	25
4.1.1	Общие сведения.....	25
4.1.2	Принцип работы.....	25
4.2	Система тактирования.....	25
4.3	Контроллер конфигурации.....	26
4.3.1	Общие сведения.....	26
4.3.2	Принцип работы.....	27
4.3.3	Формат представления регистров.....	27
4.3.4	Регистры.....	28
4.4	Процессорное ядро LEON4.....	33
4.4.1	Общие сведения.....	33
4.4.2	Блок целочисленной арифметики LEON4.....	35
4.4.3	Подсистема кэша.....	42
4.4.4	Блок управления памятью (MMU).....	48
4.4.5	Блок арифметики с плавающей запятой.....	49
4.4.6	AMBA интерфейс.....	55
4.4.7	Идентификаторы адресных пространств (ASI).....	58
4.4.8	Регистры конфигурации.....	61
4.5	Контроллер PROM / IO.....	69
4.5.1	Общие сведения.....	69
4.5.2	Доступ к области PROM.....	70
4.5.3	Доступ к области IO.....	71
4.5.4	Управление временной диаграммой контроллера PROM / IO.....	72
4.5.5	8-битный режим области PROM.....	72
4.5.6	Система сигнализации о готовности.....	73
4.5.7	Описание системы сигнализации об ошибке доступа.....	74
4.5.8	Коррекция ошибок.....	75
4.5.9	Регистры.....	76
4.6	Контроллер SRAM.....	77
4.6.1	Общие сведения.....	77
4.6.2	Доступ к области SRAM.....	77
4.6.3	Управление временной диаграммой контроллера SRAM.....	79
4.6.4	Система сигнализации о готовности.....	80
4.6.5	Описание системы сигнализации об ошибке доступа.....	81
4.6.6	Коррекция ошибок.....	82

4.6.7	Регистры	82
4.7	Контроллер SDRAM	83
4.7.1	Общие сведения	83
4.7.2	Доступ к области SDRAM	84
4.7.3	Тактирование синхронной динамической памяти	84
4.7.4	Инициализация микросхем динамической памяти	86
4.7.5	Структура обращений к памяти	86
4.7.6	Управление параметрами конфигурации SDRAM	86
4.7.7	Коррекция ошибок	88
4.7.8	Регистры	89
4.8	Контроллер прерываний	89
4.8.1	Общие сведения	89
4.8.2	Принцип работы	90
4.8.3	Таблица прерываний	92
4.8.4	Регистры	92
4.9	Отладочный модуль LEON4	95
4.9.1	Общие сведения	95
4.9.2	Принцип работы	96
4.9.3	Буфер трассировки АНВ	96
4.9.4	Буфер трассировки инструкций	97
4.9.5	Карта памяти DSU	98
4.9.6	Регистры DSU	100
4.10	Отладочный интерфейс JTAG	107
4.10.1	Общие сведения	107
4.10.2	Принцип работы	108
4.10.3	Тактовая синхронизация	109
4.10.4	Контроллер TAP JTAG	110
4.10.5	Регистры TAP контроллера	111
4.11	Отладочный интерфейс UART	111
4.11.1	Общие сведения	111
4.11.2	Принцип работы	111
4.11.3	Регистры	113
4.12	Регистры статуса АНВ	114
4.12.1	Общие сведения	114
4.12.2	Принцип работы	114
4.12.3	Регистры	115
4.13	Блок таймеров общего назначения	115
4.13.1	Общие сведения	115
4.13.2	Принцип работы	116
4.13.3	Регистры	117
4.14	Порт ввода-вывода общего назначения	120
4.14.1	Общие сведения	120
4.14.2	Принцип работы	121
4.14.3	Регистры	122
4.15	Интерфейс UART	124
4.15.1	Общие сведения	124
4.15.2	Принцип работы	125
4.15.3	Генерация скорости передачи	126
4.15.4	Режим обратной петли	127
4.15.5	Режим отладки FIFO	127
4.15.6	Генерация прерывания	127
4.15.7	Регистры	128
4.16	Интерфейс MIL-STD-1553/AS15531	130
4.16.1	Общие сведения	130

4.16.2	Электрический интерфейс	131
4.16.3	Принцип работы	132
4.16.4	Работа контроллера шины	133
4.16.5	Работа удаленного терминала	139
4.16.6	Работа монитора шины	145
4.16.7	Тактирование	146
4.16.8	Регистры	147
4.17	Интерфейс SpaceWire с поддержкой RMAP	159
4.17.1	Общие сведения	159
4.17.2	Принцип работы	160
4.17.3	Интерфейс связи	161
4.17.4	Распространение системного времени (тайм-кодов)	164
4.17.5	Приёмный канал DMA	165
4.17.6	Передающий канал DMA	171
4.17.7	RMAP	175
4.17.8	Интерфейс AMBA	180
4.17.9	Аппаратные особенности	181
4.17.10	Регистры	182
4.17.11	Интерфейс прикладного программирования (API)	190
4.18	Интерфейс Ethernet с поддержкой EDCL	204
4.18.1	Общие сведения	204
4.18.2	Принцип работы	205
4.18.3	Интерфейс Tx DMA	206
4.18.4	Интерфейс Rx DMA	208
4.18.5	Интерфейс MDIO	210
4.18.6	Линия связи отладки Ethernet (EDCL)	211
4.18.7	Независимый от среды интерфейс (MIP)	213
4.18.8	Программные драйверы	213
4.18.9	Регистры	213
4.19	Интерфейс CAN	217
4.19.1	Общие сведения	217
4.19.2	Общие сведения о контроллере интерфейса CAN	218
4.19.3	Интерфейс АНВ	218
4.19.4	Режим BasicCAN	219
4.19.5	Режим PeliCAN	222
4.19.6	Общие регистры	233
4.19.7	Особенности интерфейса CAN	234
4.20	Интерфейс USB 2.0	235
4.20.1	Общие сведения	235
4.20.2	Принцип работы	236
4.20.3	Операции DMA	237
4.20.4	Порядок следования байт	237
4.20.5	Поддержка приемо-передатчиков	238
4.20.6	Регистры	238
4.21	Интерфейс PCI	239
4.21.1	Общие сведения	239
4.21.2	Конфигурация	240
4.21.3	Принцип работы	244
4.21.4	Интерфейс ведущего устройства PCI	247
4.21.5	Интерфейс ведомого устройства PCI	249
4.21.6	Контроллер DMA	250
4.21.7	Прерывания	252
4.21.8	Сброс	253
4.21.9	Регистры	253

4.22	Контроллер шины АНВ	257
4.22.1	Общие сведения	257
4.22.2	Принцип работы	258
4.23	Контроллер шины APB	259
4.23.1	Общие сведения	259
4.23.2	Принцип работы	260
4.24	Цепь граничного сканирования	260
4.25	Конфигурация процессора 1906BM016	261
5	Описание архитектуры	263
5.1	Архитектура SPARC	263
5.1.1	Особенности архитектуры	263
5.1.2	Технические характеристики	263
5.1.3	Словарь терминов	264
5.2	Форматы данных	265
5.3	Регистры	268
5.3.1	Регистры IU	269
5.3.2	Регистры управления/статуса блока целочисленной арифметики (IU)	272
5.3.3	Регистры FPU	276
5.3.4	Регистры управления/статуса FPU	277
5.4	Системные прерывания	283
5.4.1	Категории прерываний	284
5.4.2	Модели системных прерываний	285
5.4.3	Идентификация системных прерываний	289
5.4.4	Описание системного прерывания	291
5.4.5	Описание отдельных исключений / прерываний	292
6	Введение в систему команд	295
6.1	Выполнение инструкций	295
6.1.1	Форматы инструкций	295
6.1.2	Поля инструкций	296
6.2	Категории инструкций	298
6.2.1	Инструкции загрузки/сохранения	298
6.2.2	Целочисленные арифметические инструкции	300
6.2.3	Инструкции передачи управления (СТI)	301
6.2.4	Чтение/запись регистров состояния	307
6.2.5	Инструкции операций с плавающей запятой (FPop)	307
6.2.6	Инструкции сопроцессора (CPop)	307
7	Программно-аппаратный комплекс средств разработки и отладки	308
7.1	Интегрированная среда разработки и отладки приложений	308
7.1.1	Состав ИСР	308
7.1.2	Интерфейс пользователя	308
7.1.3	Функциональные блоки	311
7.1.4	Подсистема структурного анализа исходных текстов	313
7.1.5	Подсистема отладки	313
7.2	Программное обеспечение «GRAIP»	313
7.3	Аппаратная часть	313
8	Заключение	316
	Приложение А (обязательное) Описание инструкций	317
	Приложение Б (обязательное) Конфигурация plug & play	372
	Приложение В (справочное) Версии РП	376
	Лист регистрации изменений	378

1 Введение

В настоящем руководстве пользователя (далее РП) приведено описание архитектуры, функциональных особенностей, системы команд и особенностей применения ИС 1906BM016.

Микропроцессор 1906BM016 построен на базе ядра LEON4 архитектуры SPARC V8/V8e и производится по технологическим нормам 0,18 мкм.

К архитектурным особенностям ИС 1906BM016 относятся интегрированные механизмы сбоеустойчивости.

2 Краткое техническое описание

2.1 Функциональные возможности

Процессор 1906BM016 имеет следующие особенности:

- процессорное ядро SPARC V8/LEON4 (с частичной поддержкой расширения V8e) с кэшем 8+8 Кбайт, модулем MMU и встроенными механизмами сбоеустойчивости;
- тактовая частота до 100 МГц;
- встроенный отладочный модуль с буфером трассировки;
- отладочный интерфейс JTAG;
- контроллеры памяти PROM/SRAM/SDRAM с кодами коррекции Хэмминга и Рида-Соломона и поддержкой:
 - до 256 Мбайт PROM;
 - до 256 Мбайт SRAM;
 - до 1 Гбайт SDRAM;
- 64 Кбайта встроенной памяти с кодом коррекции Хэмминга;
- контроллер памяти ввода-вывода (ИО) с поддержкой до 256 Мбайт;
- 4 интерфейса SpaceWire с поддержкой RMAP;
- 2 интерфейса MIL-STD-1553B;
- 2 интерфейса UART;
- 2 интерфейса CAN;
- интерфейс Ethernet с поддержкой EDCL;
- интерфейс USB 2.0;
- интерфейс PCI 2.2;
- 4 таймера-счетчика;
- сторожевой таймер;
- 16 выводов порта общего назначения;
- цепь граничного сканирования.

Поддерживаемые функции из расширения SPARC V8e:

- аппаратная поддержка операций умножения с накоплением;
- возможность одновекторной обработки системных прерываний;
- частичная запись в регистр %PSR (инструкция WRPSR).

2.1.1 Особенности архитектуры

Структурная схема микропроцессора 1906BM016 приведена на рисунке [2.1.1](#).

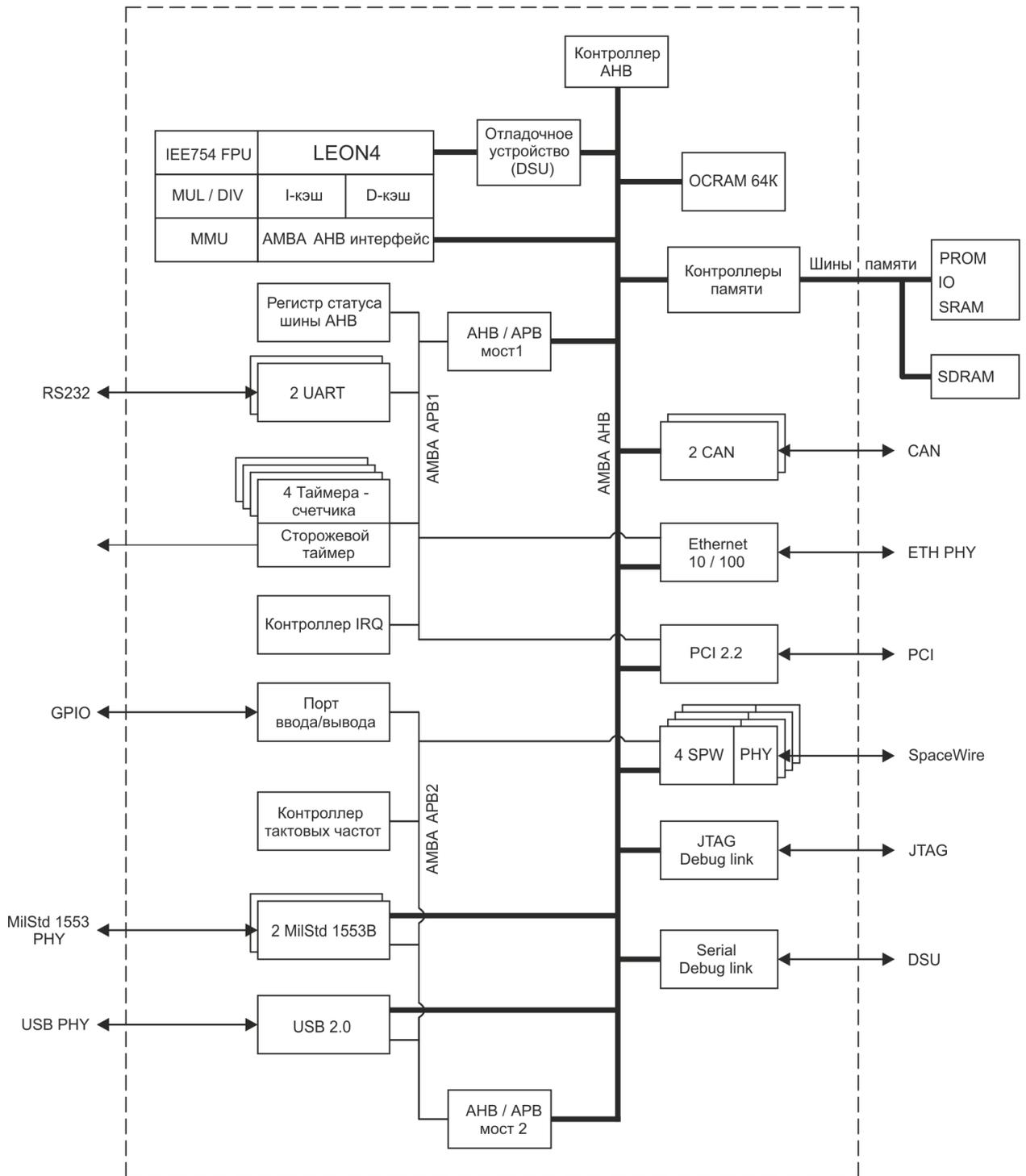


Рисунок 2.1.1 – Структурная схема микропроцессора 1906BM016

На рисунке 2.1.2 приведено условное графическое обозначение микропроцессора 1906BM016.

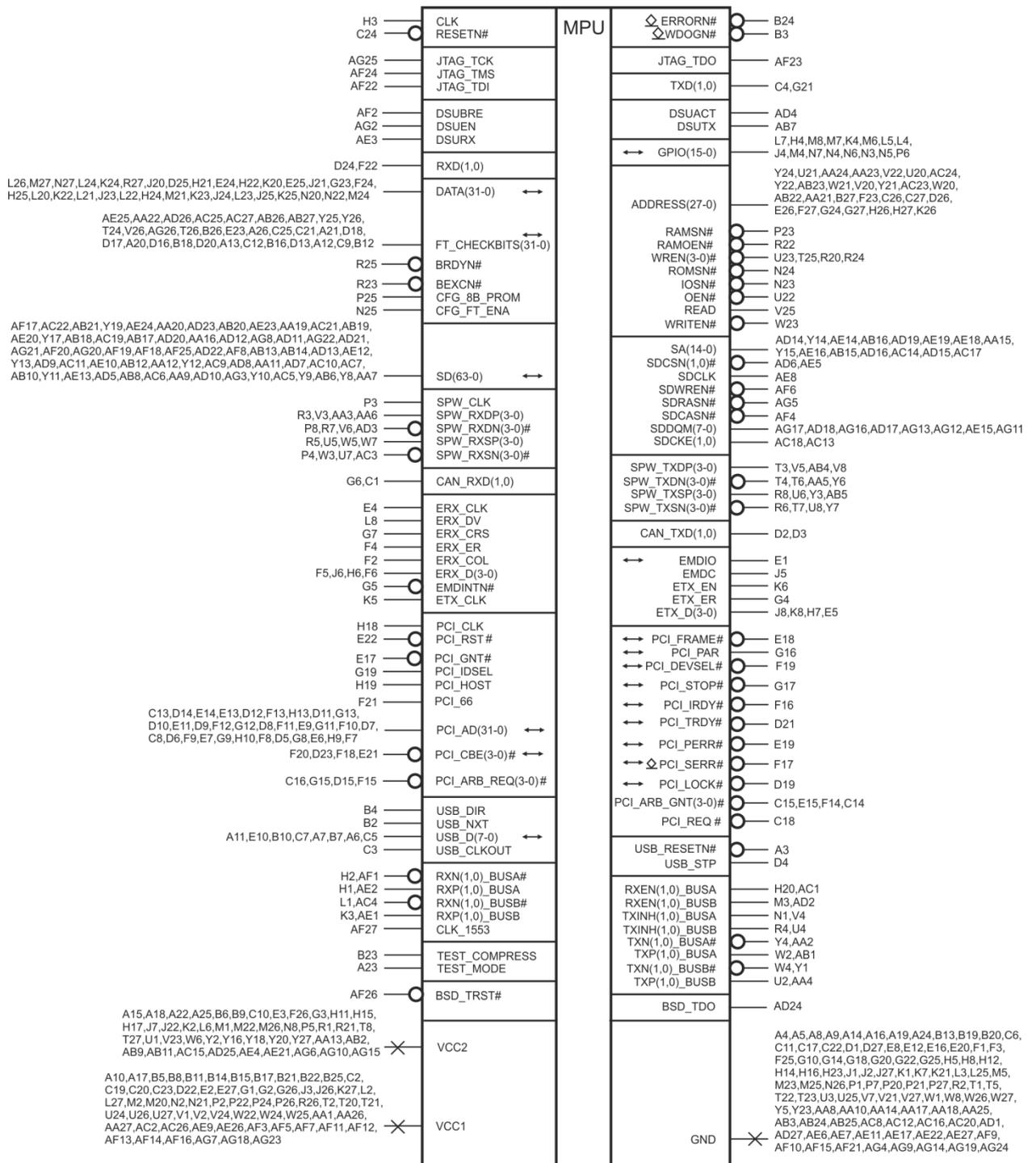


Рисунок 2.1.2 – Условное графическое обозначение микропроцессора 1906BM016

2.1.2 Функциональное назначение выводов

В таблице 2.1.1 представлен полный перечень выводов микропроцессора и их описание. На рисунке 2.1.3 приведена информация о 602-выводном металл-керамическом корпусе микропроцессора МК 6117.602-D.

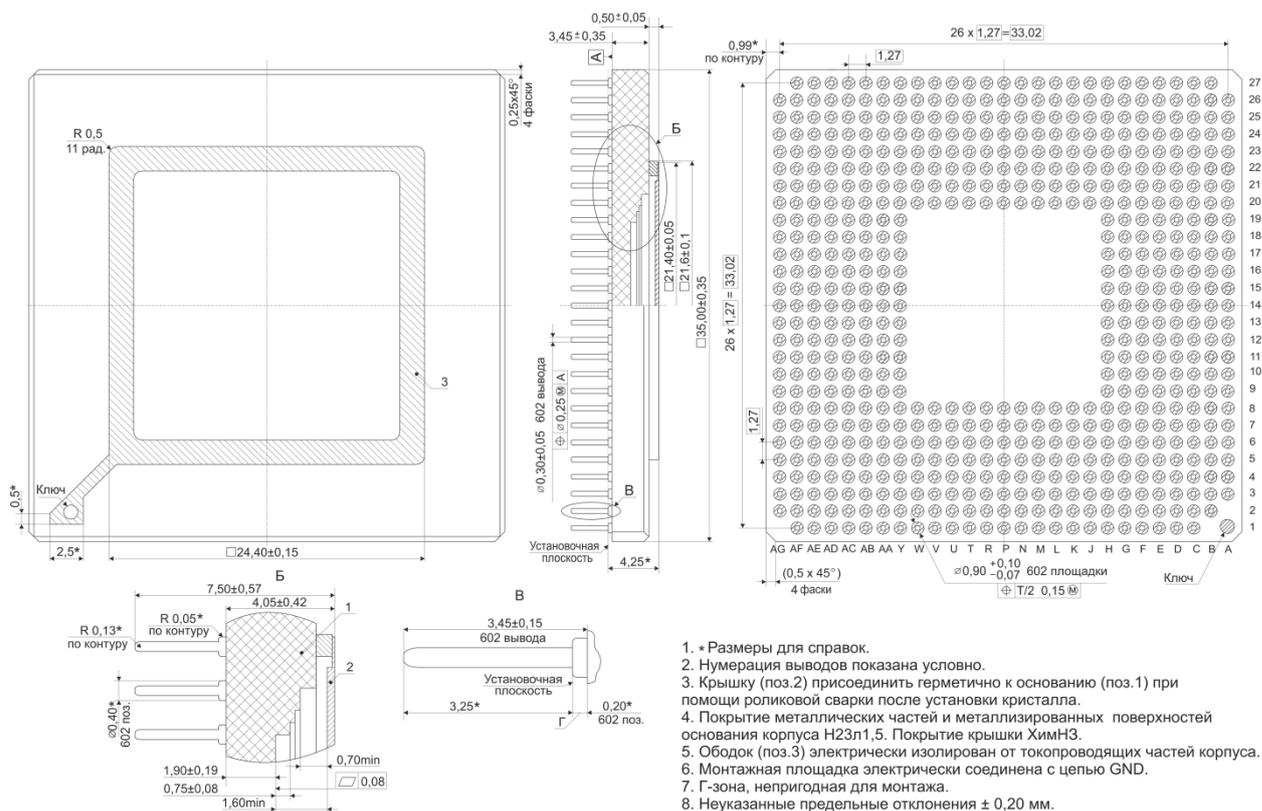


Рисунок 2.1.3 – Корпус микропроцессора 1906BM016

Таблица 2.1.1 – Функциональное назначение выводов

Название вывода	Обозначение вывода*	Тип вывода**	Функциональное назначение вывода
1	2	3	4
H3	CLK	I	Вход тактового сигнала
C24	RESETN#	I	Сброс
B24	ERRORN#	O/2	Флаг ошибки
B3	WDOGN#	O/2	Выход сторожевого таймера
AG25	JTAG_TCK	I	Вход TCK интерфейса JTAG
AF24	JTAG_TMS	I	Вход TMS интерфейса JTAG
AF22	JTAG_TDI	I	Вход TDI интерфейса JTAG
AF23	JTAG_TDO	O	Выход TDO интерфейса JTAG
AF26	BSD_TRST#	I	Асинхронный сброс контроллера граничного сканирования
AD24	BSD_TDO	O	Выход данных контроллера граничного сканирования
A23	TEST_MODE	I	Тестовые входы
B23	TEST_COMPRESS	I	Тестовые входы
N25	CFG_FT_ENA	I	Глобальное запрещение коррекции ошибок
P25	CFG_8B_PROM	I	Вход активации 8-битного режима PROM
AD4	DSUACT	O	Выход АСТ интерфейса DSU
AF2	DSUBRE	I	Вход BRE интерфейса DSU
AG2	DSUEN	I	Вход разрешения DSU
AE3	DSURX	I	Вход приемника DSU
AB7	DSUTX	O	Выход передатчика DSU

Продолжение таблицы 2.1.1

1	2	3	4
L7, H4, M8, M7, K4, M6, L5, L4, J4, M4, N7, N4, N6, N3, N5, P6	GPIO(15–0)	I/O	Выводы порта общего назначения, разряды 15–0
L26, M27, N27, L24, K24, R27, J20, D25, H21, E24, H22, K20, E25, J21, G23, F24, H25, L20, K22, L21, J23, L22, H24, M21, K23, J24, L23, J25, K25, N20, N22, M24	DATA(31–0)	I/O	Выводы шины данных, разряды 31–0
AE25, AA22, AD26, AC25, AC27, AB26, AB27, Y25, Y26, T24, V26, AG26, T26, B26, E23, A26, C25, C21, A21, D18, D17, A20, D16, B18, D20, A13, C12, B16, D13, A12, C9, B12	FT_CHECKBITS(31–0)	I/O	Выводы шины коррекции ошибок, разряды 31–0
R25	BRDYN#	I	Сигнал готовности SRAM, PROM, IO
R23	BEXCN#	I	Ошибка доступа SRAM, PROM, IO
Y24, U21, AA24, AA23, V22, U20, AC24, Y22, AB23, W21, V20, Y21, AC23, W20, AB22, AA21, B27, F23, C26, C27, D26, E26, F27, G24, G27, H26, H27, K26	ADDRESS(27–0)	O	Выводы шины адреса, разряды 27–0
P23	RAMSN#	O	Выбор блока SRAM
R22	RAMOEN#	O	Разрешение выдачи данных SRAM
U23, T25, R20, R24	WREN(3–0)#	O	Разрешение записи в SRAM, PROM разряды 3–0
N24	ROMSN#	O	Выбор блока PROM
N23	IOSN#	O	Выбор области IO
U22	OEN#	O	Разрешение выдачи данных PROM, IO
V25	READ	O	Чтение SRAM, PROM, IO
W23	WRITEN#	O	Запись в PROM, IO, SRAM
AF17, AC22, AB21, Y19, AE24, AA20, AD23, AB20, AE23, AA19, AC21, AB19, AE20, Y17, AB18, AC19, AB17, AD20, AA16, AD12, AG8, AD11, AG22, AD21, AG21, AF20, AG20, AF19, AF18, AF25, AD22, AF8, AB13, AB14, AD13, AE12, Y13, AD9, AC11, AE10, AB12, AA12, Y12, AC9, AD8, AA11, AD7, AC10, AC7, AB10, Y11, AE13, AD5, AB8, AC6, AA9, AD10, AG3, Y10, AC5, Y9, AB6, Y8, AA7	SD(63–0)	I/O	Выводы шины данных SDRAM, разряды 63–0

Продолжение таблицы 2.1.1

1	2	3	4
AD14, Y14, AE14, AB16, AD19, AE19, AE18, AA15, Y15, AE16, AB15, AD16, AC14, AD15, AC17	SA(14-0)	O	Выводы шины адреса SDRAM, разряды 14-0
AD6, AE5	SDCSN(1,0)#	O	Выбор блока SDRAM, разряды 1,0 Тактовый сигнал SDRAM (особенности использования описаны в подразделе «3.3») Разрешение записи SDRAM Выход строба адреса ряда SDRAM Выход строба адреса колонки SDRAM Маска данных SDRAM, разряды 7-0 Разрешение тактирования SDRAM, разряды 1,0
AE8	SDCLK	O	
AF6	SDWREN#	O	
AG5	SDRASN#	O	
AF4	SDCASN#	O	
AG17, AD18, AG16, AD17, AG13, AG12, AE15, AG11	SDDQM(7-0)	O	
AC18, AC13	SDCKE(1,0)	O	
D24, F22 C4, G21	RXD(1, 0) TXD(1, 0)	I O	Входы приемника UART 1,0 Выходы передатчика UART 1,0
P3	SPW_CLK	I	Тактовый сигнал интерфейса SpaceWire Прямые входы «D» приемника интерфейса SpaceWire, блоки 3-0 Инверсные входы «D» приемника интерфейса SpaceWire, блоки 3-0 Прямые входы «S» приемника интерфейса SpaceWire, блоки 3-0 Инверсные входы «S» приемника интерфейса SpaceWire, блоки 3-0 Прямые выходы «D» передатчика интерфейса SpaceWire, блоки 3-0 Инверсные выходы «D» передатчика интерфейса SpaceWire, блоки 3-0 Прямые выходы «S» передатчика интерфейса SpaceWire, блоки 3-0 Инверсные выходы «S» передатчика интерфейса SpaceWire, блоки 3-0
R3, V3, AA3, AA6	SPW_RXDP(3-0)	I	
P8, R7, V6, AD3	SPW_RXDN(3-0)#	I	
R5, U5, W5, W7	SPW_RXSP(3-0)	I	
P4, W3, U7, AC3	SPW_RXSN(3-0)#	I	
T3, V5, AB4, V8	SPW_TXDP(3-0)	O	
T4, T6, AA5, Y6	SPW_TXDN(3-0)#	O	
R8, U6, Y3, AB5	SPW_TXSP(3-0)	O	
R6, T7, U8, Y7	SPW_TXSN(3-0)#	O	
G6, C1	CAN_RXD(1,0)	I	Выводы приемника интерфейса CAN, разряды RXD 1,0 Выводы передатчика интерфейса CAN, разряды TXD 1,0
D2, D3	CAN_TXD(1,0)	O	

Продолжение таблицы 2.1.1

1	2	3	4
C13, D14, E14, E13, D12, F13, H13, D11, G13, D10, E11, D9, F12, G12, D8, F11, E9, G11, F10, D7, C8, D6, F9, E7, G9, H10, F8, D5, G8, E6, H9, F7	PCI_AD(31-0)	I/O	Шина адреса интерфейса PCI, разряды 31-0
F20, D23, F18, E21	PCI_CBE(3-0) #	I/O	Сигнал CBE интерфейса PCI, разряды 3-0
C16, G15, D15, F15	PCI_ARB_REQ(3-0)#	I	Сигнал ARB_REQ интерфейса PCI, разряды 3-0
C18	PCI_REQ#	O	Сигнал запроса интерфейса PCI
E18	PCI_FRAME#	I/O	Сигнал кадра интерфейса PCI
G16	PCI_PAR	I/O	Сигнал чётности интерфейса PCI
F19	PCI_DEVSEL#	I/O	Выбор устройства PCI
G17	PCI_STOP#	I/O	Сигнал остановки интерфейса PCI
F16	PCI_IRDY#	I/O	Сигнал IRDY интерфейса PCI
D21	PCI_TRDY#	I/O	Сигнал TRDY интерфейса PCI
E19	PCI_PERR#	I/O	Сигнал ошибки PERR интерфейса PCI
F17	PCI_SERR#	I/O/2	Сигнал ошибки SERR интерфейса PCI
D19	PCI_LOCK#	I/O	Сигнал блокировки интерфейса PCI
C15, E15, F14, C14	PCI_ARB_GNT(3-0)#	O	Сигнал ARB_GNT интерфейса PCI, разряды 3-0
H18	PCI_CLK	I	Тактовый сигнал интерфейса PCI
E22	PCI_RST#	I	Сигнал сброса интерфейса PCI
E17	PCI_GNT#	I	Сигнал GNT интерфейса PCI
G19	PCI_IDSEL	I	Сигнал IDSEL интерфейса PCI
H19	PCI_HOST	I	Вход HOST интерфейса PCI
F21	PCI_66	I	Совместимость с режимом 66 МГц
B4	USB_DIR	I	Сигнал DIR интерфейса USB
B2	USB_NXT	I	NXT-вход интерфейса USB
A11, E10, B10, C7, A7, B7, A6, C5	USB_D(7-0)	I/O	Шина данных интерфейса USB, разряды 7-0
A3	USB_RESETN#	O	Сигнал сброса интерфейса USB
D4	USB_STP	O	STP-выход интерфейса USB
C3	USB_CLKOUT	I	Вход тактового сигнала интерфейса USB

Продолжение таблицы 2.1.1

1	2	3	4
E4	ERX_CLK	I	Тактовый вход приемника интерфейса Ethernet
L8	ERX_DV	I	Вход действительности приема данных интерфейса Ethernet
G7	ERX_CRS	I	Вход CRS приемника интерфейса Ethernet
F4	ERX_ER	I	Вход ER ошибки приёма интерфейса Ethernet
F2	ERX_COL	I	Вход обнаружения коллизии интерфейса Ethernet
F5, J6, H6, F6	ERX_D(3-0)	I	Входы приема данных интерфейса Ethernet, разряды RXD 3-0
G5	EMDINTN#	I	Вход прерывания интерфейса Ethernet
K5	ETX_CLK	I	Тактовый вход передатчика интерфейса Ethernet
E1	EMDIO	I/O	Вход/выход управления данными
J5	EMDC	O	Тактовый сигнал управления данными интерфейса Ethernet
K6	ETX_EN	O	Выход разрешения передатчика интерфейса Ethernet
G4	ETX_ER	O	Выход ошибки передачи интерфейса Ethernet
J8, K8, H7, E5	ETX_D(3-0)	O	Выходы передачи данных интерфейса Ethernet, разряды TXD 3-0
AF27	CLK_1553	I	Вход тактового сигнала интерфейсов Mil-STD-1553
H2, AF1	RXN(1,0)_BUSA#	I	Инверсные входы (1, 0) приёмников шины А интерфейсов Mil-STD-1553
H1, AE2	RXP(1,0)_BUSA	I	Прямые входы (1, 0) приёмников шины А интерфейсов Mil-STD-1553
L1, AC4	RXN(1,0)_BUSB#	I	Инверсные входы (1, 0) приёмников шины В интерфейсов Mil-STD-1553
K3, AE1	RXP(1,0)_BUSB	I	Прямые входы (1, 0) приёмников шины В интерфейсов Mil-STD-1553
H20, AC1	RXEN(1,0)_BUSA	O	Разрешение работы приёмников шины А интерфейсов Mil-STD-1553
M3, AD2	RXEN(1,0)_BUSB	O	Разрешение работы приёмников шины В интерфейсов Mil-STD-1553
N1, V4	TXINH(1,0)_BUSA	O	Запрещение работы передатчиков шины А интерфейсов Mil-STD-1553
R4, U4	TXINH(1,0)_BUSB	O	Запрещение работы передатчиков шины В интерфейсов Mil-STD-1553
Y4, AA2	TXN(1,0)_BUSA#	O	Инверсные выходы (1,0) передатчиков шины А интерфейсов Mil-STD-1553
W2, AB1	TXP(1,0)_BUSA	O	Прямые выходы (1,0) передатчиков шины А интерфейсов Mil-STD-1553
W4, Y1	TXN(1,0)_BUSB#	O	Инверсные выходы (1,0) передатчиков шины В интерфейсов Mil-STD-1553
U2, AA4	TXP(1,0)_BUSB	O	Прямые выходы (1,0) передатчиков шины В интерфейсов Mil-STD-1553

Окончание таблицы 2.1.1

1	2	3	4
A4, A5, A8, A9, A14, A16, A19, A24, B13, B19, B20, C6, C11, C17, C22, D1, D27, E8, E12, E16, E20, F1, F3, F25, G10, G14, G18, G20, G22, G25, H5, H8, H12, H14, H16, H23, J1, J2, J27, K1, K7, K21, L3, L25, M5, M23, M25, N26, P1, P7, P20, P21, P27, R2, T1, T5, T22, T23, U3, U25, V7, V21, V27, W1, W8, W26, W27, Y5, Y23, AA8, AA10, AA14, AA17, AA18, AA25, AB3, AB24, AB25, AC8, AC12, AC16, AC20, AD1, AD27, AE6, AE7, AE11, AE17, AE22, AE27, AF9, AF10, AF15, AF21, AG4, AG9, AG14, AG19, AG24	GND	–	Общие выводы
A10, A17, B5, B8, B11, B14, B15, B17, B21, B22, B25, C2, C19, C20, C23, D22, E2, E27, G1, G2, G26, J3, J26, K27, L2, L27, M2, M20, N2, N21, P2, P22, P24, P26, R26, T2, T20, T21, U24, U26, U27, V1, V2, V24, W22, W24, W25, AA1, AA26, AA27, AC2, AC26, AE9, AE26, AF3, AF5, AF7, AF11, AF12, AF13, AF14, AF16, AG7, AG18, AG23	VCC1	–	Выводы питания ядра
J7, A15, A18, L6, N8, A22, A25, P5, B6, T8, B9, C10, W6, E3, F26, Y16, G3, AA13, AB9, H11, AB11, H15, AC15, H17, J22, K2, M1, M22, M26, R1, R21, T27, U1, V23, Y2, Y18, Y20, Y27, AB2, AD25, AE4, AE21, AG6, AG10, AG15	VCC2	–	Выводы питания буферов ввода-вывода
<p>* Выводы с символом «#» имеют низкий активный уровень сигнала. ** Условно обозначены: I – вход, O – выход, I/O – вход/выход, 2 – режим открытого стока.</p>			

2.1.3 Система команд

Описание системы команд приведено в [Приложении А](#).

2.1.4 Карта памяти микропроцессора

Вся память, доступная микропроцессору, разделяется на внутреннюю и внешнюю. Карта памяти микропроцессора приведена на рисунке [2.1.4](#).

0x00000000	
0x0FFFFFFF	PROM
0x20000000	
0x2FFFFFFF	IO
0x40000000	
0x7FFFFFFF	SDRAM/ SRAM
0x80000000	
0x8FFFFFFF	APBCTRL 1
0x80100000	
0x8FFFFFFF	APBCTRL 2
0x90000000	
0x9FFFFFFF	LEON4 DSU
0xA0000000	
0xA000FFFF	OCRAM
0xE0000000	
0xE00FFFFF	GRPCI2
0xFFF00000	
0xFFFFFFFF	Common IO

Рисунок 2.1.4 – Карта памяти микропроцессора

Внешняя память размещается в адресном пространстве 0x00000000 – 0x7FFFFFFF. Адреса (0x00000000 – 0x0FFFFFFF) зарезервированы под область PROM, адреса (0x20000000 – 0x2FFFFFFF) зарезервированы под область IO, адреса (0x40000000 – 0x7FFFFFFF) зарезервированы для SDRAM/SRAM. Одновременная работа контроллеров SRAM и SDRAM не поддерживается.

Внутренняя память размещается в адресном пространстве 0x80000000 – 0xFFFFFFFF. Более подробная информация по данному адресному пространству приведена в таблице 2.1.2.

Таблица 2.1.2 – Адресное пространство внутренней памяти микропроцессора

Диапазон адресов	Размер	Описание	Имя модуля
1	2	3	4
0x00000000 – 0x0FFFFFFF	256 Мбайт	Контроллер PROM/IO. Область PROM	SW_ASRAM 1 (см. 4.5)
0x20000000 – 0x2FFFFFFF	256 Мбайт	Контроллер PROM/IO. Область IO	SW_ASRAM 1 (см. 4.5)
0x40000000 – 0x7FFFFFFF	1 Гбайт / 256 Мбайт	Контроллер SDRAM / Контроллер SRAM. Область RAM (SRAM / SDRAM)	SW_SDRAM (см. 4.7) / SW_ASRAM 2 (см. 4.6)

Окончание таблицы 2.1.2

1	2	3	4
0x80000000	1 Мбайт	Мост АНВ/APB	APBCTRL 1 (см. 4.23)
+0x000	256 байт	Регистр статуса АНВ	АНВSTAT (см. 4.12)
+0x100	256 байт	Интерфейс UART 1	APBUART 1 (см. 4.15)
+0x200	256 байт	Контроллер прерываний	IRQMP (см. 4.8)
+0x300	256 байт	Модульный блок таймеров (Watchdog Timer)	GPTIMER 1 (см. 4.13)
+0x400	256 байт	Мост GRPCI2 PCI/АНВ	GRPCI2 (см. 4.21)
+0x500	256 байт	Ethernet MAC	GRETH (см. 4.18)
+0x600	256 байт	Интерфейс UART 2	APBUART 2 (см. 4.15)
+0x700	256 байт	Отладочный интерфейс UART	АНВUART (см. 4.11)
+0x800	256 байт	Арбитр PCI	ESA PCI_ARB
+0x900	256 байт	Модульный блок таймеров	GPTIMER 2 (см. 4.13)
+ 0xFF000	4 Кбайт	APBCTRL 1 plug & play конфигурация	APBCTRL 1
0x80100000	1 Мбайт	Мост АНВ/APB	APBCTRL 2 (см. 4.23)
+0x000	256 байт	Контроллер конфигураций	SW_MCFG (см. 4.3)
+0x100	256 байт	USB расширенный Host-контроллер	GRUSBHC (см. 4.20)
+0x200	256 байт	MIL-STD-1553B интерфейс 1	GR1553B 1 (см. 4.16)
+0x300	256 байт	MIL-STD-1553B интерфейс 2	GR1553B 2 (см. 4.16)
+0x400	256 байт	Порт ввода-вывода общего назначения	GRGPIO (см. 4.14)
+0x500	256 байт	Интерфейс SpaceWire 1	GRSPW2 1 (см. 4.17)
+0x600	256 байт	Интерфейс SpaceWire 2	GRSPW2 2 (см. 4.17)
+0x700	256 байт	Интерфейс SpaceWire 3	GRSPW2 3 (см. 4.17)
+0x800	256 байт	Интерфейс SpaceWire 4	GRSPW2 4 (см. 4.17)
+0xFF000	4 Кбайт	APBCTRL 2 plug & play конфигурация	APBCTRL 2
0x90000000	8 Мбайт	Отладочный модуль	DSU4 (см. 4.9)
0xA0000000	64 Кбайт	Внутренняя память данных	OCRAM
0xE0000000	1 Мбайт	Мост GRPCI2 PCI/АНВ (PCI память)	GRPCI2 (см. 4.21)
0xFFF80000	128 Кбайт	Мост GRPCI2 PCI/АНВ (PCI IO и PCI конфигурация)	GRPCI2 (см. 4.21)
+0x00000	64 Кбайт	PCI IO	
+0x10000	64 Кбайт	PCI конфигурация	
0xFFFFA0000	256 байт	USB универсальный Host-контроллер	GRUSBHC (см. 4.20)
0xFFFFC0000	4 Кбайт	CAN АНВ интерфейс	CANMC (см. 4.19)
+0x000	32 байт	CAN 1 АНВ интерфейс	
+0x100	32 байт	CAN 2 АНВ интерфейс	
0xFFFFF000 – 0xFFFFFFF	4 Кбайт	АНВCTRL plug & play конфигурация	АНВCTRL (см. 4.22)

В качестве примера использования карты памяти рассмотрим расчет адреса доступа к [регистру направления порта ввода-вывода](#). К базовому адресу порта ввода-вывода общего назначения (0x80100000 + 0x400), определенного в таблице выше, следует прибавить соответствующее смещение из таблицы [4.14.1](#) из пункта «[4.14.3 Регистры](#)». Итоговый адрес – 0x80100408.

2.1.5 Механизмы сбоеустойчивости

Все функциональные блоки (ядро, периферийные устройства, регистровый файл), имеющие в своем составе элементы хранения (защелки и триггеры), обеспечены схемами

тройного модульного резервирования (TMR). Схема TMR каждого элемента хранения представляет собой три триггера и элемент мажорирования, определяющего мажорированное значение из состояний, хранящихся в трех триггерах. В случае сбоя одного триггера на выходе элемента мажорирования будет корректное значение. Триггер, в котором произошел сбой, будет хранить некорректное значение. Если сбоем подвергнется второй триггер тройки, на выходе элемента мажорирования будет некорректное значение.

Важно понимать, что штатное изменение состояния тройки триггеров элемента хранения происходит только при записи в элемент хранения нового значения.

Буферы приемо-передатчиков используют код Хэмминга для защиты данных (см. таблицу 2.1.3). Записи в правой колонке таблицы приводятся вида «Код Хэмминга(n,k)», где n – общее количество символов кодового слова, а k – количество разрядов данных в кодовом слове. Поскольку буферы реализованы по типу FIFO, то данные в них записываются с дополнительным кодом Хэмминга. При извлечении данных из буфера производится проверка на соответствие данных проверочным битам. Автоматически исправляется одна ошибка на кодовое слово без информирования пользователя о данном факте. Если было искажено 2 бита, действий над данными не производится (недостаточно информации для исправления). Если ошибок больше, то с некоторой вероятностью вместо неисправимой ошибки может быть детектирована исправимая ошибка или кодовое слово будет признано корректным. Режим использования помехоустойчивого кодирования для всех буферов всегда активирован.

Внутренняя статическая память (OCRAM). Данные защищаются кодом Хэмминга (39,32). Обнаруживаются две ошибки, исправляется одна битовая ошибка на 39-битное кодовое слово (32 бита данных плюс 7 бит кода коррекции). В случае обнаружения исправляемой ошибки, происходит ее автоматическое исправление в памяти. При обнаружении неисправимой ошибки устанавливается бит NE регистра статуса АНВ и генерируется исключение `data_access_error` или `data_store_error` (для обращений вида чтение-модификация-запись). Появление исключения приведет к переходу в таблицу прерываний (помимо выделения нового регистрового окна и сохранения значений PC и nPC в регистры %11 и %12) или к переводу процессора в состояние ошибки, в зависимости от значения бита ET регистра %PSR. Сам процесс детектирования ошибки инициализируется запросом на считывание данных или запросом на запись, который выполняется по схеме чтение-модификация-запись. Выключить режим можно глобально, подав «0» на вход `CFG_FT_ENA` или с помощью регистра `FT_CTRL` (см. таблицу 4.3.4).

Таблица 2.1.3 – Защита внутренней памяти

Кэш память процессора	Код Хэмминга (39,32)
FIFO в блоках SpaceWire	Код Хэмминга (39,32)
Буфер RMAP в блоках SpaceWire	Код Хэмминга (13,8)
FIFO в блоках CAN	Код Хэмминга (13,8)
FIFO в блоке USB	Код Хэмминга (39,32)
FIFO в блоке PCI	Код Хэмминга (39,32)
FIFO в блоке Ethernet	Код Хэмминга (22,16)
Буферы EDCL в блоке Ethernet	Код Хэмминга (22,16)
Внутренняя статическая память	Код Хэмминга (39,32)
Буфер TLB модуля MMU	Код Хэмминга (39,32)
Буфер трассировки шины АНВ модуля DSU	Код Хэмминга (39,32)
Буфер трассировки памяти инструкций процессора	Код Хэмминга (39,32)

В контроллерах внешней памяти реализованы механизмы помехоустойчивого кодирования (см. таблицу 2.1.4, пункты «4.5.8», «4.6.6» и «4.7.7»).

Таблица 2.1.4 – Защита внешней памяти

PROM*	Код Хэмминга (15,8)
PROM** / SRAM	Код Хэмминга (39,32)
SDRAM	Код Рида-Соломона (96,64) / Код Хэмминга (72,64)
<p>* PROM в режиме 8-битной шины данных. ** PROM в режиме 32-битной шины данных.</p>	

Стоит отметить, что минимальное расстояние Хэмминга (минимальное число искаженных символов, необходимое для перехода одной разрешенной комбинации в другую) для всех используемых в процессоре вариантов кода Хэмминга – три. Это означает, что при наличии трех или более ошибок на кодовое слово данный код не способен корректно детектировать неисправимую ошибку, с некоторой вероятностью вместо неё может быть обнаружена исправимая ошибка или кодовое слово будет признано корректным.

2.2 Основные характеристики микросхемы

Электрические параметры микросхемы и предельно допустимые режимы эксплуатации ИС 1906BM016 приведены в таблицах 2.2.1 и 2.2.2 соответственно.

Таблица 2.2.1 – Электрические параметры ИС 1906BM016 при приемке и поставке

Наименование параметра, единица измерения, режим измерения	Буквенное обозначение параметра	Норма параметра		Темпера- тура среды, °С
		не менее	не более	
1 Выходное напряжение низкого уровня буферов ввода-вывода, В, $U_{CC1} = 1,62 \text{ В}, U_{CC2} = 3,0 \text{ В}, I_{OL} = 4,0 \text{ мА}$	U_{OL}	–	0,4	–60 ± 3 25 ± 10 85 ± 3
2 Выходное напряжение высокого уровня буферов ввода-вывода, кроме ERRORN#, WDOGN#, PCI_SERR#, В, $U_{CC1} = 1,62 \text{ В}, U_{CC2} = 3,0 \text{ В}, I_{OH} = -4,0 \text{ мА}$	U_{OH}	$U_{CC2} - 0,3$	–	
3 Входной ток по входу тактового сигнала CLK, мкА, $U_{CC1} = 1,98 \text{ В}, U_{CC2} = 3,6 \text{ В}$	$U_{IL} = 0 \text{ В}$	I_{IL1}	–55	–60 ± 3 25 ± 10 85 ± 3
	$U_{IH} = U_{CC2}$	I_{IH1}	–	
4 Входной ток по остальным входам и входам/выходам, мкА, $U_{CC1} = 1,98 \text{ В}, U_{CC2} = 3,6 \text{ В}$	$U_{IL} = 0 \text{ В}$	I_{IL2}	–15	–60 ± 3 25 ± 10 85 ± 3
	$U_{IH} = U_{CC2}$	I_{IH2}	–	
5 Динамический ток потребления ядра, мА, $U_{CC1} = 1,98 \text{ В}, U_{CC2} = 3,6 \text{ В}, f_{CLK} = 1 \text{ МГц}$	I_{OCC1}	–	20	–60 ± 3 25 ± 10 85 ± 3
6 Динамический ток потребления буфера ввода-вывода, мА $U_{CC1} = 1,98 \text{ В}, U_{CC2} = 3,6 \text{ В}, f_{CLK} = 1 \text{ МГц}$	I_{OCC2}	–	2	
7 Функциональный контроль $U_{CC1} = (1,62; 1,98) \text{ В}, U_{CC2} = (3,0; 3,6) \text{ В},$ $f_{CISPW_CLK} = (2; 200) \text{ МГц}, f_{CIPCI_CLK} = 66 \text{ МГц};$ $f_{CLK} = (0,001; 100) \text{ МГц}$	ФК	–	–	
Примечание – Параметры I_{IL2}, I_{IH2} при температуре минус 60 °С не измеряются, а гарантируются нормой при температуре (25 ± 10) °С.				

Таблица 2.2.2 – Предельно допустимые и предельные режимы эксплуатации ИС 1906BM016 в диапазоне рабочих температур от минус 60 до 85 °С

Наименование параметра режима, единица измерения	Буквенное обозначение параметра	Предельно допустимый режим		Предельный режим	
		не менее	не более	не менее	не более
1 Напряжение питания ядра, В	U_{CC1}	1,62	1,98	-0,2	2,4
2 Напряжение питания буферов ввода-вывода, В	U_{CC2}	3,0	3,6	-0,3	4,4
3 Входное напряжение низкого уровня, В	U_{IL}	0	0,6	-0,3	-
4 Входное напряжение высокого уровня, В	U_{IH}	$0,2U_{CC2}+1,0$	U_{CC2}	-	$U_{CC2}+0,3$
5 Выходной ток низкого уровня, мА	I_{OL}	-	4,0	-	6,0
6 Выходной ток высокого уровня, мА	I_{OH}	-4,0	-	-6,0	-
7 Частота следования импульсов тактового сигнала, МГц	f_{CICLK}	0,001	100	-	-
8 Частота следования импульсов тактового сигнала интерфейса SpaceWire, МГц	f_{CISPW_CLK}	2	200	-	-
9 Частота следования импульсов тактового сигнала интерфейса PCI 2.2, МГц	f_{CIPCI_CLK}	-	66	-	-
10 Емкость нагрузки, пФ	C_L	-	20	-	80
Примечание – Время работы в одном из предельных режимов должно быть не более 5 с.					

3 Начало работы

3.1 Режимы работы процессора

Процессор 1906BM016 может функционировать в одном из следующих режимов:

- рабочий режим;
- режим Power Down (4.4.2 Блок целочисленной арифметики LEON4);
- режим отладки (4.9 Отладочный модуль LEON4);
- режим граничного сканирования (4.24 Цепь граничного сканирования).

3.2 Подключение выводов

Процессору необходимы два напряжения питания – 3,3 В (буферы) и 1,8 В (ядро).

Таблица 3.2.1 – Конфигурация выводов для определения режима работы

Вывод	Рабочий режим, Power Down	Режим отладки*	Режим граничного сканирования**
BSD_TRST#	0	0	1
DSU_EN	0	1	0
TEST_MODE	1	1	1
TEST_COMPRESS	1	1	1
CFG_FT_ENA	0/1	0/1	–
CFG_8B_PROM	0/1	0/1	–
Неиспользуемые входы	0	0	–

* Вход в режим описан в пункте 4.9.2.
** Вход в режим описан в подразделе 4.24.

На вход CLK следует подавать тактовый сигнал частотой до 100 МГц.

На входе RESETN# необходимо выставить низкий логический уровень сигнала, захват данного состояния осуществляется по положительному фронту CLK. На основе RESETN# генерируется внутренний сигнал сброса (см. подраздел «4.1 Система сброса»). После сброса процессор стартует с адреса 0x00000000 (область PROM). Соответственно, должна быть подключена память типа PROM (см. подраздел «4.5 Контроллер PROM / IO»).

3.3 Внешнее ОЗУ

Если в качестве внешнего ОЗУ подключена память SDRAM, то перед её использованием необходимо настроить контроллер SDRAM в соответствии с «4.7.4 Инициализация микросхем динамической памяти» и «4.7.6 Управление параметрами конфигурации SDRAM». Сигнал тактирования на микросхемы SDRAM должен приходиться с опережением приблизительно на 2 нс (в зависимости от параметров используемых чипов) относительно CLK, как это приведено на рисунке 3.3.1. Более подробная информация по данному вопросу представлена в пункте «4.7.3 Тактирование синхронной динамической памяти».

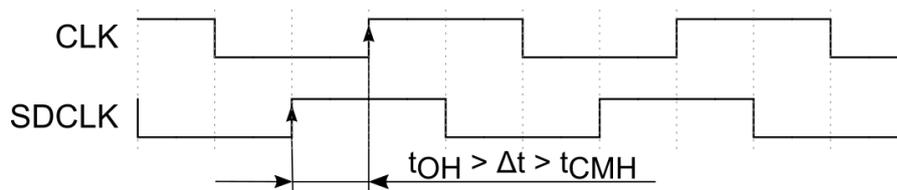


Рисунок 3.3.1 – Взаиморасположение фронтов сигналов CLK и SDCLK

Если в качестве внешнего ОЗУ используется SRAM, дополнительная настройка не требуется.

3.4 Инициализация кэша, конфигурация доступа к PROM

После сброса процессора использование кэша инструкций и кэша данных запрещено. Из-за особенностей реализации системы помехоустойчивого кодирования, к процессу инициализации кэшей есть дополнительное требование, не присутствующее в стандарте SPARC V8. Перед включением кэшей, помимо сброса меток, также требуется осуществить инициализацию данных обеих кэшей для всех каналов. Игнорирование данной особенности приведет к постоянным промахам в кэш (процессор будет постоянно перечитывать данные из внешней памяти), что сделает его использование полностью бесполезным с точки зрения производительности. В подпункте «Разрешение и запрещения использования кэшей» пункта «4.4.3» приведен ассемблерный код, позволяющий выполнить описанные операции.

Перед выполнением инициализации кэша настоятельно рекомендуется выставить корректное значение дополнительных тактов доступа для области PROM (см. «Регистр управления тактами ожидания контроллера памяти»), поскольку по умолчанию используется их максимальное значение. А до включения кэша инструкций каждая итерация циклического участка кода будет приводить к выполнению как минимум одной предвыборки инструкций (восьми последовательных обращений во внешнюю память или тридцати двух, если используется 8-битный режим шины данных PROM). Игнорирование данной рекомендации приведет к существенному неоправданному замедлению, как процесса инициализации, так и дальнейшей работы процессора.

3.5 Запуск программы из ПЗУ

В качестве ПЗУ (PROM) может использоваться память типа Flash, EEPROM или MRAM.

Для компиляции ПО рекомендуется использовать компилятор GCC (начиная с версии 4.4.2) и утилиту **mkprom2** (<http://www.gaisler.com/anonftp/mkprom2/>).

Утилита **mkprom2** выполняет следующие действия:

- сжимает пользовательский код с коэффициентом приблизительно равным 2;
- добавляет код для распаковки и переноса программы в ОЗУ;
- добавляет код инициализации блоков процессора.

Что происходит при запуске прошивки, созданной **mkprom2**:

- инициализация блоков микропроцессора (к ним не относятся контроллер конфигураций и контроллеры PROM / IO, SRAM и SDRAM);
- распаковка основного исполняемого кода в ОЗУ (стартовый адрес по умолчанию – 0x40000000);

- передача управления основной программе.

Пример генерации программы ПЗУ с помощью GCC:

```
sparc-elf-gcc -O2 -g -o hello.o hello_world.c
```

Используемые ключи:

-O2 – задать 2-й тип оптимизации исходных кодов при компиляции. Тип может быть изменен в зависимости от желаемых критериев оптимизации;
-o <имя_файла> – задать имя выходного файла. Не является обязательным, по умолчанию генерируется файл с именем исходного файла и расширением «.o»;
-g – добавлять в итоговый файл отладочную информацию (имена меток, констант и т.д.). Не является обязательным.

Пример генерации программы ПЗУ с помощью **mkprom2**:

```
mkprom2 -mv8 -freq 50 -o hello.out hello.o
```

Используемые ключи:

-o <имя_файла> – задать имя выходного файла;
-mv8 – разрешение на использование инструкций аппаратного умножения и деления (smul, umul, sdiv, udiv);
-freq <X МГц> – тактовая частота микропроцессора в МГц.

Если из файла прошивки hello.out требуется сформировать прошивку формата SREC (Motorola S-record), то для этого достаточно выполнить следующую команду:

```
sparc-elf-objcopy -O srec hello.out hello.srec
```

Используемые ключи:

-O <формат> – формат выходного файла.

Если требуется интегрировать пользовательскую инициализационную последовательность, то для этого требуется создать файл bdinit.S, содержащий требуемый набор инструкций ассемблера, при запуске утилиты MKPROM2 добавить ключ «-bdinit» (без кавычек). Полная последовательность действий будет выглядеть следующим образом:

1. **sparc-elf-gcc** -c -O2 -g -o bdinit.o bdinit.S //(ключ “-c” – не линковать)
2. **sparc-elf-gcc** -O2 -g -o hello.o hello_world.c
3. **mkprom2** -bdinit -mv8 -freq 50 -o hello.out hello.o

В качестве примера ниже приведено содержимое файла bdinit.S, осуществляющего активацию драйверов LVDS модулей SpaceWire:

```
#define LVDS_CTRL_ADDRESS 0x80100000  
#define LVDS_CTRL_VALUE 0xFFFFFFFF  
  
.text  
.global bdinit0, bdinit1, bdinit2
```

```

bdinit0:
    retl
    nop

bdinit1:
    set    LVDS_CTRL_ADDRESS, %o0
    set    LVDS_CTRL_VALUE, %g1
    st     %g1, [%o0]
    retl
    nop

bdinit2:
    retl
    nop

    .align 4

```

Адрес LVDS_CTRL_ADDRESS приведен в соответствии с пунктом «2.1.4 Карта памяти микропроцессора» и содержимым таблицы 4.3.4, а LVDS_CTRL_VALUE – требуемому значению подпункта «Регистр управления драйверами LVDS». Информация об особенностях использования ключа «-bdinit» приведена в сопроводительной документации к МКПРОМ2.

3.6 Отладка программ

Для отладки пользовательских программ может использоваться одно из следующих средств:

- программно-аппаратный комплекс (ПАК) разработки НИИЭТ (см. раздел «7 Программно-аппаратный комплекс средств разработки и отладки»);
- консольный отладчик GRMON2 Professional (платная версия) от фирмы Cobham Gaisler. С бесплатной версией GRMON2 отладка работать не будет.

ПАК для ведения отладки использует интерфейс JTAG.

Отладчик GRMON2 может использовать один из следующих интерфейсов:

- JTAG:

grmon2 -digilent -u

Пример приведен для случая использования кабеля Digilent JTAG HS1, поддерживаемые варианты приведены в сопроводительной документации к GRMON2.

- Ethernet:

grmon2 -eth 192.168.0.51 -u

192.168.0.51 – IP адрес по умолчанию (см. таблицу 4.18.17) модуля EDCL в пункте «4.18.6 Линия связи отладки Ethernet (EDCL)»).

- UART:

grmon2 -uart <device> -baud <baudrate> -u

В качестве <device> требуется указать /dev/tty## (для ОС Linux) либо \\.\com# (для ОС Windows), где «#» обозначает номер интерфейса, <baudrate> – скорость передачи в бодах.

- SpaceWire (через аппаратный мост GRESB Ethernet to SpaceWire).

Подробная информация по ключам запуска приведена в сопроводительной документации GRMON2 и GRESB.

Дополнительный ключ «-u [N]» (по умолчанию используется N = 0, соответствующее UART 1) следует использовать для организации вывода информации в консоль отладки. Он требуется, если к UART 1 для этой цели не подключен сторонний терминал.

Для проведения отладки встраиваемой ОС (например, Linux) необходимо использовать дополнительный ключ «-nb». Этот ключ запрещает GRMON2 переходить в режим отладки при возникновении системного прерывания, вызванного обнаружением ошибки. Вместо данного механизма должна быть реализована обработка таких прерываний на стороне тестируемой ОС. Более подробная информация приведена в сопроводительной документации GRMON2.

3.7 Сторожевой таймер

Сторожевой таймер начинает декрементироваться непосредственно после сброса питания, бит разрешения установлен по умолчанию. Значение предделителя системной частоты по сбросу – 0xFFFF, счетчика сторожевого таймера – 0x0000FFFF. При достижении счетчиком нулевого отсчета будет сгенерирован низкий логический уровень сигнала на выводе WDOGN# и системное прерывание (оно будет обработано, только если это разрешено в контроллере прерываний, см. подраздел «4.8»), если установлен бит [ИЕ регистра управления таймером](#).

Если оставить значения управляющих регистров по умолчанию, то при системной частоте 50 МГц обратное переполнение счетчика сторожевого таймера произойдет приблизительно через 86 секунд.

Более подробное описание функционирования сторожевого таймера приведено в подразделе «[4.13 Блок таймеров общего назначения](#)».

4 Функциональное описание

4.1 Система сброса

4.1.1 Общие сведения

Генератор сброса RSTGEN реализует синхронизацию, а также фильтрацию кратковременных выбросов входного сигнала сброса и генерирует внутренний сигнал сброса. Входной сигнал сброса может быть асинхронным, но в таком случае его длительность должна быть больше периода тактовой частоты.

После прохождения сигнала сброса процессор стартует с адреса 0x00000000.

4.1.2 Принцип работы

Генератор сброса защелкивает значение сигнала блокировки тактирования (CLKLOCK), который в данной реализации имеет постоянный уровень логической единицы, по каждому переднему фронту тактирования. Сигнал блокировки используется как входной в 5-битовом регистре сдвига. Три старших значащих бита данного регистра сдвига синхронизированы в выходном регистре сброса. Итоговый сигнал сброса будет находиться в высоком логическом состоянии, только если и выходной регистр сброса и входной сигнал сброса находятся в высоком логическом состоянии. Поскольку выходной регистр зависит от тактирования системы, активное низкое логическое состояние выхода сброса переходит в высокое логическое состояние синхронно с тактированием системы.

Регистр сдвига ядра имеет синхронный сброс, при этом сигналы сброса не соединены с регистром выхода сброса, см. рисунок 4.1.1. Следует обратить внимание на то, что выходной сигнал сброса при запуске входного сигнала сброса всегда переходит в низкое логическое состояние.

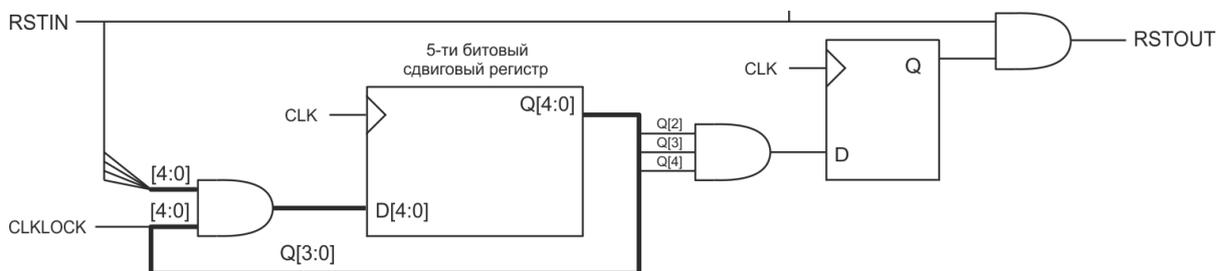


Рисунок 4.1.1 – Генератор сброса

Сигнал с входа RESETN# подается непосредственно на RSTIN. Сигнал RSTOUT поступает на все внутренние модули процессора, которым требуется осуществлять сброс к изначальному состоянию.

4.2 Система тактирования

В таблице 4.2.1 приведены тактовые входы процессора 1906BM016.

Таблица 4.2.1 – Тактовые входы

Название	Описание
CLK	Тактовый сигнал процессора, шины AMBA и внутренних блоков
SPW_CLK	Тактовый сигнал интерфейсов SpaceWire
CLK_1553	Тактовый сигнал интерфейсов Mil-STD-1553
ERX_CLK	Тактовый сигнал приемника интерфейса Ethernet
ETX_CLK	Тактовый сигнал передатчика интерфейса Ethernet
PCI_CLK	Тактовый сигнал интерфейса PCI
USB_CLKOUT	Тактовый сигнал интерфейса USB
JTAG_TCK	Вход TCK интерфейса JTAG и цепи граничного сканирования

Верхняя граница частоты тактового сигнала CLK – 100 МГц.

Тактовая частота SPW_CLK должна быть кратна 10 МГц. Более подробная информация приведена в пунктах «[4.17.3 Интерфейс связи. Установка скорости канала связи](#)», «[4.17.9 Аппаратные особенности](#)».

На вход CLK_1553 следует подавать тактовый сигнал с частотой 20 МГц. Дополнительная информация приведена в пункте «[4.16.7 Тактирование](#)».

Информация о минимально допустимых тактовых частотах интерфейса Ethernet приведены в пункте «[4.18.2 Принцип работы. Тактирование](#)».

Тактовая частота интерфейса PCI задается в соответствии со спецификацией «PCI Local Bus Specification Revision 2.3».

На вход USB_CLKOUT следует подавать тактовый сигнал с частотой 60 МГц. Дополнительная информация приведена в пункте «[4.20.2 Принцип работы. Тактирование и сброс](#)».

SDCLK – выходной тактовый сигнал SDRAM. Его частота определяется основным тактовым сигналом (CLK). Данный выход настроен таким образом, чтобы совпадать по фазе с внутренним деревом тактирования.

4.3 Контроллер конфигурации

4.3.1 Общие сведения

Контроллер конфигурации используется для управления режимами работы блоков ввода/вывода, контроллеров памяти, блоков обнаружения и исправления ошибок. Блок-схема, описывающая общие принципы построения системы, представлена на рисунке [4.3.1](#). Конфигурирование осуществляется через набор регистров, доступных по шине APB с адреса 0x80100000.

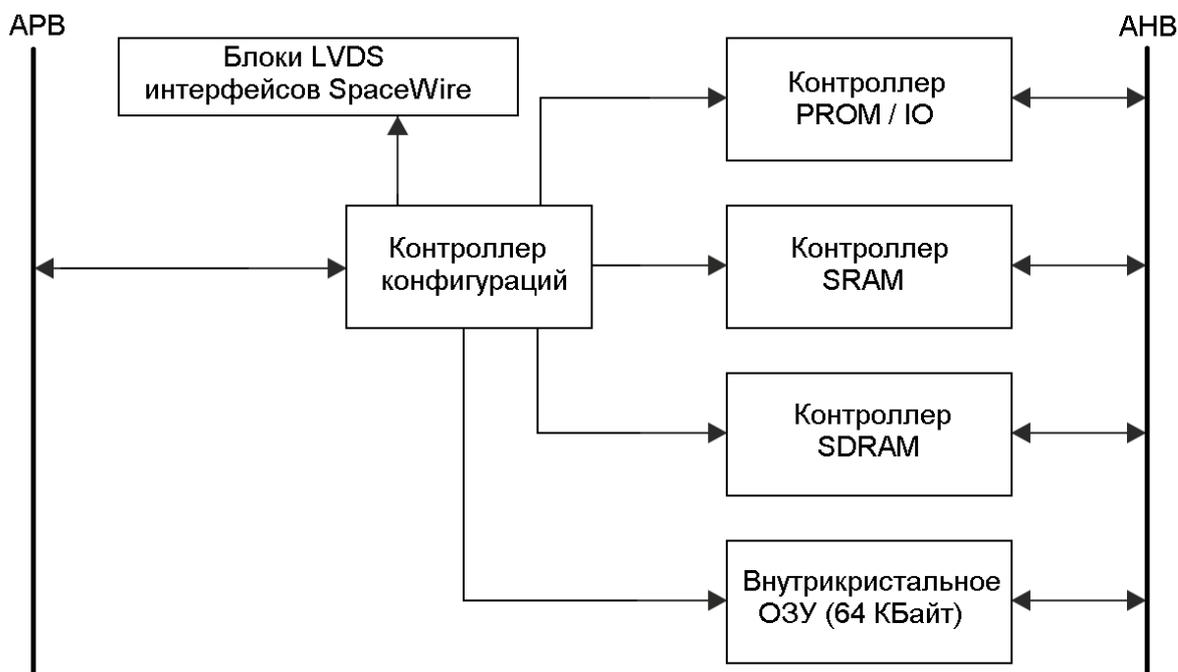


Рисунок 4.3.1 – Блок-схема управления контроллерами памяти

4.3.2 Принцип работы

Модуль состоит из подчиненного устройства на шине APB и набора управляющих регистров. Регистры блока доступны через интерфейс APB, (см. пункт 4.3.4).

Регистр управления драйверами LVDS (LVDS_CTRL) управляет драйверами LVDS модулей SpaceWire.

Регистр управления режимами помехоустойчивого кодирования (FT_CTRL) управляет отключением режима проверки, разрешением перезаписи данных в случае обнаружения исправимой ошибки, генерации проверочных бит для контроллеров памяти PROM, SRAM, SDRAM, внутрикристалльного ОЗУ.

Регистр управления тактами ожидания контроллера памяти (WC_CTRL) определяет количество дополнительных тактов ожидания (Wait Cycles) для контроллеров памяти PROM / IO / SRAM для чтения и записи. Значение регистра следует задавать в соответствии с параметрами используемых микросхем и текущим значением тактовой частоты.

Регистр управления контроллерами памяти (MEM_CTRL) определяет наличие дополнительных тактов lead_in / lead_out для контроллеров памяти, использование систем сигнализации о готовности и сигнализации об ошибке доступа.

Регистр XOR маски проверочных бит внешней памяти (CHECKBITS_XOR) задает маску, которая складывается по модулю 2 с контрольными битами интерфейса внешней памяти (PROM, SRAM, SDRAM). Основное назначение – тестирование механизма коррекции ошибок, организация управляющих последовательностей записи во внешнюю память.

Регистры управления SDRAM (SDRAM_CFG_1 и SDRAM_CFG_2) используются для управления контроллером динамической памяти.

4.3.3 Формат представления регистров

Формат представления регистров управления приведен в таблице 4.3.1.

Таблица 4.3.1 – Пример организации записи регистра

31	24 23	16 15	8 7	0
ПЗ	П2	П1	П0	
Значение по сбросу ПЗ	Значение по сбросу П2	Значение по сбросу П1	Значение по сбросу П0	
Тип поля/байта ПЗ	Тип поля/байта П2	Тип поля/байта П1	Тип поля/байта П0	

31–24 Поле 3 (ПЗ) – Описание поля/бита
 23–16 Поле 2 (П2) – Описание поля/бита
 15–8 Поле 1 (П1) – Описание поля/бита
 7–0 Поле 0 (П0) – Описание поля/бита

В таблицах 4.3.2 и 4.3.3 приведены списки возможных состояний ячеек регистров управления.

Таблица 4.3.2 – Список возможных состояний ячеек значения по сбросу

Значение	Описание
0	Значение по сбросу – 0. Используется для отдельных бит
1	Значение по сбросу – 1. Используется для отдельных бит
0xNN	Шестнадцатеричное представление числа. Используется для полей
n/r	Не сбрасывается
*	Особые условия сброса, которые разъяснены в описании соответствующего поля/бита

Таблица 4.3.3 – Список возможных состояний ячеек тип поля/бита

Значение	Описание
r	Только чтение
rw	Чтение/запись
wc	Сброс по записи. Поле доступно для считывания, при записи 1 оно сбрасывается. Запись 0 игнорируется

4.3.4 Регистры

Управление устройством осуществляется через регистры, отображенные в адресуемом пространстве APB. Список используемых регистров представлен в таблице 4.3.4, детальное описание каждого из них представлено в таблицах 4.3.5 – 4.3.11.

Таблица 4.3.4 – Регистры контроллера конфигураций (базовый адрес 0x80100000)

Смещение адреса APB	Регистр	Краткое имя
0x0	Регистр управления драйверами LVDS	LVDS_CTRL
0x4	Регистр управления режимами помехоустойчивого кодирования	FT_CTRL
0x8	Регистр управления тактами ожидания контроллера памяти	WC_CTRL
0xC	Регистр управления контроллерами памяти	MEM_CTRL
0x10	Регистр XOR маски проверочных бит внешней памяти	CHECKBITS_XOR
0x14	Регистр управления SDRAM CFG 1	SDRAM_CFG_1
0x18	Регистр управления SDRAM CFG 2	SDRAM_CFG_2

Регистр управления драйверами LVDS

Регистр управления драйверами LVDS (LVDS_CTRL) управляет драйверами LVDS модулей SpaceWire.

Таблица 4.3.5 – Регистр управления драйверами LVDS

31		21	20	19	18	17	16		0
	–	E4	E3	E2	E1			–	
	0x7FF	0	0	0	0			0x1FFFF	
	r	rw	rw	rw	rw			r	

31 – 21	Зарезервировано
20	Разрешение LVDS 4 (E4) – Если бит установлен, то драйвера LVDS SpaceWire 4 включены
19	Разрешение LVDS 3 (E3) – Если бит установлен, то драйвера LVDS SpaceWire 3 включены
18	Разрешение LVDS 2 (E2) – Если бит установлен, то драйвера LVDS SpaceWire 2 включены
17	Разрешение LVDS 1 (E1) – Если бит установлен, то драйвера LVDS SpaceWire 1 включены
16 – 0	Зарезервировано

Регистр управления режимами помехоустойчивого кодирования

Регистр управления режимами помехоустойчивого кодирования (FT_CTRL) управляет отключением режима коррекции ошибок и генерацией проверочных бит для контроллеров памяти PROM, SRAM, SDRAM и внутрикристального ОЗУ, регулирует функцию перезаписи данных при обнаружении исправимой ошибки.

Таблица 4.3.6 – Регистр управления режимами помехоустойчивого кодирования

31		10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
	–	WBS	WBIO	WBP	RS	–	SDC	SFT	SDFT	PFT	OCFT	
	0x3FFFFFF	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
	r	rw	r	rw	rw	r	rw	rw	rw	rw	rw	rw

31 – 10	Зарезервировано
9	Разрешение перезаписи данных для SRAM (WBS) – Если бит установлен, то разрешена перезапись данных в случае обнаружения исправимой ошибки для SRAM
8	Разрешение перезаписи данных для области ввода-вывода (WBIO) – Если бит установлен, то разрешена перезапись данных в случае обнаружения исправимой ошибки для области ввода-вывода. Данный функционал не поддерживается, поскольку данная область не защищена помехоустойчивым кодированием
7	Разрешение перезаписи данных для PROM (WBP) – Если бит установлен, то разрешена перезапись данных в случае обнаружения исправимой ошибки для PROM
6	Выбор типа оперативной памяти (RS) – Если бит установлен, то в качестве памяти, адресуемой с 0x40000000 выступает SDRAM, если он сброшен – SRAM
5	Зарезервировано

- 4 Тип корректирующего кода SDRAM (SDC) – Если бит установлен, то для коррекции ошибок используется код Рида-Соломона, если он сброшен – код Хэмминга
- 3 Включение коррекции ошибок для SRAM (SFT) – Если бит установлен, то коррекция ошибок кодом Хэмминга для SRAM активирована
- 2 Включение коррекции ошибок для SDRAM (SDFT) – Если бит установлен, то коррекция ошибок для SDRAM активирована
- 1 Включение коррекции ошибок для PROM (PFT) – Если бит установлен, то коррекция ошибок кодом Хэмминга для PROM активирована
- 0 Включение коррекции ошибок для внутрикристального ОЗУ (OCFT) – Если бит установлен, то коррекция ошибок кодом Хэмминга для внутрикристального ОЗУ активирована

Регистр управления тактами ожидания контроллера памяти

Регистр управления тактами ожидания контроллера памяти (WC_CTRL) определяет количество дополнительных тактов ожидания для контроллеров памяти PROM/IO и SRAM при обращении к памяти. Значение полей регистра следует задавать исходя из временных параметров используемых микросхем и текущей тактовой частоты процессора. Длительность активного состояния управляющего сигнала (например, WRITEN) для контроллера PROM / IO рассчитывается как (1+PWWC). Допустимые значения для каждого поля от 0 до 30.

Таблица 4.3.7 – Регистр управления тактами ожидания контроллера памяти

31	30	29	25	24	20	19	15	14	10	9	5	4	0
–	IWWC		IRWC		SWWC		SRWC		PWWC		PRWC		
0x0	0x00		0x00		0x00		0x00		0x1E		0x1E		
r	rw		rw		rw		rw		rw		rw		

- 31 – 30 Зарезервировано
- 29 – 25 Такты ожидания при записи для области ввода-вывода (IWWC) – Количество дополнительных тактов системной частоты доступа к памяти для IO контроллера при записи
- 24 – 20 Такты ожидания при чтении для области ввода-вывода (IRWC) – Количество дополнительных тактов системной частоты доступа к памяти для IO контроллера при чтении
- 19 – 15 Такты ожидания при записи для SRAM (SWWC) – Количество дополнительных тактов системной частоты доступа к памяти для SRAM контроллера при записи
- 14 – 10 Такты ожидания при чтении для SRAM (SRWC) – Количество дополнительных тактов системной частоты доступа к памяти для SRAM контроллера при чтении
- 9 – 5 Такты ожидания при записи для PROM (PWWC) – Количество дополнительных тактов системной частоты доступа к памяти для PROM контроллера при записи
- 4 – 0 Такты ожидания при чтении для PROM (PRWC) – Количество дополнительных тактов системной частоты доступа к памяти для PROM контроллера при чтении

Регистр управления контроллерами памяти

Регистр управления контроллерами памяти (MEM_CTRL) определяет наличие такта lead_in и дополнительного lead_out для контроллеров памяти PROM / IO и SRAM.

Таблица 4.3.8 – Регистр управления контроллерами памяти

31	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
–	BEXCN	SBRDY	IBRDY	PBRDY	PROM_8B	LOS	LIS	LOP	LIP	
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
r	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

- 31 – 9 Зарезервировано
- 8 Разрешение сигнализации об ошибке доступа (BEXCN) – Если бит установлен, то внешний сигнал BEXCN используется для сигнализации об ошибке доступа для контроллеров PROM / IO и SRAM
- 7 Разрешение использования BRDYN для области SRAM(SBRDY) – Если бит установлен, то сигнал BRDYN будет использоваться в качестве индикатора готовности данных на шине при обращениях к области SRAM
- 6 Разрешение использования BRDYN для области IO (IBRDY) – Если бит установлен, то сигнал BRDYN будет использоваться в качестве индикатора готовности данных на шине при обращениях к области IO
- 5 Разрешение использования BRDYN для области PROM (PBRDY) – Если бит установлен, то сигнал BRDYN будет использоваться в качестве индикатора готовности данных на шине при обращениях к области PROM
- 4 Режим 8-битного доступа (PROM_8B) – Если бит установлен или на входе CFG_8B_PROM выставлен уровень логической единицы, то активируется 8-битный режим доступа к PROM (используются старшие 8 бит [31:24]), если на входе CFG_8B_PROM наблюдается уровень логического нуля и данный бит сброшен – 32-битная шина данных PROM
- 3 Lead_out для SRAM (LOS) – Наличие дополнительного такта lead_out для SRAM контроллера
- 2 Lead_in для SRAM (LIS) – Наличие такта lead_in для операций записи SRAM контроллера
- 1 Lead_out для PROM / IO (LOP) – Наличие дополнительного такта lead_out для PROM / IO контроллера
- 0 Lead_in для PROM / IO (LIP) – Наличие такта lead_in для операций записи PROM / IO контроллера

Регистр XOR маски проверочных бит внешней памяти

Регистр XOR маски проверочных бит внешней памяти (CHECKBITS_XOR) задает маску, которая складывается по модулю 2 с контрольными битами интерфейса внешней памяти (PROM, SRAM, SDRAM). Данный регистр может быть использован для тестирования механизма коррекции ошибок и организации записи управляющих последовательностей во внешнюю память FLASH.

Таблица 4.3.9 – Регистр XOR маски проверочных бит внешней памяти

31	0
CHECKBIT_XOR	
0	
rw	

- 31 – 0 Регистр маски контрольных бит (CHECKBIT_XOR) – Рассчитывает, записываемые в память контрольные биты, как ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ (XOR) между регистром CHECKBITS_XOR и контрольными битами, сгенерированными контроллером внешней памяти

Регистры управления SDRAM

Регистры управления SDRAM (SDRAM_CFG_1 и SDRAM_CFG_2) используются для управления контроллером динамической памяти и конфигурирования его временных параметров. Значение полей регистров следует задавать исходя из временных параметров используемых микросхем и текущей тактовой частоты процессора.

Таблица 4.3.10 – Регистр управления SDRAM_CFG_1

31	24	23	22	21	19	18	16	15	0
–	CL			CAW	RAW		IP		
0	0x3			0x1	0x5		0x273A		
r	rw			rw	rw		rw		

- 31 – 24 Зарезервировано
- 23 – 22 Время задержки строб-импульса адреса столбца (CL) – 2 младших бита поля «CAS Latency» стандартного регистра управления динамической памятью. Старший бит всегда равен 0. При записи в регистр на 1 такт устанавливается cmd_load_mode_register. Первая команда cmd_load_mode_register после сброса приводит к генерации инициализирующей последовательности SDRAM, последующие к командам LOAD MODE REGISTER с новым значением MODE REGISTER
- 21 – 19 Ширина адреса столбцов (CAW) – Определяет количество столбцов в динамической памяти, вычисляемое по формуле $2^{(CAW+8)}$. Допустимые значения от 0 до 5, соответственно от 256 до 8192 столбцов
- 18 – 16 Ширина адреса строки (RAW) – Определяет количество рядов в динамической памяти, вычисляемое по формуле $2^{(RAW+8)}$. Допустимые значения от 0 до 5, соответственно от 256 до 8192 рядов
- 15 – 0 Период инициализации (IP) – Период инициализации динамической памяти в тактах системной шины контроллера SDRAM. Значение включает в себя необходимое для инициализации памяти количество тактов (как правило, 100 или 200 мкс), а также величину $5 + tRP + 8 \times tRFC + tMRD$, требуемую для выполнения инициализирующей последовательности

Таблица 4.3.11 – Регистр управления SDRAM_CFG_2

31	30	29	19	18	16	15	12	11	8	7	4	3	0
–	RP		tMRD	tWR	tRCD	tRFC	tRP						
0x0	0x185		0x3	0x1	0x2	0x4	0x2						
r	rw		rw	rw	rw	rw	rw						

- 31 – 30 Зарезервировано
- 29 – 19 Период обновления (RP) – количество тактов системной частоты между последовательными командами AUTO REFRESH. Значение поля RP должно быть выбрано исходя из соотношения: $[AUTO_REFRESH_CYCLE_NS / CLOCK_FREQUENCY_MHZ / 1000] - 1$, где $[]$ – обозначает взятие целой части от числа.
- 18 – 16 Регистр управления параметром tMRD динамической памяти. Задаёт количество тактов между загрузкой MODE REGISTER и последующими командами ACTIVE или REFRESH

- 15 – 12 Регистр управления параметром tWR динамической памяти. Задаёт количество тактов между командами WRITE и PRECHARGE. Значение должно быть выбрано исходя из соотношения $[t_{WR}(нс) \times \text{CLOCK_FREQUENCY_MHZ} / 1000] + 1$, где $[]$ – обозначает взятие целой части от числа
- 11 – 8 Регистр управления параметром tRCD динамической памяти. Задаёт количество тактов между командой ACTIVE и командами READ или WRITE. Значение должно быть выбрано исходя из соотношения $[t_{RCD}(нс) \times \text{CLOCK_FREQUENCY_MHZ} / 1000] + 1$, где $[]$ – обозначает взятие целой части от числа
- 7 – 4 Регистр управления параметром tRFC динамической памяти. Задаёт количество тактов неактивности после команды AUTO_REFRESH. Значение должно быть выбрано исходя из соотношения $[t_{RFC}(нс) \times \text{CLOCK_FREQUENCY_MHZ} / 1000] + 1$, где $[]$ – обозначает взятие целой части от числа
- 3 – 0 Регистр управления параметром tRP динамической памяти. Задаёт количество тактов неактивности после команды PRECHARGE. Значение должно быть выбрано исходя из соотношения $[t_{RP}(нс) \times \text{CLOCK_FREQUENCY_MHZ} / 1000] + 1$, где $[]$ – обозначает взятие целой части от числа

4.4 Процессорное ядро LEON4

4.4.1 Общие сведения

LEON4 – 32-битовое ядро процессора, соответствующее архитектуре IEEE-1754 (SPARC V8). Оно разработано для встраиваемых систем, сочетая в себе высокую производительность, низкую сложность и энергопотребление.

Блок-схема ядра LEON4 представлена на рисунке 4.4.1.

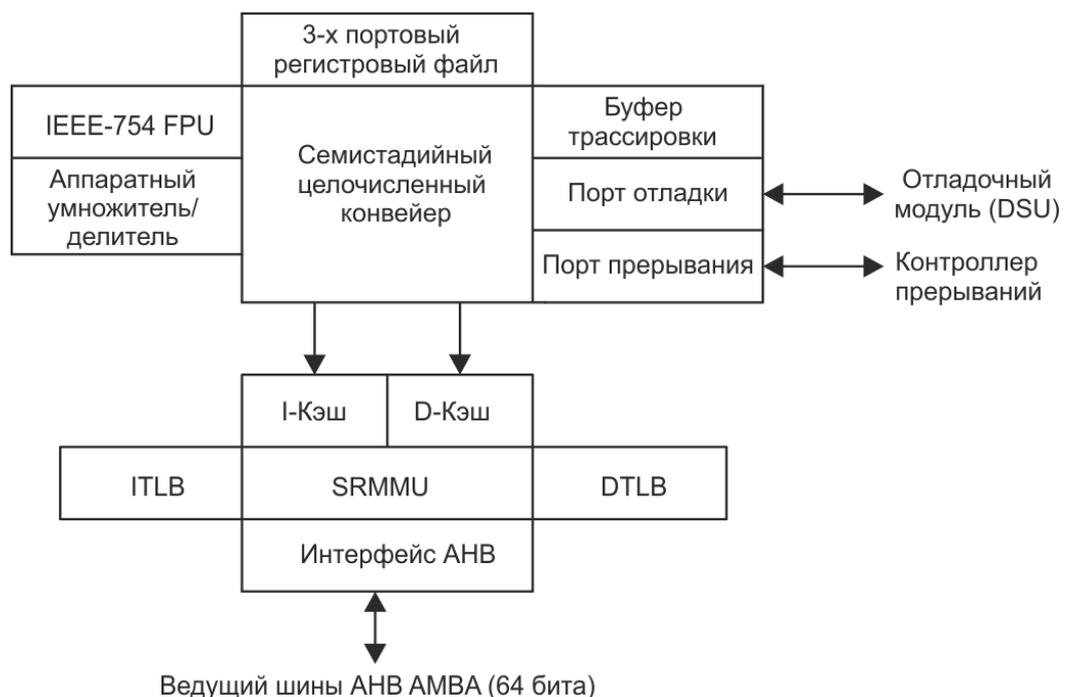


Рисунок 4.4.1 – Блок-схема ядра процессора LEON4

Данное ядро обладает следующими особенностями: 7-ступенчатый конвейер с Гарвардской архитектурой, отдельные кэш инструкций и данных, аппаратный умножитель и делитель, порт для подключения отладочного устройства.

Блок целочисленной арифметики

Блок целочисленной арифметики LEON4 реализует весь стандарт SPARC V8, включая инструкции аппаратного умножения и деления. В процессоре реализовано 8 регистровых окон, что полностью согласуется со стандартом SPARC (допустимый диапазон от 2 до 32). Конвейер состоит из семи ступеней с отдельным интерфейсом кэша инструкций и кэша данных (Гарвардская архитектура).

Конфигурация кэша

Кэш процессора LEON4 построен по Гарвардской архитектуре (разделение памяти команд и данных). Реализовано 8 Кбайт кэша инструкций (два пути по 4 Кбайт) и 8 Кбайт кэша данных (два пути по 4 Кбайт).

Кэш инструкций содержит 32 байта на строку, в то время как кэш данных использует 16 байт на строку. Кэш данных содержит по одному биту достоверности на строку, использует метод сквозной записи и реализует буфер записи двойного слова. Кэш данных осуществляет слежение за шиной АНВ (АНВ snooping).

Используемый алгоритм вытеснения по умолчанию – LRU (Least Recently Used) – вытесняется запись, неиспользованная дольше всех.

Более подробная информация приведена в пункте «4.4.3 Подсистема кэша».

Блок арифметики с плавающей запятой

Блок целочисленной арифметики LEON4 обеспечивает интерфейс для высокопроизводительного модуля с плавающей запятой GRFPU. Блок арифметики с плавающей запятой работает параллельно с блоком целочисленной арифметики и не блокирует работу, если нет зависимости от данных или ресурса.

Блок управления памятью

Блок управления памятью SPARC V8 Memory Management Unit (SRMMU) реализует всю спецификацию MMU SPARC V8 и обеспечивает построения соответствия между 32-битовыми виртуальными адресными пространствами и физической памятью.

Для ускорения трансляции адреса виртуальной памяти в адрес физической памяти реализованы буферы ассоциативной трансляции (Translation Lookaside Buffer, TLB). Буфер инструкций и буфер данных содержат по 16 записей.

Встроенное отладочное устройство

Конвейер LEON4 поддерживает функциональную возможность отладки на целевых аппаратных платформах. Для обеспечения отладки программного обеспечения реализовано два регистра контрольных точек данных. Каждый регистр может вызвать системное прерывание точки останова при обращении к заданному диапазону инструкций или адресов данных. Если присоединено отладочное устройство, контрольные точки данных могут использоваться для входа в режим отладки. Через интерфейс отладочного устройства обеспечивается полный доступ ко всем регистрам процессора и кэшу. Интерфейсы отладки также обеспечивают пошаговое исполнение, трассировку инструкций и аппаратное управление точкой останова/точкой контроля данных. Внутренний буфер трассировки может контролировать и сохранять выполняемые инструкции, которые позднее считываются через интерфейс отладки.

Интерфейс прерываний

LEON4 поддерживает модель прерываний SPARC V8 с 15 асинхронными прерываниями. Интерфейс прерываний обеспечивает функциональную возможность генерации и подтверждения прерываний.

Интерфейс AMBA

Система кэширования реализует загрузку и сохранение данных в/из кэш в ведущим устройством АНВ AMBA. Интерфейс совместим со стандартом AMBA-2.0. Чтобы оптимизировать количество обращений к памяти, во время пополнения строки генерируется пакетное обращение с инкрементом. Интерфейс AMBA сконфигурирован для использования 64-битовой шины при заполнении строки кэша. В процессоре также реализован порт подчиненного устройства шины АНВ, осуществляющий слежение за обращениями, сделанными другими управляющими устройствами шины АНВ.

Режим пониженного потребления энергии

Ядро процессора LEON4 обеспечивает возможность использования режима пониженного потребления энергии (Power-down), который останавливает конвейер и кэш до возникновения следующего прерывания. Это эффективный способ минимизировать потребление энергии, когда приложение неактивно, который не требует особых инструментов в виде управления тактированием.

4.4.2 Блок целочисленной арифметики LEON4

Общие сведения

Блок целочисленной арифметики LEON4 реализует целочисленную часть набора команд SPARC V8. Реализация сфокусирована на высокой производительности и низкой сложности. Блок целочисленной арифметики LEON4 обладает следующими особенностями:

- 7-ступенчатый конвейер инструкций;
- отдельный интерфейс кэша инструкций и кэша данных;
- 8 регистровых окон;
- аппаратный умножитель с дополнительным 16x16 – битовым MAC и 40-битовым аккумулятором;
- двоичный делитель (без восстановления);
- статическое предсказание ветвлений;
- возможность одновекторной обработки системных прерываний (SVT) для сокращения размера кода.

На рисунке [4.4.2](#) представлена блок-схема целочисленной арифметики.

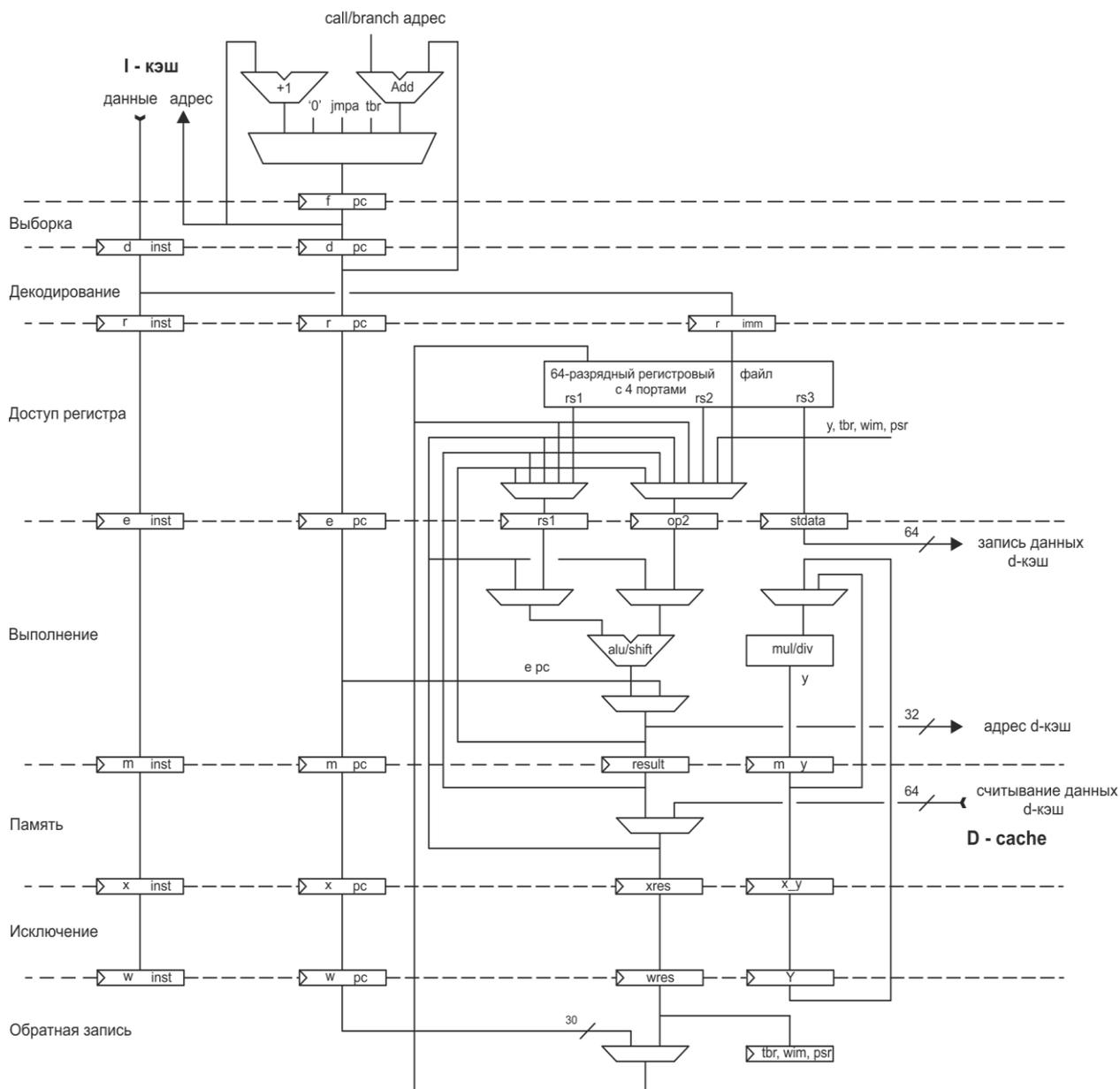


Рисунок 4.4.2 – Схема тракта блока целочисленной арифметики LEON4

Конвейер инструкций

Блок целочисленной арифметики LEON4 использует 7-ступенчатый конвейер:

1. FE (Выборка инструкции): если разрешен кэш инструкций, выборка инструкции происходит из кэша инструкций. В противном случае выборка передается в контроллер памяти. Инструкция действительна до конца этой ступени и защелкивается в блоке целочисленной арифметики.
2. DE (Декодирование): инструкция декодируется, и генерируются целевые адреса вызова процедуры/перехода.
3. RA (Доступ к регистру): компоненты считываются из регистрового файла или из внутренних цепей обходов данных.
4. EX (Выполнение): работает ALU, выполняются логические и сдвиговые операции. Генерация адреса для операций работы с памятью (например, LD) и для JMPL/RETT.
5. ME (Память): доступ к кэшу данных. Сохраняемые данные, считанные на этапе выполнения, записываются в кэш данных.

6. ХС (Исключение): разбор исключительных ситуаций и прерываний. Для чтения кэша данные выравниваются по размеру.
7. WR (Запись): результаты ALU и операций кэша записываются в регистровый файл.

В таблице 4.4.1 приведено количество тактов на выполнение 1 инструкции (с условием удачного обращения в кэш и отсутствия исс или блокировки загрузки).

Таблица 4.4.1 – Синхронизация инструкций

Инструкция	Циклы (MMU отключено)
JMPL, RETT	3
SMUL/UMUL	4*
SDIV/UDIV	35
Системное прерывание	5
Атомарные загрузка/сохранение	5
Все остальные инструкции	1

* Цикл умножения – 4 периода тактирования для умножителя 16x16, 4 такта – задержка данных.

Дополнительные условия, которые могут увеличить длительность нахождения инструкции в конвейере, перечислены в тексте ниже и таблице 4.4.2, которая описывает события, ведущие к возникновению этих типов блокировок и их временные характеристики.

Блокировка ветвления: Когда условное ветвление или системное прерывание выполняется через 1–2 цикла после инструкции, которая модифицирует коды условий, добавляется задержка в 1–2 цикла, чтобы позволить вычислить условия. Поскольку используется статическое предсказание ветвления, дополнительная задержка добавляется, только если ветвление не выполняется.

Задержка загрузки: Когда инструкции операций с данными идут сразу после загрузки данных, эти инструкции будут задерживаться для корректной работы конвейера. Конвейер процессора сконфигурирован на задержку в один цикл. Однотактная задержка дает более высокую производительность.

Задержка умножения: Для конвейерной реализации умножителя существует 1-цикловая дополнительная задержка данных.

Такты задержки: Во время процесса кэш-промаха или при выполнении блокировки буфера хранения конвейер будет остановлен до готовности данных, растягивая время выполнения инструкции. Поскольку весь конвейер останавливается, такты задержки не будут отменять задержку загрузки или блокировку ветвления.

Задержки блока арифметики с плавающей запятой: Блоку арифметики с плавающей запятой может понадобиться дополнительно задержать конвейер или сделать более длительной специфическую инструкцию. Условия возникновения подобных ситуаций описаны в пункте «4.4.5».

Таблица 4.4.2 – Тактирование событий

Событие	Циклы
Обработка неудачного обращения в кэш инструкций, MMU отключен	3 + задержка памяти
Обработка неудачного обращения в кэш инструкций, MMU включен	5 + задержка памяти
Обработка неудачного обращения в кэш данных, MMU отключен (чтение), удачное обращение L2	3 + задержка памяти
Обработка неудачного обращения в кэш данных, MMU отключен (запись), буфер записи пуст	0
Обработка неудачного обращения в кэш данных, MMU включен (чтение)	5 + задержка памяти
Обработка неудачного обращения в кэш данных, MMU включен (запись), буфер записи пуст	0
Обход таблицы страниц MMU	10 + утроенная задержка памяти
Неудачное обращение прогнозирования переходов, переход сопровождается установкой ICC	2
Неудачное обращение прогнозирования переходов, между переходом и установкой ICC – одна инструкция	1
Перезапуск конвейера по причине изменения регистрового файла или ошибки кэша	7

Идентификационный номер SPARC разработчика

Cobham Gaisler присвоен идентификационный номер 15 (0xF) SPARC разработчика. Это значение аппаратно запрограммировано в битах 31:28 регистра **%psr**. Номер версии процессора LEON4 – 3 (для сохранения программной совместимости используется то же самое значение, что и у процессора LEON3), аппаратно запрограммирован в битах 27:24 регистра **%psr**.

Инструкции деления

Обеспечена полная поддержка инструкций деления SPARC V8 (SDIV, UDIV, SDIVCC & UDIVCC). Округление и отслеживание переполнения выполняется согласно стандарту SPARC V8.

Деление выполняется со знаком/без знака 64 бит на 32 бита. Реализован циклический итерационный алгоритм деления с основанием 2. Операция деления занимает 36 тактов. Делитель не оставляет остатка. Результат округляется до нуля. Обеспечивается обнаружение отрицательного результата, нулевого результата и переполнения (согласно методу обнаружения переполнения в руководстве архитектуры SPARC V8).

Инструкции умножения

Процессор LEON поддерживает инструкции умножения целых чисел SPARC UMUL, SMUL UMULCC и SMULCC. Эти инструкции выполняют 32×32-битовое умножение целых чисел, выдавая 64-битовый результат. SMUL и SMULCC выполняют умножение со знаком, в то время как UMUL и UMULCC выполняют умножение без знака. UMULCC и SMULCC также устанавливают коды условий для отражения результата. Инструкции умножения выполняются с использованием 16×16 аппаратного умножителя за четыре такта.

Инструкции умножителя с накоплением

Для ускорения алгоритмов DSP реализованы две инструкции умножителя с накоплением: UMAC и SMAC. UMAC выполняет 16-битовое умножение без знака, выдавая 32-битовый результат, и добавляет результат к 40-битовому аккумулятору, состоящему из 8 младших значащих битов из регистра %у и регистра %asr18. 32 младших значащих бита также записываются в регистр назначения. SMAC работает так же, но выполняет умножение и накопление со знаком. Инструкции MAC выполняются за один такт, но присутствуют два периода ожидания тактирования, т.е., если следующая инструкция использует регистр назначения MAC, как исходный компонент, вставляется один цикл останова конвейерной обработки.

Синтаксическая структура ассемблера:

```
umac rs1, reg_imm, rd
smac rs1, reg_imm, rd
```

Команда:

```
prod[31:0] = rs1[15:0] × reg_imm[15:0]
result[39:0] = (Y[7:0] & %asr18[31:0]) + prod[31:0]
(Y[7:0] & %asr18[31:0]) = result[39:0]
rd = result[31:0]
```

В регистр %asr18 можно осуществлять запись и считывать данные с помощью инструкций WRASR и RDASR.

Инструкция сравнения с обменом (CASA)

LEON4 реализует инструкцию альтернативного сравнения с обменом (CASA) SPARC V9. CASA работает в соответствии с руководством SPARC V9. Инструкция является привилегированной, за исключением случая использования ASI = 0xA (пользовательские данные).

Прогнозирование переходов

LEON4 реализует интеллектуальное выполнение постоянных переходов, потенциально сохраняя 1 – 2 периода тактирования, если поле %psr.icc обновлено в двух инструкциях, предшествующих условному переходу. При промахе прогнозирования не накладывается никаких дополнительных штрафов, так как инструкции выполняемой ветви могут быть получены из кэша.

Буфер трассировки инструкций

Буфер трассировки инструкций состоит из кольцевого буфера, в котором сохраняются выполненные инструкции. Работа буфера трассировки управляется через интерфейс отладочного устройства и не влияет на работу процессора. Полный объем – 1 Кбайт. В буфере трассировки сохраняется следующая информация:

- адрес инструкции и код операции;
- результат инструкции;
- загруженные/сохраненные данные и адрес;
- информация о системном прерывании;
- 30-битовая метка времени.

Исключения

LEON4 использует общую модель исключений SPARC. В таблице 4.4.3 представлены реализованные системные прерывания и их конкретный приоритет. Если бит PSR (регистр состояния процессора) ET = 0, прерывание при возникновении исключительной ситуации останавливает работу процессора и вводит его в режим ошибки, при этом устанавливается внешний сигнал ошибки.

Более подробная информация о типах и механизмах работы исключений приведена в подразделе «5.4 Системные прерывания».

Таблица 4.4.3 – Размещение и приоритет системных прерываний

Приоритет	Системное прерывание	tt	Описание	Класс
1	2	3	4	5
1	reset	0x00	Сброс при включении	Прерывающее
2	write error	0x2B	Ошибка буфера записи при сохранении данных	Прерывающее
3	instruction_access_error	0x01	Ошибка или отсутствие страницы MMU при выборке инструкции	Строгое
4	privileged_instruction	0x03	Выполнение привилегированной инструкции в пользовательском режиме	Строгое
5	illegal_instruction	0x02	UNIMP или другая нереализованная инструкция	Строгое
6	fp_disabled	0x04	Инструкция FP при отключенном блоке арифметики с плавающей запятой	Строгое
6	cp_disabled	0x24	Инструкция CP при отключенном сопроцессоре	Строгое
7	watchpoint_detected	0x0B	Обнаружение аппаратной точки останова	Строгое
8	window_overflow	0x05	SAVE в недопустимое окно	Строгое
8	window_underflow	0x06	RESTORE в недопустимое окно	Строгое
10	mem_address_not_aligned	0x07	Доступ к памяти по не выровненному адресу	Строгое
11	fp_exception	0x08	Исключение блока арифметики с плавающей запятой	Отложенное
11	cp_exception	0x28	Исключение сопроцессора	Отложенное
13	data_access_exception	0x09	Ошибка доступа во время выполнения инструкции загрузки или сохранения, отсутствие страницы MMU	Строгое
14	tag_overflow	0x0A	Переполнение тегированных арифметических операций	Строгое
15	divide_exception	0x2A	Деление на ноль	Строгое
16	trap_instruction	0x80 – 0xFF	Инструкция системного прерывания программного обеспечения (TA)	Строгое
17	interrupt_level_15	0x1F	Асинхронное прерывание 15	Прерывающее
18	interrupt_level_14	0x1E	Асинхронное прерывание 14	Прерывающее
19	interrupt_level_13	0x1D	Асинхронное прерывание 13	Прерывающее
20	interrupt_level_12	0x1C	Асинхронное прерывание 12	Прерывающее

Окончание таблицы 4.4.3

1	2	3	4	5
21	interrupt_level_11	0x1B	Асинхронное прерывание 11	Прерывающее
22	interrupt_level_10	0x1A	Асинхронное прерывание 10	Прерывающее
23	interrupt_level_9	0x19	Асинхронное прерывание 9	Прерывающее
24	interrupt_level_8	0x18	Асинхронное прерывание 8	Прерывающее
25	interrupt_level_7	0x17	Асинхронное прерывание 7	Прерывающее
26	interrupt_level_6	0x16	Асинхронное прерывание 6	Прерывающее
27	interrupt_level_5	0x15	Асинхронное прерывание 5	Прерывающее
28	interrupt_level_4	0x14	Асинхронное прерывание 4	Прерывающее
29	interrupt_level_3	0x13	Асинхронное прерывание 3	Прерывающее
30	interrupt_level_2	0x12	Асинхронное прерывание 2	Прерывающее
31	interrupt_level_1	0x11	Асинхронное прерывание 1	Прерывающее

Одновекторная обработка системных прерываний (SVT)

Одновекторная обработка системных прерываний (SVT) – опция SPARC V8e, которая служит для сокращения размера кода во встраиваемых системах. При включённой данной опции системное прерывание всегда переходит по вектору сброса (%tbr.tba + 0). Тип системного прерывания будет указан в %tbr.tt и должен быть декодирован общим обработчиком системных прерываний. SVT разрешено при установке бита 13 в %asr17.

Частичная запись WRPSR

Частичная запись в регистр %PSR (WRPSR) – опция SPARC V8e, которая позволяет инструкции WRPSR влиять только на поле %PSR.ET. Если поле rd инструкции WRPSR не нулевое, то будет перезаписано только поле ET.

Режим пониженного потребления энергии

Процессор поддерживает использование режима пониженного потребления энергии, чтобы минимизировать потребляемую мощность в режиме простоя. Вход в режим пониженного потребления энергии осуществляется с помощью инструкции WRASR над регистром %asr19:

```
wr %g0, %asr19
```

В режиме пониженного потребления энергии работа конвейера приостанавливается до следующего прерывания. Сигналы в конвейере процессора и кэшах статичны, сокращается потребляемая мощность на динамическое переключение.

Важно помнить:

1. В регистр %asr19 всегда должно быть записано нулевое значение для гарантии совместимости с будущими версиями процессора.
2. Данная инструкция должна выполняться из режима операционной системы (supervisor mode), прерывания должны быть разрешены.

При выходе из режима Power-down конвейер будет вновь заполняться инструкциями и первая инструкция, следующая за WRASR, будет выполнена перед захватом прерывания. Будет осуществлена выборка вплоть до шести инструкций после WRASR (возможно с промахами кэша, если они не находятся в нем) перед началом выборки обработчика прерывания.

Сброс процессора

Сброс процессора осуществляется при установке входа RESET, по крайней мере, в течение 4 циклов тактирования. В таблице 4.4.4 указаны значения сброса регистров, которые меняются при сбросе. Во всех других регистрах значения не меняются (или не определяются).

Таблица 4.4.4 – Значения при сбросе процессора

Регистр	Значение сброса
PC (счетчик команд)	0x00000000
nPC (следующее значение счетчика команд)	0x00000004
PSR (регистр состояния процессора)	ET=0, S=1

Выполнение инструкций процессором стартует с адреса 0x00000000.

4.4.3 Подсистема кэша

Процессор LEON4 выполнен на базе Гарвардской архитектуры с отдельными шинами инструкций и данных, подключенными к двум независимыми контроллерам кэша. До тех пор, пока выполнение не вызывает промах кэша, контроллеры кэша позволяют сохранить 1 такт выборки инструкции и одно обращение считывания/записи данных в каждом цикле, позволяя конвейеру работать на полной скорости.

При промахе в кэш контроллер кэша устанавливает сигнал удержания, приостанавливающий конвейер целочисленных инструкций, после получения данных сигнал удержания устанавливается вновь, чтобы продолжилось выполнение инструкций. Оба контроллера кэшей для доступа по шине совместно используют одно и то же подключение к шине АНВ. Некоторые части MMU (логические цепи обхода таблицы страниц, буфер TLB) также совместно используются обоими контроллерами.

Еще одним важным компонентом кэша данных является буфер записи, позволяющий выполнять операции сохранения параллельно с выполнением инструкций.

Оба кэша сконфигурированы как мультиканальные, с ассоциативностью 2. Размер каждого канала – 4 Кбайт (и для инструкций и для данных). Таким образом, общий размер кэша составляет 8 Кбайт инструкций и 8 Кбайт данных. Кэш инструкций содержит 32 байта на линию, кэш данных – 16 байт на линию. Кэш данных выполнен как буфер записи двойного слова. С помощью регистров контроля кэша можно выбрать один из трёх способов замены: с наиболее давним использованием (LRU), с наиболее давней произведенной заменой (LRR) или псевдослучайный. По сбросу выбран алгоритм LRU.

Алгоритм LRU для сохранения предыстории доступа использует дополнительные триггеры на строку кэша. Алгоритм LRR, наряду с тегами, хранит индекс наиболее давно замененного. Эти данные используются для реализации политики замены. Алгоритм псевдослучайной замены реализован через счетчик по модулю-N, который выбирает строку для исключения при неудачном обращении в кэш.

Управление областями кэширования для обоих кэшей осуществляется через адресную информацию plug & play АНВ. Отображение памяти для каждого ведомого устройства АНВ указывает возможность кэширования области; эта информация используется для (статического) определения кэшируемого доступа. Данный подход означает, что разметка кэширования полностью определяется текущей конфигурацией шины АНВ.

Принцип работы кэша

Каждый контроллер кэша имеет два основных блока памяти, блок меток и блок данных. Каждый адрес в памяти меток, каждой строки кэша, каждого канала используется для сохранения данных из определенного набора возможных адресов. Память данных хранит данные соответствующего канала (пути).

Для каждого канала память меток содержит следующую информацию:

- Бит достоверности, который сообщает: содержатся ли достоверные данные или место свободно. Оба кэша имеют по одному биту достоверности на строку.
- Метку, все биты адреса кэшируемой памяти, которые не подразумеваются набором.
- Если MMU используется, идентификатор контекста записи кэша.
- Если используется LRR, бит, определяющий порядок замещения.
- Контрольные биты для детектирования ошибок.

Когда осуществляется считывание из кэша, метки и данные для всех каналов соответствующих наборов считываются параллельно, метки и биты достоверности сравниваются с требуемым адресом, выбирается соответствующий канал (путь). В случае «попадания», все эти действия осуществляются в один такт, что обеспечивает полную скорость выполнения процессора.

В случае «промаха», кэш сначала выдаст некорректные данные. Однако на следующий такт будет установлен сигнал удержания, который воспрепятствует использованию этих данных процессором. После того как промах будет обработан, корректные данные вводятся в конвейер, используя сигнал strobe данных памяти (mds), после этого сигнал удержания может быть снят. Если отсутствующий адрес попадает в кэшируемую область, тогда данные, считанные при промахе кэша, будут помещены в него, возможно с заменой одного из существующих каналов (путей).

В случае потокового выполнения инструкций, конвейер процессора осуществляет по одному шагу при получении очередной инструкции. Если процессору требуются дополнительные такты для выполнения многотактных инструкций, или при блокировании (см. пункт «4.4.2 Блок целочисленной арифметики LEON4. Конвейер инструкций»), или при осуществлении прыжка/выполнения операции ветвления, контроллер кэша инструкций приостановит конвейер, произведет выборку для заполнения оставшейся строки кэша, затем конвейер возобновит работу в нормальном режиме.

В случае ошибки доступа к памяти при выборке строки соответствующий бит достоверности в метке кэша сбрасывается и генерируется системное прерывание при ошибке доступа к инструкции (tt=0x01) или данным (tt=0x09).

Заблокированные передачи АНВ генерируются для инструкций LDSTUB, SWAP и CASA. Заблокированные передачи всегда некэшируемые.

Адресация кэша инструкций

Отображение адреса кэша инструкций состоит из нескольких полей, как показано в таблице 4.4.5:

Таблица 4.4.5 – Адресация кэша инструкций. Метка для канала в 4 Кбайт, 32 байта/строка

31	12 11	5 4	0
	Tag	Index	Offset

- 31 – 12 Метка адреса (Tag) – адрес строки кэша в основной памяти с отброшенными младшими битами
- 11 – 5 Индекс (Index)
- 4 – 0 Смещение (Offset)

Адресация кэша данных

Отображение адреса кэша данных состоит из нескольких полей, как показано в таблице 4.4.6:

Таблица 4.4.6 – Адресация кэша данных. Метка для канала в 4 Кбайт, 16 байт/строку

31	12 11	4 3	0
Tag		Index	Offset

31 – 12	Метка адреса (Tag) – адрес строки кэша в основной памяти с отброшенными младшими битами
11 – 4	Индекс (Index)
3 – 0	Смещение (Offset)

Правила поведения кэша данных

Кэш данных использует метод сквозной записи, это означает, что каждая операция сохранения по шине будет осуществляться через буфер записи. Поэтому в кэше не будет наблюдаться «грязных» строк, в которых ещё не перезаписаны данные, кроме тех, что находятся в буфере. Операция сохранения будет также обновлять кэш, если адрес присутствует, однако в этом случае не будет выделена новая линия. Правила поведения кэша данных представлены в таблице 4.4.7.

Таблица 4.4.7 – Правила поведения кэша данных

Операция	В кэше	Кэшируемость	Действие на шине	Действие в кэше	Загрузка данных
Загрузка данных	Нет	Нет	Чтение	Отсутствует	Шина
	Нет	Да	Чтение	Выделение / обновление строки	Шина
	Да	–	Нет	Отсутствует	Кэш
Загрузка данных с принудительным кэш-промахом (ASI 0x01)	Нет	Нет	Чтение	Отсутствует	Шина
	Нет	Да	Чтение	Выделение / обновление строки	Шина
	Да	–	Чтение	Обновление данных	Шина
Загрузка данных в обход MMU (ASI 0x1C)	–	–	Чтение (физический адрес)	Отсутствует	Шина
Сохранение данных	Нет	Нет	Запись (через буфер)	Отсутствует	Не доступно
	Нет	Да	Запись (через буфер)	Отсутствует	Не доступно
	Да	–	Запись (через буфер)	Обновление данных	Не доступно
Сохранение данных в обход MMU (ASI 0x1C)	–	–	Запись (через буфер, физический адрес)	Отсутствует	Не доступно

Буфер записи

Буфер записи (WRB) состоит из трех 32-битовых регистров, используемых для временного хранения данных до их отправки в устройство назначения. Для хранения полуслова или байтов сохраненные данные дублируются с соответствующим

выравниванием байтов для записи в адресуемое с помощью слова устройство перед загрузкой в один из регистров WRB. WRB освобождается до последовательности заполнения кэша при неудачном обращении загрузки во избежание считывания из кэша данных устаревших данных.

Так как процессор работает параллельно с буфером записи, ошибка при записи не вызывает исключение инструкции сохранения. В зависимости от работы памяти и кэша, цикл записи не начнется, пока не завершится несколько циклов тактирования после выполнения инструкций сохранения. При возникновении ошибки при записи текущая инструкция принимает системное прерывание 0x2b.

Примечание – Обработчик системного прерывания 0x2b должен сбрасывать кэш данных, поскольку удачное обращение записи обновляет кэш, в то время как в памяти будет сохраняться старое значение как следствие ошибки при записи.

Работа с активным MMU

Когда разрешено использование MMU, виртуальный адрес, видимый из исполняемого кода, больше не соотносится напрямую с физическим адресом на шине АНВ. Кэш использует метки, основанные на виртуальном адресе, поскольку это позволяет избежать какой-либо дополнительной работы на трансляцию в случае наиболее критичных по времени исполнения обращений.

Тем не менее, каждый раз, когда необходим доступ к шине, требуется отправить к MMU запрос на трансляцию, чтобы преобразовать виртуальный адрес в физический адрес. Для буфера записи данное действие включено в состав фоновой обработки операции сохранения. Запрос на трансляцию к MMU может привести к доступу памяти из MMU для выполнения обхода таблицы страниц, в зависимости от состояния MMU.

Идентификатор контекста MMU включается в метку кэша для того, чтобы обеспечить переключение между несколькими контекстами MMU, отображающими один и тот же виртуальный адрес для различных физических адресов. Следует обратить внимание, что кэш не обнаруживает альтернативные ссылки на тот же физический адрес, в этом случае один и тот же физический адрес может быть кэширован несколькими каналами (см. далее «[Отслеживание \(Snooping\)](#)»).

Отслеживание (Snooping)

За шиной АНВ, к которой подключен процессор, осуществляется слежение за операциями записи от других управляющих устройств по адресам, которые содержатся в кэше. Если запись производится в кэшированный адрес, строка кэша помечается как недействительная, процессор будет вынужден осуществлять выборку данных из памяти при следующем запросе на их считывание.

Для использования отслеживания совместно с MMU задействована дополнительная память меток, в которой сохраняются физические метки. Они позволяют производить сравнение содержимого кэша с памятью, расположенное по реальным физическим адресам на шине АНВ.

Процессор не следит сам за собой, поэтому если используется многократная виртуальная разметка одних и тех же физических адресов, это приведет к появлению устаревших данных в кэше при записи.

Разрешение и запрещения использования кэшей

После сброса процессора использование кэша инструкций и кэша данных запрещено. Их работа может быть активирована с помощью записи в подпункте «[Регистр управления кэша](#)» (см. пункт «[4.4.8](#)»). После сброса процессора, прежде чем разрешить использование кэшей, их следует сбросить, чтобы гарантировать, что во всех метках будет

сброшен бит действительности. Также, из-за особенностей реализации системы помехоустойчивого кодирования, требуется осуществить сброс данных кэшей для всех каналов. Игнорирование данной особенности приведет к постоянным промахам в кэш, что сделает его использование полностью бесполезным с точки зрения производительности. Подходящая ассемблерная последовательность для инициализации и разрешения кэшей после сброса процессора:

! Примечание 1: Инструкции STA / LDA могут быть выполнены, только если процессор находится в режиме супервизора (установлен бит S регистра %psr)

! Примечание 2: Для осуществления доступа к меткам и данным кэша инструкций (ASI 0x0C-0x0D) требуется, чтобы он находился в состоянии «отключен»

! Примечание 3: Инструкции STA / LDA в ASI 0x0C-0x0F во время выполнения flush приведут к системному прерыванию data_access_exception

```
.text
.global initialize_caches
```

```
initialize_caches:
```

```
initialize_caches_tags:
```

```
sta %g0, [%g0] 0x02      ! Отключение обеих кэшей (опционально). Можно
                          ! исключить данную инструкцию, если кэш
                          ! инструкций не был включен ранее

flush %g0              ! Сбросит все поля VALID обеих кэшей. Операция
                          ! не останавливает выполнение инструкций, но
                          ! во время её выполнения нельзя осуществлять доступ
                          ! к ASI 0x0C-0x0F
```

```
initialize_icache_data_except_way_0:
```

```
set 0x00000008, %g3
lda [%g3] 0x02, %g3      ! Чтение регистра конфигурации кэша инструкций
srl %g3, 24, %g1
and %g1, 0x7, %g1       ! Значение поля WAYS
                          ! (0002 – кэш с прямым отображением,
                          ! 0012 – 2-х канальный кэш,
                          ! 0102 – 3-х канальный кэш,
                          ! 0112 – 4-х канальный кэш)

add %g1, 1, %g1
sll %g1, 10, %g2        ! Размер кэша инструкций, при условии, что
                          ! каждый канал – 1 Кбайт

srl %g3, 20, %g1
and %g1, 0xF, %g1      ! Значение поля WSIZE (2WSIZE Кбайт/канал)
sll %g2, %g1, %g2      ! %g2 – размер кэша инструкций
```

```
! Ожидание завершения операции flush
```

```
lda [%g0] 0x02, %g1
```

```
2:
```

```
srl %g1, 14, %g1
andcc %g1, 0x0003, %g0 ! Проверка битов IP и DP регистра управления кэша
bne 2b
lda [%g0] 0x02, %g1
```

! Основной цикл записи (весь объем заполняется 0x00000000)
.align 32 *! Принудительное размещение кода цикла в пределах*
! одного блока предвыборки инструкций (8 слов)

l:

subcc %g2, 4, %g2
bne lb
sta %g0, [%g2] 0x0D *! Запись в ASI 0x0D (данные кэша инструкций)*

! Разрешение кэша инструкций (для ускорения хода дальнейшей инициализации)
set 0x00000003, %g1
sta %g1, [%g0] 0x02

initialize_dcache_data_except_way_0:

set 0x0000000C, %g3
lda [%g3] 0x02, %g3 *! Чтение регистра конфигурации кэша данных*
srl %g3, 24, %g1
and %g1, 0x7, %g1 *! Значение поля WAYS*
! (000₂ – кэш с прямым отображением,
! 001₂ – 2-х канальный кэш,
! 010₂ – 3-х канальный кэш,
! 011₂ – 4-х канальный кэш)

add %g1, 1, %g1
sll %g1, 10, %g2 *! Размер кэша данных, при условии, что*
! каждый канал – 1 Кбайт

srl %g3, 20, %g1
and %g1, 0xF, %g1 *! Значение поля WSIZE (2^{WSIZE} Кбайт/канал)*
sll %g2, %g1, %g2 *! %g2 – размер кэша данных*

! Основной цикл записи (весь объем заполняется 0x00000000)

l:

subcc %g2, 4, %g2
bne lb
sta %g0, [%g2] 0x0F *! Запись в ASI 0x0F (данные кэша данных)*

! Разрешение обеих кэшей и слежения за метками кэша данных
set 0x0080000F, %g2
sta %g2, [%g0] 0x02

Фиксация кэша

Каждый кэш может находиться в одном из трех состояний: запрещен, разрешен, зафиксирован. Если он запрещен, то не осуществляется никаких операций с кэшем, запросы на считывание и запись отправляются напрямую контроллеру памяти. Если кэш разрешен, то операции осуществляются в соответствии с приведенным выше описанием. Если кэш зафиксирован, то при обращении остается доступен, продолжает осуществляться синхронизация данных с основной памятью, как если бы он был разрешен, но не выделяются новые строки при промахе в кэш.

Если установлены биты DF или IF, то соответствующий тип кэша будет зафиксирован при захвате асинхронного прерывания. Это может быть полезным в системах реального времени для получения более точного результата при расчете времени исполнения сегмента кода в наихудших условиях. Выполнение обработчика прерывания не будет вызывать вытеснение каких-либо строк кэша, когда управление будет возвращено прерванной задаче, состояние кэша будет оставаться идентичным тому,

которое было до прерывания. Если кэш был зафиксирован по прерыванию, то единственный способ вновь его активировать – запись в пункте «4.4.8» подпункта «Регистр управления кэша». Обычно данное действие осуществляется в конце обработчика прерывания, перед тем как управление будет возвращено прерванной задаче.

Сброс кэша (Flushing)

Сброс кэша инструкций и кэша данных осуществляется с помощью инструкции FLUSH. Кэш инструкций также сбрасывается при установке бита FI в регистре управления кэша (см. таблицу 4.4.29), в то время как кэш данных также сбрасывается при установке бита FD в регистр управления кэша. Т.к. процессор реализован с MMU, кэши I и D можно сбрасывать при записи в любую ячейку с ASI = 0x10.

Сброс кэша занимает один цикл на строку кэша, данная операция не приостанавливает работу блока целочисленной арифметики, но в это время кэши будут отключены. По завершении сброса кэш восстанавливает состояние (отключен, включен или зафиксирован), отображаемое в регистре управления кэша. Диагностический доступ к кэшу во время операции FLUSH закрыт; в случае попытки получения доступа выполняется системное прерывание `data_access_exception` (tt = 0x09).

Стоит отметить, что в противопоставление спецификации SPARC V8, в которой заявлено что сброс будет воздействовать только на инструкции, на которые указывает аргумент инструкции FLUSH, LEON4 будет дополнительно сбрасывать весь кэш инструкций и кэш данных. Такое поведение разрешено руководством, так как дополнительный функционал сброса повлияет только на производительность, а не на функционирование. На текущий момент LEON4 игнорирует аргумент адреса, для будущей совместимости рекомендуется использовать только `flush %g0`, если необходим полнофункциональный сброс.

Доступ для диагностического контроля кэша

Доступ к меткам и данным в кэше инструкций и кэше данных можно получить через адресуемое пространство ASI 0xC, 0xD, 0xE и 0xF при выполнении инструкций STA и LDA. Более подробная информация приведена в пункте «4.4.7 ASI 0xC–0xF. I-кэш метки/данные, D-кэш метки/данные».

4.4.4 Блок управления памятью (MMU)

Блок управления памятью (MMU) совместим с базовым блоком SPARC V8 (SRMMU), описанным в приложении H спецификации SPARC V8. Блок управления памятью можно дополнительно сконфигурировать. Для этого используется доступ к регистрам, расположенным в ASI. Более подробная информация приведена в пункте «4.4.7 Идентификаторы адресных пространств (ASI)».

Принцип работы MMU/кэша

Если MMU отключен, кэш работает в нормальном режиме с отображением физического адреса. Если MMU разрешен, метки кэша сохраняют виртуальный адрес, а также используется 8-битовое поле контекста.

Поскольку для создания меток кэша используется виртуальный адрес, в случае заполнения кэша или удачного обращения в кэш дополнительные циклы тактирования не требуются. Поскольку реализован отдельный буфер ассоциативной трансляции (TLB) с быстрым доступом, то даже при неудачном обращении в кэш или заполнении буфера на необходимую трансляцию не требуется дополнительных тактов процессора. Просмотр

TLB производится одновременно с доступом к метке. Это улучшает общую пропускную способность.

В случае неудачного обращения TLB, требуется совершить обход таблицы переадресации страниц, что может вызвать вплоть до четырех доступов чтения на шине AMBA и одну возможную операцию обратной записи.

Обращение в отсутствующую страницу MMU будет генерировать системное прерывание 0x09 для кэша данных и системное прерывание 0x01 для кэша инструкций, изменит регистр статуса сбоя MMU (см. таблицу 4.4.36) в соответствии с таблицей 4.4.8 и спецификацией SRMMU. В случае множественных ошибок итоговое значение типа ошибки выбирается согласно приоритету, требуемому спецификацией SRMMU. Кэш и память не будут изменены при возникновении страничной ошибки MMU.

Таблица 4.4.8 – Значения типов ошибок регистра статуса сбоя MMU LEON4

Приоритет	SPARC V8 описание	Тип	Условия
1	Внутренняя ошибка	6	Никогда не случается в LEON SRMMU
2	Ошибка трансляции	4	Ответ ошибки АНВ во время обхода таблицы страниц. Ошибки трансляции, как определено в описании архитектуры SPARC V8. Ошибка трансляции по причине ответа AMBA ERROR будет переписывать все остальные ошибки. Другие ошибки трансляции не могут переписать существующие ошибки трансляции, когда $FAV = 1$
3	Некорректный адрес	1	Запись таблицы страниц для адреса была помечена как недействительная
4	Ошибка права доступа	3	Доступ запрещен, основываясь на таблице страниц и статусе пользователь /супервизор (см. спецификацию SRMMU для разъяснения приоритета ошибок защиты и права доступа)
5	Ошибка защиты	2	
–	Нет	0	Нет ошибок (внутри прерывания это означает, что системное прерывание случилось, когда осуществлялась выборка актуальных данных)

Регистры MMU

Регистры MMU приведены в таблицах 4.4.33 – 4.4.37 в пункте «4.4.8 Регистры конфигурации».

Буфер ассоциативной трансляции (TLB)

MMU сконфигурировано для использования отдельного TLB для инструкций и данных. Количество записей TLB инструкций равно 16. Количество записей TLB данных – 16. Организация TLB и количество записей не видны программному обеспечению, поэтому модификаций операционной системы под различные конфигурации не требуется. Буфер ассоциативной трансляции может быть сброшен записью в ASI 0x18 (см. «4.4.7 Идентификаторы адресных пространств (ASI)»).

4.4.5 Блок арифметики с плавающей запятой

Высокопроизводительный блок GRFPU реализует операции над числами с плавающей запятой, согласно стандартам IEEE-754 и SPARC V8 (IEEE-1754).

GRFPU обрабатывает числа с плавающей запятой в формате с одинарной или удвоенной точностью, как определено в стандарте IEEE-754, за исключением денормализованных чисел.

Блок арифметики с плавающей запятой связан с помощью интерфейса с конвейером LEON4, используя специализированный контроллер FPU LEON4 (GRFPC), который позволяет выполнять инструкции FPU одновременно с инструкциями целочисленной арифметики. Целочисленный конвейер останавливается только в случае зависимости по данным или ресурсам.

GRFPU поддерживает четыре типа операций с плавающей запятой: арифметические, операции преобразования типов данных, операции сравнения и перемещения. Операции реализуют все инструкции с плавающей запятой, определенные набором команд SPARC V8, и большинство операций, определенных в IEEE-754. Все операции с кодами, компонентами, результатами и кодами исключений представлены в таблице 4.4.9.

Таблица 4.4.9 – Операции GRFPU

Операция	Код операции [8:0]	Op1	Op2	Результат	Исключения	Описание
1	2	3	4	5	6	7
Арифметические операции						
FADDS	001000001	SP	SP	SP	UNF, NV, OF, UF, NX	Сложение
FADDD	001000010	DP	DP	DP		
FSUBS	001000101	SP	SP	SP	UNF, NV, OF, UF, NX	Вычитание
FSUBD	001000110	DP	DP	DP		
FMULS	001001001	SP	SP	SP	UNF, NV, OF, UF, NX	Умножение, FSMULD дает число удвоенной точности при умножении двух операндов одинарной точности
FMULD	001001010	DP	DP	DP		
FSMULD	001101001	SP	SP	DP	UNF, NV, OF, UF	
FDIVS	001001101	SP	SP	SP	UNF, NV, OF, UF, NX, DZ	Деление
FDIVD	001001110	DP	DP	DP		
FSQRTS	000101001	–	SP	SP	UNF, NV, NX	Квадратный корень
FSQRTD	000101010	–	DP	DP		
Операции преобразования типов данных						
FITOS	011000100	–	INT	SP	NX	Преобразование целых в типы с плавающей запятой
FITOD	011001000	–		DP	–	
FSTOI	011010001	–	SP	INT	UNF, NV, NX	Преобразование типов с плавающей запятой в целые. Результат округляется в направлении нуля
FDTOI	011010010	–	DP			
FSTOI_RND	111010001	–	SP	INT	UNF, NV, NX	Преобразование типов с плавающей запятой в целые. Округление в соответствии с входом ROUND
FDTOI_RND	111010010	–	DP			
FSTOD	011001001	–	SP	DP	UNF, NV	Преобразование форматов с плавающей запятой из одного в другой
FDTOS	011000110	–	DP	SP	UNF, NV, OF, UF, NX	

Продолжение таблицы 4.4.9

1	2	3	4	5	6	7
Операции сравнения						
FCMPS	001010001	SP	SP	CC	NV	Сравнение форматов с плавающей запятой. Неверное исключение генерируется, если один из компонентов выдает сигнал NaN
FCMPD	001010010	DP	DP			
FCMPES	001010101	SP	SP	CC	NV	Сравнение форматов с плавающей запятой. Неверное исключение генерируется, если один из компонентов – NaN (без сообщений или выдает сигнал)
FCMPED	001010110	DP	DP			
Отрицание, абсолютное значение и перемещение						
FABSS	000001001	–	SP	SP	–	Абсолютное значение
FNEGS	000000101	–	SP	SP	–	Отрицание
FMOVS	000000001	–	SP	SP	–	Перемещение. Копирует операнд в регистр результата
<p>Примечание – Принятые условные обозначения:</p> <ul style="list-style-type: none"> - SP – число с плавающей запятой с одинарной точностью; - DP – число с плавающей запятой с удвоенной точностью; - CC – коды условий (00 - равенство; 01 - первый операнд больше второго; 10 - первый операнд меньше второго; 11 - не упорядочено); - UNF, NV, OF, UF, NX - исключения с плавающей запятой; - INT - 32-разрядное целое число. 						

Арифметические операции включают сложение, вычитание, умножение, деление и квадратный корень. Каждая арифметическая операция может быть выполнена в формате с одинарной или удвоенной точностью.

GRFPU конвейеризован и обеспечивает старт одной инструкции при каждом цикле тактирования, за исключением FDIV и FSQRT, которые выполняются только поочередно. FDIV и FSQRT выполняются в отдельном делителе и не блокируют FPU при выполнении других параллельных операций.

Все инструкции, кроме FDIV и FSQRT, имеют период ожидания в три цикла, но для улучшения синхронизации контроллер FPU LEON4 (GRFPC) вставляет дополнительный цикл конвейера в канал передачи результата. Это обеспечивает период ожидания в четыре цикла тактирования на уровне инструкций. В таблице 4.4.10 представлена производительность блока GRFPU, а также время прохождения инструкции по конвейеру.

Таблица 4.4.10 – Производительность GRFPU с GRFPC

Инструкция	Пропускная способность	Период ожидания
FADDS, FADDD, FSUBS, FSUBD, FMULS, FMULD, FSMULD, FITOS, FITOD, FSTOI, FSTOI_RND, FDTOI, FDTOI_RND, FSTOD, FDTOS, FCMPs, FCMPD, FCMPES, FCMPED	1	4
FDIVS	14	16
FDIVD	15	17
FSQRTS	22	24
FSQRTD	23	25

Сложение, вычитание и умножение можно осуществлять каждый такт, обеспечивая высокую производительность для этих наиболее распространенных операций. Операции деления и вычисления квадратного корня имеют более низкую производительность и большую задержку ожидания ввиду сложности алгоритмов, но выполняются параллельно с другими операциями с плавающей запятой в неблокирующем итерационном модуле. Выполнение операций с изменением их очередности и с различными периодами ожидания осуществляется через интерфейс GRFPU, который присваивает каждой операции, выдающей результат на выход, соответствующий идентификатор, как только она завершена.

Операции преобразования типов данных выполняются в модуле с конвейерной организацией и имеют производительность в один такт и период ожидания – в четыре такта. Операции преобразования типов данных обеспечивают преобразование чисел с плавающей запятой в целые и наоборот.

Доступны функции сравнения, обеспечивающие обработку двух различных чисел типа QNaNs. Также доступно перемещение, отрицание и получение абсолютного значения. Эти операции никогда не генерируют исключение незаконченности (сигнал о возникновении исключения незаконченности никогда не передается, так как при сравнении, преобразовании, получении абсолютного значения и перемещении обрабатываются денормализованные числа).

Исключения

GRFPU обнаруживает все исключения, определенные в стандарте IEEE-754, включая обнаружение недопустимых операций (NV), переполнение (OF), обратное переполнение (UF), деление на ноль (DZ) и погрешность (NX). Также реализована генерация специальных результатов таких, как NaNs и бесконечность. Переполнение (OF) и обратное переполнение (UF) обнаруживаются перед округлением. Если в процессе выполнения операции происходит обратное переполнение, результат обнуляется (GRFPU не поддерживает денормализованные числа или постепенное обратное переполнение). Если один из компонентов – денормализованное число, не подлежащее обработке операциями преобразования или арифметическими операциями, подается сигнал о специальном исключении незаконченности (UNF).

Округление

Поддерживаются все четыре режима округления, определенные в стандарте IEEE-754: до ближайшего четного, в направлении плюс ∞ , в направлении минус ∞ и в направлении нуля.

Денормализованные числа

GRFPU не обрабатывает денормализованные числа в качестве входных операндов, будет сгенерировано системное прерывание `fp_exception` с типом прерывания `FPU unfinished_FPOP` (`tt = 2`).

Можно эмулировать редкие случаи операций с денормализованными числами, используя операции без плавающей запятой. Операции сравнения, перемещения, отрицания и получения абсолютного значения могут обрабатывать денормализованные числа, при этом не возникают исключения незаконченности. GRFPU не генерирует денормализованные числа во время выполнения арифметических операций и операций преобразования нормализованных чисел. Если точный результат операции – маленькое число (меньше, чем минимальное значение в нормальном формате), результат обнуляется (с обратным переполнением и установкой флагов погрешности).

Нестандартный режим

GRFPU может работать в нестандартном режиме, где все денормализованные компоненты арифметических операций и операций преобразования рассматриваются как нули (со знаком). Вычисления выполняются с нулевыми компонентами, а не с денормализованными числами, с соблюдением всех правил арифметики с плавающей запятой, включая округление результатов и обнаружение исключений.

NaNs

GRFPU поддерживает обработку чисел типа Не-является-Числом (NaNs), как определено в стандарте IEEE-754. Операции с уведомлением о NaNs (SNaNs) и недопустимые операции (например, `inf / inf`) генерируют исключение недопустимости операции и выводят в качестве результата `QNaN_GEN`. Операции с не уведомляющими о NaNs (QNaNs), за исключением `FCMPES` и `FCMPED`, не выдают исключения и распространяют QNaNs через операции с плавающей запятой, представляя результаты NaN, согласно таблице 4.4.11. `QNaN_GEN` – `0x7fffe00000000000` для результата удвоенной точности и `0x7fff0000` – для результатов с одинарной точностью.

Таблица 4.4.11 – Операции с NaNs

		Операнд 2		
		FP	QNaN2	SNaN2
Операнд 1	Отсутствует	FP	QNaN2	QNaN_GEN
	FP	FP	QNaN2	QNaN_GEN
	QNaN1	QNaN1	QNaN2	QNaN_GEN
	SNaN1	QNaN_GEN	QNaN_GEN	QNaN_GEN

GRFPC – блок управления GRFPU

Блок управления GRFPU (GRFPC) используется для подключения GRFPU к блоку целочисленной арифметики процессора LEON. Блок GRFPC обеспечивает планирование, декодирование и диспетчеризацию операций с плавающей запятой для GRFPU, а также управление набором регистров для работы с плавающей запятой, регистром состояния операций с плавающей запятой (FSR) и очередью отложенных прерываний операций с плавающей запятой (FQ). Выполнение операций с плавающей запятой идет параллельно с осуществлением целочисленных инструкций, целочисленный конвейер процессора LEON останавливается только в случае конфликтов операндов или результата.

Регистровый файл GRFPU

Регистровый файл GRFPU состоит из 32 32-битных регистров для операций с плавающей запятой (%f0–%f31). Данный набор регистров доступен с помощью соответствующих команд загрузки и сохранения (LDF, LDDF, STD, STDF) и инструкций для работы с операциями с плавающей запятой (FPop).

Регистр состояний операций с плавающей запятой (FSR)

Блок GRFPC управляет регистром состояний операций с плавающей запятой (FSR), который содержит информацию о режиме и статусе FPU. Все поля регистра FSR, как определено в спецификации SPARC V8, представлены и управляются блоком GRFPU в соответствии с данной спецификацией и стандартом IEEE-754. Бит NS (нестандартный) и поле ftt являются частями системы управления FSR, зависящими от конкретной реализации.

Если бит NS (нестандартный) регистра FSR установлен, то все операции с плавающей запятой будут выполняться в нестандартном режиме, как описано в подпункте «Нестандартный режим». Когда бит NS сброшен, все операции осуществляются в стандартном IEEE-совместимом режиме.

Следующие типы прерываний операций с плавающей запятой никогда не могут возникнуть, и поэтому они не представлены в поле ftt:

- unimplemented_FPop: все операции FPop представлены;
- hardware_error: аппаратные ошибки не подразумевают возможность возобновления;
- invalid_fp_register: не осуществляется проверка на выровненность операнда операций двойной точности (в качестве операндов должны выступать регистры с номером $0 \bmod 2$).

В GRFPU реализован функционал бита que регистра FSR, если отложенная очередь операций с плавающей запятой (FQ) пуста, то считывается – 0, в противном случае – 1.

Доступ к регистру FSR осуществляется с помощью инструкций LDFSR и STFSR.

Регистр исключений операций с плавающей запятой и отложенная очередь операций с плавающей запятой

GRFPU реализует модель отложенных прерываний архитектуры SPARC для исключений, вызванных операциями с плавающей запятой (fp_exception). Они могут произойти в результате выполнения одного из следующих условий:

- операция с плавающей запятой вызывает исключение IEEE (ftt = IEEE_754_exception), например выполнение такой недопустимой операции как 0/0, в то время как бит NVM поля TEM установлен (разрешена генерация исключений при возникновении недопустимой операции);
- операция над денормализованными числами с плавающей запятой (в стандартном IEEE-режиме) вызывает исключение unfinished_FPop;
- последовательность ошибок: аномальное ошибочное состояние в FPU, возникшее в результате ошибочного использования операций с плавающей запятой в программном обеспечении операционной системы.

Прерывание откладывается на одну инструкцию операции с плавающей запятой (FPop, FP загрузка/сохранение, FP ветвление), следующую за инструкцией, вызвавшей прерывание (следует принять к сведению, что это может быть не следующая инструкция операции с плавающей запятой в последовательности программы из-за изменения порядка выполнения инструкций и реализации механизма обнаружения исключений в GRFPC). Когда прерывание осуществлено, отложенная очередь операций с плавающей запятой

содержит инструкцию, вызвавшую прерывание, и вплоть до семи FPor инструкций, которые были отправлены в GRFPC, но не были завершены.

После того как прерывание осуществлено, устанавливается бит que регистра FSR, который остается установленным до тех пор, пока FQ не станет пустой. Инструкция STDFQ считывает двойное слово из очереди отложенных операций с плавающей запятой, первое слово содержит адрес инструкции, второе – код инструкции. В FQ попадают исключительно FPor инструкции. Первый доступ к FQ позволит получить двойное слово с инструкцией, вызвавшей прерывание, последующие двойные слова содержат ожидающие выполнения инструкции операций с плавающей запятой. Программное обеспечение операционной системы должно эмулировать FPor из FQ в том же самом порядке, в котором они были прочитаны из FQ.

Следует принять к сведению, что инструкции в FQ могут располагаться не в том же самом порядке, что и в программной последовательности, поскольку GRFPU выполняет инструкции операций с плавающей запятой не по порядку. Прерывание операции с плавающей запятой никогда не откладывает на потом инструкции, которые задают исходные регистры, регистры результата или коды условий, которые могут быть модифицированы инструкцией, вызвавшей прерывание. По этой причине выполнение или эмуляция инструкций из FQ программным обеспечением операционной системы приведет к тому же состоянию FPU, что и выполнение инструкций в соответствии с программной последовательностью.

4.4.6 AMBA интерфейс

Обзор

Процессор 1906BM016 содержит один ведущий АНВ интерфейс. Типы доступов АНВ, поддерживаемых процессором, зависят от кэшируемости области памяти, к которой получают доступ, ширины шины AMBA АНВ, если соответствующий кэш разрешен и если область памяти отмечена на шине, как найденная.

Сигналы HPROT шины АНВ отображают, являются ли данные доступа инструкцией или данными, а также определяют тип доступа – пользовательский или супервизора (операционной системы), как показано в таблице 4.4.12.

Таблица 4.4.12 – Значения сигнала HPROT в зависимости от типа доступа и режима

Тип доступа	Пользователь/Супервизор	HPROT
Инструкция	Пользователь	1100
Инструкция	Супервизор	1110
Данные	Пользователь	1101
Данные	Супервизор	1111
MMU	Любой	1101

В случае атомарного (неделимого) доступа, на шине AMBA будет использоваться блокирующий доступ для гарантии атомарности данных.

Кэшируемость

Возможность кэшируемости для обоих видов кэша базируется на plug & play информации, отображающейся для каждого ведомого устройства АНВ. Она показывает, является ли область кэшируемой, эта информация будет использована для определения, какой доступ будет обработан, как кэшируемый.

В микропроцессоре 1906BM016 в качестве кэшируемых определены следующие области адресов:

0x00000000 – 0x20000000
 0x40000000 – 0x80000000.

Размер AMBA-доступа

Выборка кэшируемых данных осуществляется с помощью пакетных 64-битных доступов. Доступ данных к некэшируемым областям может быть выполнен только в виде 8-, 16- и 32-битовых доступов, т.е. инструкции LDD и STD не могут быть использованы. Если область отмечена, как кэшируемая, тогда кэш данных будет стараться использовать 64-битные доступы. Это означает, что если ведомый АНВ не поддерживает 64-битные доступы и отображается, как кэшируемый, тогда программное обеспечение должно выполнять доступ к данным с принудительным кэш-промахом и без 64-битной загрузки (LDD), когда осуществляется доступ к ведомому. Ниже приведен пример, как использовать принудительный кэш-промах при загрузке данных.

```
static inline int load (int address)
{
    int read_value;
    asm volatile ("lda [%1]1, %0"
                 : "=r" (read_value)
                 : "r" (address)
                 );
    return read_value;
}
```

В микропроцессоре 1906BM016 определены области адресов 0 – 0x20000000 и 0x40000000 – 0x80000000, поддерживающие 64-битный доступ.

Инструкции сохранения определяют AMBA-доступы с размером, соответствующим выполняемой инструкции. Инструкции сохранения STD всегда транслируются в 64-битные доступы. В таблицах 4.4.13 и 4.4.14 приведены типы доступов, используемые для инструкций и данных в зависимости от кэшируемости, маски разрядности шины (wbmask) и конфигурации кэша.

Таблица 4.4.13 – Описание типов доступов, wbmask(address) = 0

Операции процессора	Адресуемая область памяти только 32-битная, wbmask(address) = 0		
	Область не кэшируемая (1)	Область кэшируемая (1)	
		Кэш разрешен (2)	Кэш запрещен
Выборка инструкции	Пакеты 32-битных доступов чтения		
Загрузка данных ≤ 32 бита	Доступы чтения с размером, определенным инструкцией загрузки	Недопустимо (3, 5). При 32-битном пакетном доступе можно получить некорректные данные	Доступы чтения с размером, определенным инструкцией загрузки
Загрузка данных ≤ 32 бита через ASI 0x01		Доступы чтения с размером, определенным инструкцией загрузки (5)	
Загрузка данных ≤ 32 бита через ASI 0x1C			
Загрузка данных 64 бита (LDD)	Недопустимо (4)	Недопустимо (3)	Недопустимо (3)
Сохранение данных ≤ 32 бита	Доступ сохранения с размером, определяемым инструкцией сохранения		
Сохранение данных 64 бита (STD)	Недопустимо		

Таблица 4.4.14 – Описание типов доступов, $wbmask(address) = 1$

Операции процессора	Адресуемая область памяти, $wbmask(address) = 1$		
	Область не кэшируемая (1)	Область кэшируемая (1)	
		Кэш разрешен (2)	Кэш запрещен
Выборка инструкции	Пакеты 64-битных доступов чтения		
Загрузка данных ≤ 32 бита	Доступы чтения с размером, определенным инструкцией загрузки	Пакет 64-битных доступов	Доступы чтения с размером, определенным инструкцией загрузки
Загрузка данных ≤ 32 бита через ASI 0x01			
Загрузка данных ≤ 32 бита через ASI 0x1C		Доступы чтения с размером, определенным инструкцией загрузки (5)	
Загрузка данных 64 бита (LDD)	Недопустимо (4)	Пакет 64-битных доступов	Одиночный 64-битный доступ чтения
Сохранение данных ≤ 32 бита	Доступ сохранения с размером, определяемым инструкцией сохранения		
Сохранение данных 64 бита (STD)	64-битный доступ сохранения		

Пояснения для таблиц 4.4.13, 4.4.14:

- (1) – Кэшируемость определяется через AMBA plug & play.
- (2) – Доступы шины для чтения будут выполняться только вынужденным кэш-промахом.
- (3) – Процессор LEON4 поддерживает только 64-битные доступы для кэширования данных.
- (4) – Обращения к данным в некэшируемых областях могут выполняться только в виде 8-, 16- и 32-битных доступов.
- (5) – Загрузка с вынужденным кэш-промахом может быть использована для представления единичного доступа к кэшируемым ведомым шины АНВ.

Обработка ошибок

Отклик АНВ ERROR, полученный во время выборки инструкции, в обычных условиях вызовет системное прерывание «instruction_access_exception» (tt = 0x1). Однако если это происходит при потоковой передаче по адресу, который не является необходимым, контроллер кэша инструкций не будет устанавливать соответствующий бит действительности в метке кэша. Если целочисленный модуль в дальнейшем осуществит выборку инструкции по адресу, который не был отмечен битом действительности, произойдет кэш-промах и будет выполняться новый доступ по этому адресу.

Отклик АНВ ERROR, полученный во время выборки данных из кэша данных, в обычных условиях вызовет системное прерывание «data_access_exception» (tt = 0x9). Если ошибка была для части линии кэша, которая в текущий момент не используется конвейером, системное прерывание не генерируется и бит действительности для линии кэша не устанавливается.

Отклик ERROR во время обхода таблицы MMU приведет MMU к установке типа ошибки, соответствующего «Ошибке трансляции» (2) в таблице 4.4.8 и генерации системного прерывания instruction_access_exception или data_access_exception, в зависимости от типа доступа, который стал причиной обхода таблицы.

4.4.7 Идентификаторы адресных пространств (ASI)

Для доступа к памяти процессор архитектуры SPARC, кроме адреса, также использует 8-разрядный идентификатор адресного пространства (ASI), обеспечивая до 256 отдельных 32-битовых адресуемых пространств. Во время нормальной работы процессор LEON4 получает доступ к инструкциям и данным, используя ASI 0x8 – 0xB, как определено в стандарте SPARC. Используя инструкции LDA/STA, можно получить доступ к альтернативным адресным пространствам. В таблице 4.4.15 представлено использование ASI для LEON. Для отображения используется только ASI [5:0]; ASI [7:6] не влияет на работу.

Таблица 4.4.15 – Использование ASI

ASI	Использование
0x01	Принудительный промах кэш
0x02	Регистры управления системой (регистр управления кэшем)
0x08, 0x09, 0x0A, 0x0B	Обычный кэшируемый доступ (замена, если кэшируется)
0x0C	Метки кэша инструкций
0x0D	Данные кэша инструкций
0x0E	Метки кэша данных
0x0F	Данные кэша данных
0x10	Сброс кэша инструкций и данных т.к. реализован MMU
0x11	Сброс кэша данных
0x13	Сброс кэша инструкций и данных
0x18	Сброс кэша инструкций, данных и TLB
0x19	Регистры MMU
0x1C	Обход MMU и кэша
0x1E	Диагностический доступ к меткам отслеживания MMU

Запись в ASI 0x18 сбросит оба MMU буфера ассоциативной трансляции (TLB), кэш данных и кэш инструкций. Данная операция на несколько тактов заблокирует работу процессора, а затем выполнение асинхронно продолжится параллельно с фоновым сбросом кэша.

ASI 0x1. Принудительный кэш-промах

ASI 0x1 используется для систем без согласования кэшей, чтобы загрузить данные, которые могут быть изменены в фоновом режиме, например, с помощью блоков DMA. Он также может быть использован и по другим причинам, например, в диагностических целях, чтобы осуществить считывание по шине АНВ из памяти вне зависимости от состояния кэша.

Адресное отображение этого ASI сопоставляется с регулярным адресным пространством, и если MMU включен, то адрес будет транслирован в обычном режиме. Сохранения в этот ASI будут работать так же, как обычные сохранения данных. В ситуациях, где необходимо гарантировать, что кэш не модифицируется доступом, может быть использован ASI 0x1C.

ASI 0x2. Системные регистры управления

ASI 0x2 содержит несколько управляющих регистров, которые не были назначены в качестве регистров %asr. Эти регистры могут быть считаны и записаны только с использованием 32-битных инструкций LDA / STA.

Все регистры кэша доступны через операции LDA/STA в ASI 0x2. В таблице 4.4.16 приведены адреса регистров.

Таблица 4.4.16 – Карта адресов ASI 0x2

Адрес	Регистр
0x00	Регистр управления кэша
0x04	Зарезервировано
0x08	Конфигурационный регистр кэша инструкций
0x0C	Конфигурационный регистр кэша данных

ASI 0x8–0xB. Данные/Инструкции

В таблице 4.4.17 приведено распределение адресных пространств обычного кэшируемого доступа.

Таблица 4.4.17 – Использование ASI

ASI	Адресное пространство
0x08	Пользовательские инструкции (User instruction)
0x09	Инструкции операционной системы (Supervisor instruction)
0x0A	Пользовательские данные (User data)
0x0B	Данные операционной системы (Supervisor data)

Эти ASI назначены стандартом SPARC для обычных выборок данных и инструкций.

Доступ к ASI инструкций явно, с помощью команд LDA/STA, в LEON4 не поддерживается. Использование LDA / STA вместе с ASI данных пользователя/супервизора (операционной системы) даст эффект в соответствии с сигналом HPROT, выдаваемого процессором в соответствии с пунктом «4.4.6 AMBA интерфейс», но контроль доступа MMU будет по-прежнему осуществляться в соответствии с состоянием бита PSR_supervisor регистра %psr.

ASI 0xC–0xF. I-кэш метки/данные, D-кэш метки/данные

ASI 0xC–0xF обеспечивают диагностический доступ к кэш-памяти инструкций и данных. Эти ASI доступны только через 32-разрядные инструкции LDA/STA. Эти ASI не могут быть использованы во время выполнения операции FLUSH. В рабочем режиме доступ к ASI 0xC и 0xD может быть осуществлен, только если кэш инструкций отключен (сброшено поле ICS [регистра управления кэша](#)).

Те же биты адреса, которые обычно используются в качестве индекса, также используются для индексации кэша при диагностическом доступе. Для многоканального кэша биты, которые обычно используются в качестве тега, будут использованы при выборе пути (канала) кэша для чтения/записи. Остальные адресные биты не важны, и приводят к циклическому возврату по карте адресов. Смотрите таблицы 4.4.18 – 4.4.21.

Таблица 4.4.18 – ASI 0xC диагностики метки для 2-канального кэша инструкций 4 Кбайт/канал, 32 байта/строка

Адрес:	31	13	12	11	5	4	0	
	–	Way	Index	–				
Данные:	31	12	11	10	9	8	7	0
	ATAG	00	LRR	0	VALID			

Таблица 4.4.19 – ASI 0xE диагностики метки для 2-канального кэша данных 4 Кбайт/канал, 16 байт/строка

	31		13	12	11		4	3	0
Адрес:	–			Way	Index			–	
Данные:	ATAG			00	LRR	0	VALID		

Таблица 4.4.20 – ASI 0xD диагностики данных для 2-канального кэша инструкций 4 Кбайт/канал, 32 байта/строка

	31		13	12	11		5	4	0
Адрес:	–			Way	Index			Offset	
Данные:	Кэшированное слово данных								

Таблица 4.4.21 – ASI 0xF диагностики данных для 2-канального кэша данных 4 Кбайт/канал, 16 байт/строка

	31		13	12	11		4	3	0
Адрес:	–			Way	Index			Offset	
Данные:	Кэшированное слово данных								

Описание полей:

Канал (Way) – Определяет используемый канал (путь) кэша.

Индекс (Index) – Порядковый номер кэш-линии.

Метка адреса (ATAG) – содержит метку адреса кэш-линии.

LRR – используется LRR алгоритмом для хранения истории замены, иначе 0.

Действительный (VALID) – когда установлено, кэш линия содержит действительные данные.

В LEON4 кэши имеют только один бит действительности на строку кэша, которая дублируется для всего 8-битного диагностического поля, чтобы сохранить обратную совместимость программного обеспечения.

ASI 0x10, 0x11, 0x13, 0x18. Сброс (flush)

По историческим причинам есть несколько ASI, которые сбрасывают кэш по-разному.

Запись в ASI 0x10 сбросит кэш команд целиком. Кэш данных также будет сброшен, т.к. реализован MMU.

Запись в ASI 0x11 сбросит только кэш данных.

Запись в ASI 0x13 сбросит кэш команд и кэш данных.

Запись в ASI 0x18 сбросит оба кэша MMU TLB: I-кэш, D-кэш. В отличие от других ASI, выполнение будет заблокировано до завершения FLUSH.

ASI 0x19. Регистры MMU

Этот ASI предоставляет доступ к регистрам контроля и статуса MMU. Реализованы следующие регистры, смотри таблицу 4.4.22.

Таблица 4.4.22 – Регистры MMU (ASI = 0x19)

Адрес	Регистр
0x000	Регистр управления MMU
0x100	Регистр указателя контекста MMU
0x200	Регистр контекста MMU
0x300	Регистр статуса сбоя MMU
0x400	Регистр адреса сбоя MMU

ASI 0x1C. Обход MMU и кэша

Выполнение доступа через ASI 0x1C будет действовать, как если бы были отключены MMU и кэш. Адрес не будет транслироваться и кэш не будет использоваться или обновляться при выполнении доступа.

ASI 0x1E. Диагностический доступ к меткам отслеживания MMU

В процессоре 1906BM016 MMU реализовано использование отдельных меток отслеживания (snooper tags), они доступны через ASI 0x1E. Это в первую очередь полезно для тестирования оперативной памяти, но не должно использоваться во время нормальной работы. Этот ASI адресуется таким же образом, как и обычные диагностические ASI: 0xC, 0xE. Формат чтения/записи данных показан в таблице 4.4.23 (для кэша данных 4 КБ/канал).

Таблица 4.4.23– Формат данных

31	12 11	2 1 0
ATAG	–	PAR IV

- 31 – 12 Метка адреса (ATAG) – Метка физического адреса кэш-линии.
- 11 – 2 Зарезервировано.
- 1 Четность (PAR) – Не используется.
- 0 Недействителен (IV) – Когда установлен, строка кэша недействительна и при доступе процессора будет происходить промах кэша.

4.4.8 Регистры конфигурации

Регистры PSR, WIM, TBR

Регистры %psr, %wim, %tbr реализованы согласно стандарту SPARC V8, они представлены в таблицах 4.4.24 – 4.4.26, подробное описание полей и битов управления можно найти в пункте «5.3.2 Регистры управления/статуса блока целочисленной арифметики (IU)».

Таблица 4.4.24 – Регистр состояния процессора (%psr) LEON4

31	28 27	24 23	20 19	14 13	12 11	8 7	6	5 4	0	
IMPL	VER	ICC	–	EC	EF	PIL	S	PS	ET	CWP
0xF	0x3	0x0	0x0	0	0	0x0	1	1	0	0x0
r	r	r	r	r	rw	rw	rw	rw	rw	rw

- 31 – 28 Идентификатор реализации (IMPL) – Аппаратно запрограммировано значение «1111» (15)
- 27 – 24 Идентификатор версии (VER) – Аппаратно запрограммировано значение «0011» (3) для процессоров LEON3 / LEON4

23 – 20	Целочисленные коды условий (ICC)
19 – 14	Зарезервировано
13	Разрешение сопроцессора (EC) – В реализации отсутствует сопроцессор
12	Разрешение блока арифметики с плавающей запятой (EF)
11 – 8	Уровень прерываний процессора (PIL) – Определяет низший уровень запроса прерывания (IRQ), который сгенерирует системное прерывание
7	Супервизор (S) – Определяет режим процессора, 1 – супервизор (операционная система), 0 – пользователь
6	Предшествующий супервизор (PS)
5	Разрешение прерываний (ET)
4 – 0	Указатель текущего окна (CWP)

Таблица 4.4.25 – Регистр маски недопустимости окна (%wim)

31		8 7	0
		WIM	
	0x000000	n/r	
	r	rw	

Таблица 4.4.26 – Базовый регистр системных прерываний (%tbr)

31		12 11	4 3	0
	TBA		TT	–
	0x00000		0x00	0x0
	rw		r	r

31 – 12	Базовый адрес системного прерывания (TBA) – 20 старших бит, используемых для адресации таблицы системных прерываний.
11 – 4	Тип прерывания (TT) – тип последнего принятого системного прерывания. Только для считывания
3 – 0	Зарезервировано

Регистр конфигурации процессора

Специализированный регистр 17 (%asr17) предоставляет информацию об установке различных параметров конфигурации. Он может использоваться для улучшения производительности программного обеспечения или поддержки регистрации в многопроцессорных системах. Доступ к регистру можно получить через инструкцию RDASR. Регистр имеет топологию, представленную в таблице 4.4.27.

Таблица 4.4.27 – Регистр конфигурации LEON4 (%asr17)

31	28	27	26	25	24	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	5	4	0
INDEX	DBP	–	DBPM	–	CS	CF	DWT	SVT	LD	FPU	M	V8	NWP	NWIN						
0x0	0	0	1	0x00	0	0x0	0	0	0	0x1	1	1	0x2	0x7						
r	rw	r	rw	r	r	r	rw	rw	r	r	r	r	r	r						

31 – 28	Индекс процессора (INDEX). Аппаратно запрограммировано значение «0000»
27	Отключение прогнозирования переходов (DBP). Если установлено, то прогнозирование переходов не будет осуществляться
26	Зарезервировано

25	Отключение прогнозирования переходов при промахе в кэш (DBPM). Если установлено, то не осуществляется выборка инструкций в кэш (и возможно обход таблицы MMU) для прогнозируемых инструкций, которые могут быть аннулированы
24 – 18	Зарезервировано
17	Переключение тактирования разрешено (CS). Аппаратно запрограммировано значение «0», переключение частоты АНВ и CPU не доступно
16, 15	Частота тактирования CPU (CF). Ядро CPU работает с частотой тактирования АНВ (CF+1)
14	Выключение системного прерывания при ошибке записи (DWT). Если установлено, системное прерывание при ошибке записи (tt = 0x2b) игнорируется. Очищается после сброса
13	Разрешение одновекторной обработки системных прерываний (SVT). Функционал доступен. Очищается после сброса
12	Задержка загрузки (LD). Аппаратно запрограммировано значение «0», конвейер использует одну тактовую задержку загрузки
11, 10	Блок арифметики с плавающей запятой (FPU). Аппаратно запрограммировано значение «01», в качестве блока арифметики с плавающей запятой используется GRFPU
9	Инструкции умножения с накоплением (MAC). Аппаратно запрограммировано значение «1», инструкции UMAC / SMAC доступны
8	Инструкции умножения и деления SPARC V8 (M). Аппаратно запрограммировано значение «1», данные инструкции доступны
7 – 5	Количество реализованных точек контроля данных (NWP) – 2
4 – 0	Количество реализованных регистровых окон – 8 (NWIN + 1)

Аппаратные точки останова/контрольные точки данных

Целочисленный модуль имеет две аппаратные точки останова. Каждая из точек останова состоит из пары регистров (%asr24/25, %asr26/27), один из которых содержит адрес останова, второй – маску, что показано в таблице 4.4.28.

Таблица 4.4.28 – Регистры точек наблюдения

%asr24, %asr26	31	2	1	0	
	WADDR[31:2]			–	IF
	n/r			0	0
rw			r	rw	
%asr25, %asr27	31	2	1	0	
	WMASK[31:2]			DL	DS
	n/r			0	0
rw			rw	rw	

Обеспечена возможность наблюдения диапазона двоичных выровненных адресов – диапазон определяется полем WADDR, маскированным полем WMASK (WMASK [x] = 1 включает сравнение). При попадании в точку останова генерируется системное прерывание 0x0B. При установке битов IF, DL и DS попадание может быть сгенерировано при захвате инструкции, загрузке или сохранении данных соответственно. Сброс этих трех битов отключает функцию точки останова.

Регистр управления кэша

Работа кэша инструкций и данных управляется через общий регистр управления кэша (CCR) (см. таблицу 4.4.29). Описание доступа к данному регистру располагается в пункте «[ASI 0x2. Системные регистры управления](#)».

Таблица 4.4.29 – Регистр управления кэша

31	30	29	28	27	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
–	STE	–	PS	TB	DS	FD	FI	FT	–	ST	–	IP	DP	ITE	IDE	DTE	DDE	DF	IF	DCS	ICS								
0	0	0	0	0	0	0	0	0x0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
r	r	r	r	r	rw	rw	rw	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

31	Зарезервировано
30	Флаг меток отслеживания (STE). Устанавливается, когда обнаружена ошибка четности в аппаратно реализованных метках отслеживания. Функционал недоступен
29	Зарезервировано
28	Выбор четности (PS) – Если установлено, при диагностическом считывании 4 контрольных бита возвращаются в разряд младших значащих битов, в противном случае возвращается метка или слово данных. Функционал не доступен
27 – 24	Тестовые биты (TB) – Если установлено, над контрольными битами будет выполнена операция «ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ» с тестовыми битами TB во время диагностической записи. Функционал недоступен
23	Разрешение слежения кэша данных (DS) – Если установлено, слежение кэша данных разрешено
22	Сбрасывание кэша данных (FD). Если установлено, сбрасывается кэш данных. Всегда считывается, как ноль
21	Сбрасывание кэша инструкций (FI). Если установлено, сбрасывается кэш инструкций. Всегда считывается, как ноль
20, 19	Схема защиты данных (FT). «00» = отсутствует
18	Зарезервировано
17	Раздельные метки отслеживания (ST) Если бит установлен, то в кэше данных используются раздельные аппаратно реализованные метки отслеживания (spoof tag). «1» = присутствует
16	Зарезервировано
15	Ожидание сбрасывания кэша инструкций (IP). Этот бит устанавливается во время операции сбрасывания кэша инструкций
14	Ожидание сбрасывания кэша данных (DP). Этот бит устанавливается во время операции сбрасывания кэша данных
13, 12	Ошибки метки инструкции (ITE) – Количество обнаруженных ошибок при проверке на четность в кэше метки инструкции. Функционал недоступен
11, 10	Ошибки данных инструкции (IDE) – Количество обнаруженных ошибок при проверке на четность в кэше данных инструкции. Функционал недоступен
9, 8	Ошибки метки данных (DTE) – Количество обнаруженных ошибок при проверке на четность в кэше метки данных. Функционал недоступен
7, 6	Ошибки данных (DDE) – Количество обнаруженных ошибок при проверке на четность в кэше данных. Функционал недоступен

- 5 Фиксация кэша данных при прерывании (DF) – Если установлено, кэш данных автоматически фиксируется при принятии асинхронного прерывания
- 4 Фиксация кэша инструкций при прерывании (IF) – Если установлено, кэш инструкций автоматически фиксируется при принятии асинхронного прерывания
- 3, 2 Статус кэша данных (DCS) – Определяет текущий статус кэша данных согласно следующему:
X0 = отключен, «01» = зафиксирован, «11» = включен
- 1, 0 Статус кэша инструкций (ICS) – Определяет текущий статус кэша данных согласно следующему:
X0 = отключен, «01» = зафиксирован, «11» = включен

Если установлен бит DF или IF, соответствующий кэш фиксируется при принятии асинхронного прерывания. Это может быть полезно в системе, работающей в реальном времени, для обеспечения более точного вычисления времени выполнения для наихудшего случая кодового сегмента. Работа сортировщика прерываний не исключает строки кэша, при этом при возврате управления к прерванной задаче статус кэша до и после прерывания сохраняется. Если кэш останавливается при прерывании, его можно снова включить в CCR. Это обычно делается по окончании работы сортировщика прерываний прежде, чем управление возвращается к прерванной задаче.

Регистры конфигурации кэша

Конфигурация двух кэшей определяется в двух регистрах: регистре конфигурации кэша инструкций и регистре конфигурации кэша данных. Эти регистры только для считывания, за исключением поля REPL, и указывают размер и конфигурацию кэшей (см. таблицу 4.4.30). Описание доступа к данным регистрам располагается в пункте «[ASI 0x2. Системные регистры управления](#)».

Таблица 4.4.30 – Регистр конфигурации кэша

31		30		29		28		27		26		24		23		20		19		18		16		15		4		3		2		0	
CL	–	REPL	SN	WAYS	WSIZE	LR	LSIZE	–								M	–																
0	0	0x1	*	0x1	0x2	0	*	0x000								1	0																
r	r	rw	r	r	r	r	r	r								r	r																

- 31 Блокировка кэша (CL). Устанавливается, если реализована блокировка кэша
- 30 Зарезервировано
- 29, 28 Принцип замены кэша (REPL).
00 – отсутствие принципа замены (кэш с прямым отображением), 01 – с наиболее давним использованием (LRU), 10 – с наиболее давней произведенной заменённой (LRR) 11 – псевдослучайный
- 27 Отслеживание кэша (SN). Устанавливается, если реализован механизм сохранения когерентности кэша с использованием отслеживания (snooping).
Значение в регистре конфигурации кэша инструкций – 0.
Значение в регистре конфигурации кэша данных – 1
- 26 – 24 Ассоциативность кэша (WAYS). Количество каналов в кэше:
000 – с прямым отображением, 001 – 2-канальная ассоциативность,
010 – 3-канальная ассоциативность, 011 – 4-канальная ассоциативность

23 – 20	Размер канала (WSIZE). Указывает размер (в Кбайтах) каждого канала кэша. $\text{Размер} = 2^{\text{WSIZE}}$
19	Зарезервировано. Для ядра LEON4 всегда считывается как 0
18 – 16	Размер строки (LSIZE). Указывает размер (в словах) каждой строки кэша. $\text{Размер строки} = 2^{\text{LSIZE}}$
	Значение в регистре конфигурации кэша инструкций – 0x3. Значение в регистре конфигурации кэша данных – 0x2
15 – 4	Зарезервировано
3	Наличие MMU (M). Устанавливается, если блок управления памятью (MMU) реализован в составе процессора
2 – 0	Зарезервировано

Счетчик тактов

Специализированные регистры 22 и 23 (%ASR 22–23) представляют собой внутренний счетчик тактов, значение которого может быть считано программным путем без формирования какого-либо запроса на внутреннюю шину AMBA. %ASR22 содержит старшие значащие разряды счетчика (см. таблицу 4.4.31), а %ASR23 – младшие (см. таблицу 4.4.32). Значение полностью соответствует метке времени, используемой в системных буферах трассировки.

Счетчик метки времени будет инкрементироваться, если какой-либо из буферов трассировки активирован, или если установлен его принудительный запуск через интерфейс регистров управления DSU, или если поле DUCNT регистра %ASR22 сброшено процессором.

Таблица 4.4.31 – Старшие значащие разряды счетчика тактов LEON4 (%ASR22)

31	30	0
DUCNT	UPCNT(62:32)	
1	0x00000000	
rw	r	

31 Отключение счетчика тактов (DUCNT). Когда бит установлен, то инкрементирующийся счетчик тактов может быть отключен. Когда сброшен, счетчик будет инкрементироваться каждый такт системной частоты

30 – 0 Значение счетчика (UPCNT(62:32)). Старшие значащие разряды внутреннего счетчика тактов

Таблица 4.4.32 – Младшие значащие разряды счетчика тактов LEON4 (%ASR23)

31	0
UPCNT(31:0)	
0x00000000	
r	

31 – 0 Значение счетчика (UPCNT(31:0)). Младшие значащие разряды внутреннего счетчика тактов

Регистр управления MMU

Регистр управления MMU размещен в адресном пространстве с идентификатором ASI = 0x19, с нулевым смещением (см. таблицу 4.4.33).

Таблица 4.4.33 – Регистр управления MMU

31	28 27	24 23	21 20	18 17	16 15	14 13		2 1 0
IMPL	VER	ITLB	DTLB	–	TD	ST	–	NF E
0	0	0x4	0x4	0	n/r	1	0	0 0
r	r	r	r	r	rw	r	r	rw rw

- 31 – 28 Идентификатор реализации (IMPL) – Идентификатор реализации MMU
 27 – 24 Версия (VER) – Идентификатор версии MMU
 23 – 21 Количество записей TLB инструкций (ITLB) – Количество записей TLB инструкций, рассчитывается, как 2^{ITLB}
 20 – 18 Количество записей TLB данных (DTLB) – Количество записей TLB данных, рассчитывается, как 2^{DTLB}
 17 – 16 Зарезервировано
 15 Запрещение TLB (TD) – Если поле установлено, TLB будет запрещен, каждый доступ данных будет генерировать обход таблицы страниц MMU
 14 Раздельные TLB (ST) – Этот бит сообщает пользователю о наличии общего (0) или раздельных (1) TLB для инструкций и данных
 13 – 2 Зарезервировано
 1 Нет сбоя (NF) – Если NF = 0, любой сбой, определяемый MMU, приведет к обновлению [регистра статуса сбоя MMU \(FSR\)](#) и [регистра адреса сбоя MMU \(FAR\)](#) и генерации сбоя в ядро процессора. Когда NF = 1, сбой при доступе к ASI = 0x09 будет обрабатываться, как в случае с NF = 0. При доступах к любому другому ASI, FSR и FAR будут обновлены, но генерация сбоя в ядро процессора выполняться не будет
 0 Разрешение MMU (E). «1» – MMU разрешен, «0» – MMU запрещен

Регистр указателя контекста MMU

Регистр указателя контекста MMU размещен в адресном пространстве с идентификатором ASI = 0x19, со смещением 0x100. [Регистр указателя контекста MMU](#) и [регистр контекста MMU](#) вместе определяют положение корневой таблицы страниц для текущего контекста. Определение полей регистра приведено в таблице 4.4.34 и соответствует спецификации SPARC V8.

Таблица 4.4.34 – Регистр указателя контекста MMU

31		2 1 0
CONTEXT TABLE POINTER		–
	n/r	0x0
	rw	r

- 31 – 2 Указатель на таблицу контекстов (CONTEXT TABLE POINTER) – Биты 35:6 физического адреса (важно помнить, что адрес сдвинут на 4 разряда)
 1, 0 Зарезервировано

Регистр контекста MMU

Регистр контекста MMU размещен в адресном пространстве с идентификатором ASI = 0x19, со смещением 0x200. Определение полей регистра приведено в таблице 4.4.35 и соответствует спецификации SPARC V8.

Таблица 4.4.35 – Регистр контекста MMU

31		8 7	0
	–		CONTEXT
	0x0000000		0x00
	r		rw

- 31 – 8 Зарезервировано
- 7 – 0 Идентификатор текущего контекста (CONTEXT)

В LEON4 для вычисления адреса используется операция логического ИЛИ над битами идентификатора контекста и младшими битами указателя на таблицу контекстов, таким образом можно использовать меньше бит контекста для сокращения требований размера/выравнивания таблицы контекстов.

Регистр статуса сбоя MMU

Регистр статуса сбоя MMU размещен в адресном пространстве с идентификатором ASI = 0x19, со смещением 0x300, его описание основывается на спецификации SPARC V8. Спецификация SPARC V8 гласит, что весь регистр статуса сбрасывается при считывании, в LEON4 только бит FAV сбрасывается при считывании. В реализации LEON4 бит FAV всегда устанавливается при сбое, поэтому его можно использовать в качестве бита достоверности остальных полей. Регистр представлен в таблице 4.4.36.

Таблица 4.4.36 – Регистр статуса сбоя MMU

31		18 17	10 9	8 7	5 4	2 1	0
	–	EBE	L	AT	FT	FAV	OW
	0	0	0	0	0	0	0
	r	r	r	r	r	r	r

- 31 – 18 Зарезервировано
- 17 – 10 Внешняя ошибка шины (EBE) – Никогда не возникает в LEON4
- 9, 8 Уровень (L) – Уровень записи в таблице страниц, вызвавшей ошибку
- 7 – 5 Тип доступа (AT)
- 4 – 2 Тип сбоя (FT) – Устанавливается в соответствии с таблицей 4.4.8
- 1 Адрес сбоя действителен (FAV) Отчищается при считывании, всегда устанавливается при возникновении сбоя
- 0 Перезаписано (OW) – Наблюдаются множественные сбои одинакового приоритета

Регистр адреса сбоя MMU

Регистр адреса сбоя MMU размещен в адресном пространстве с идентификатором ASI = 0x19, со смещением 0x400. Определение полей регистра приведено в таблице 4.4.37 и соответствует спецификации SPARC V8.

Таблица 4.4.37 – Регистр адреса сбоя MMU

31		12 11	0
	FAULT ADDRESS		–
	n/r		0x000
	rw		r

- 31 – 12 Адрес сбоя (FAULT ADDRESS) – 20 старших бит виртуального адреса, вызвавшего сбой трансляции.
- 11 – 0 Зарезервировано.

4.5 Контроллер PROM / IO

4.5.1 Общие сведения

Контроллер PROM / IO реализует мост между внешней памятью и шиной АНВ. Он обеспечивает подключение двух типов устройств: PROM и отображаемых в памяти устройств ввода-вывода (IO). Поддерживается 2 режима организации шины данных: 32-битный и 8-битный (см. пункт 4.4.5). Память PROM может быть обеспечена средствами обнаружения и исправления ошибок кодом Хэмминга (39,32) или кодом Хэмминга (13,8), в зависимости от используемой конфигурации PROM. Код Хэмминга обеспечивает обнаружение до 2 ошибок и исправление 1 ошибки на кодовое слово.

Структурная схема контроллера PROM / IO приведена на рисунке 4.5.1.

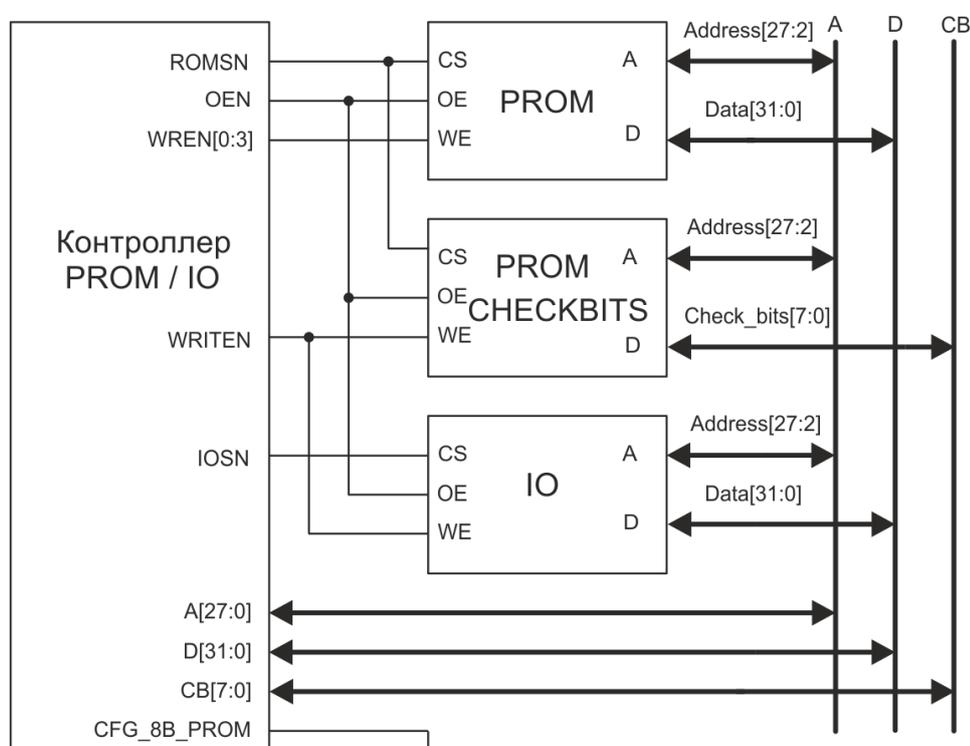


Рисунок 4.5.1 – Структурная схема контроллера PROM / IO

Временными параметрами функционирования и помехоустойчивого кодирования контроллера PROM / IO можно управлять с помощью регистров, описанных в пункте «4.3.4 Регистры». Более подробная информация по данному вопросу представлена в пункте «4.5.4 Управление временной диаграммой контроллера PROM / IO». Данный контроллер памяти отвечает за 2 адресных пространства (PROM, IO). Область PROM отображается в диапазоне адресов 0x00000000 – 0xFFFFFFFF, является кэшируемой с упреждающей выборкой инструкций. Область IO отображается в диапазоне адресов 0x20000000 – 0x2FFFFFFF, она отмечена как некэшируемая в plug & play конфигурации шины АНВ.

4.5.2 Доступ к области PROM

Для организации доступа к области PROM используется один общий сигнал выбора кристалла – ROMSN. Поддерживается два варианта подключения сигналов разрешения записи к микросхемам PROM: 4 отдельных сигнала (WREN[3:0]) или 1 общий (WRITEN). Вывод WREN[0] отвечает за линии данных DATA[31:24], WREN[1] – за DATA[23:16], WREN[2] – за DATA[15:8], WREN[3] – за DATA[7:0]. Вывод WRITEN управляет записью полной шины данных (DATA[31:0]). Выбор варианта подключения сигналов осуществляется по выбору пользователя. Сигнал разрешения чтения – OEN.

Если используется помехоустойчивое кодирование, то к микросхеме, отвечающей за данный функционал, в качестве сигнала разрешения записи подключается вывод WRITEN, в качестве шины данных выступает CHECK_BITS[6:0], остальные сигналы управления совпадают с таковыми для основных микросхем PROM. Старшие разряды шины CHECK_BITS не учитываются при вычислении синдрома ошибки, при выполнении операций записи они будут иметь нулевое значение.

На рисунке 4.5.2 представлена временная диаграмма одиночной записи в область PROM (с дополнительными тактами lead-in и lead-out). Более подробная информация о конфигурировании временной диаграммы контроллера представлена в пункте «4.5.4 Управление временной диаграммой контроллера PROM / IO».

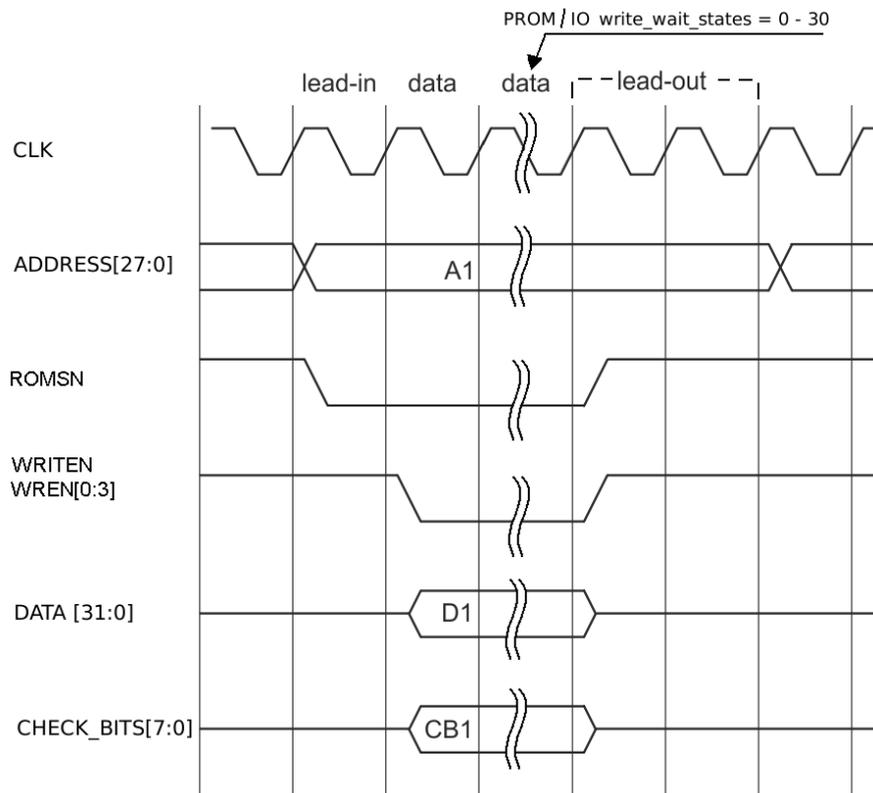


Рисунок 4.5.2 – Временная диаграмма одиночной записи в область PROM

На рисунке 4.5.3 в качестве примера приведена временная диаграмма чтения из области PROM или IO (без дополнительного такта lead-out) с тремя дополнительными тактами ожидания.

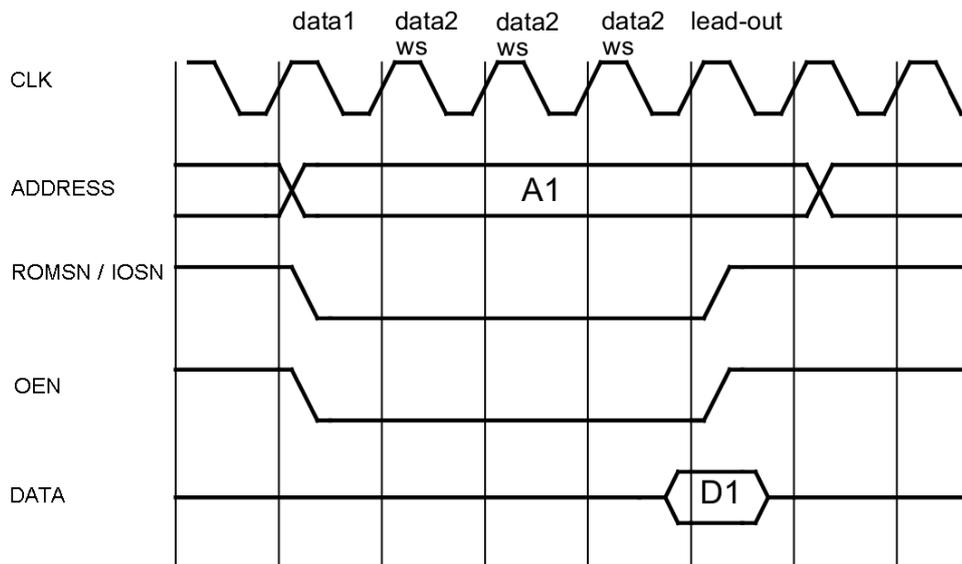


Рисунок 4.5.3 – Временная диаграмма чтения из области PROM или IO с тремя тактами ожидания и без дополнительного такта lead-out

4.5.3 Доступ к области IO

Для организации доступа к области IO используются общие для всех микросхем сигналы выбора кристалла, разрешения чтения и разрешения записи – IOSN, OEN и WRITEN соответственно. На рисунках 4.5.4 и 4.5.5 представлены временные диаграммы общего и частного случаев одиночной записи в область IO. Следует помнить, что за наличие или отсутствие такта lead-in и дополнительного такта lead-out отвечают те же разряды регистров управления, что и для области PROM.

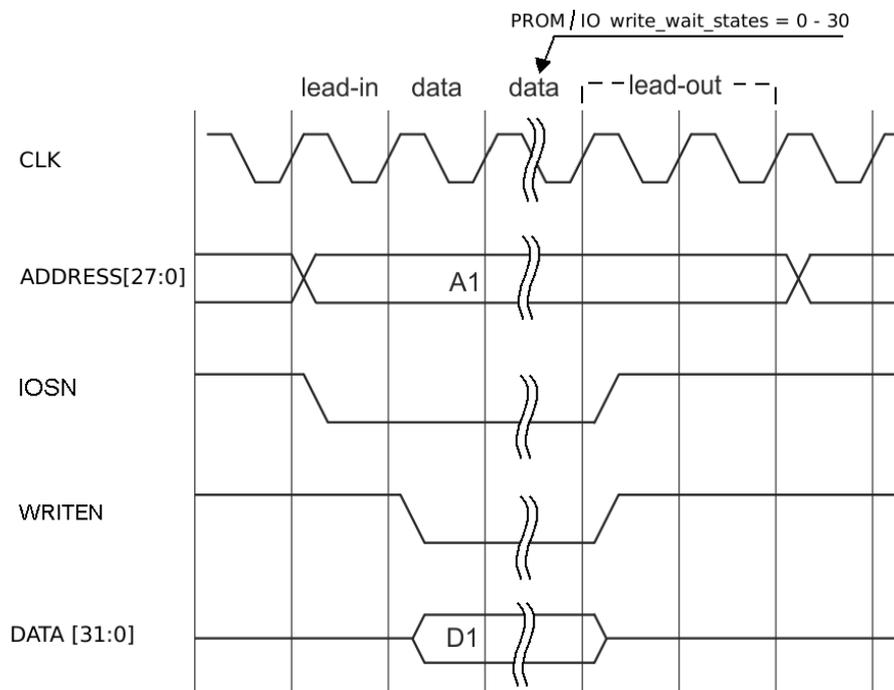


Рисунок 4.5.4 – Временная диаграмма одиночной записи в область IO

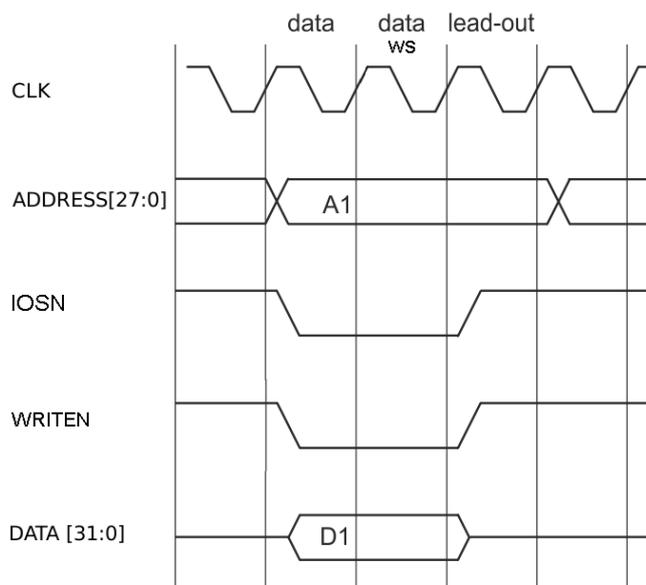


Рисунок 4.5.5 – Временная диаграмма одиночной записи в область IO с одним тактом ожидания, без такта lead-in и без дополнительного такта lead-out

4.5.4 Управление временной диаграммой контроллера PROM / IO

Транзакции на шине контроллера PROM / IO состоят из следующих последовательностей:

[LEAD-IN] WRITE [WAIT CYCLES] LEAD-OUT [LEAD-OUT]
 READ [WAIT CYCLES] LEAD-OUT [LEAD-OUT]

- Стадия LEAD-IN активируется только для операций записи, если бит LIP регистра управления контроллерами памяти установлен (состояние по умолчанию для контроллера PROM / IO).
- В зависимости от операции записи или чтения активируется стадия READ / WRITE.
- Продолжительность предыдущей стадии варьируется в зависимости от количества дополнительных тактов ожидания. Они позволяют выбрать длительность цикла активности в зависимости от частоты тактового сигнала процессора и требований внешней памяти. Количество дополнительных циклов ожидания задается с помощью полей регистра управления тактами ожидания контроллера памяти PWWC (задержка при записи в PROM), PRWC (задержка при чтении из PROM), IWWC (задержка при записи в IO) и IRWC (задержка при чтении из IO). Количество дополнительных тактов ожидания может быть от 0 до 30. Значения по умолчанию PRWC = PWWC = 11110₂ = 30. Значения по умолчанию IRWC = IWWC = 00000₂ = 0.
- Вторая стадия LEAD-OUT активируется, если бит LOP регистра управления контроллерами памяти установлен (состояние по умолчанию для контроллера PROM / IO).

4.5.5 8-битный режим области PROM

Контроллер PROM / IO поддерживает 8-битное подключение микросхем памяти к области PROM, за выбор активного режима отвечает внешний сигнал разрешения CFG_8B_PROM и бит PROM_8B регистра управления контроллерами памяти.

Для того чтобы перевести контроллер PROM / IO в режим использования 8-битной PROM, необходимо и достаточно до снятия сигнала сброса установить внешний сигнал разрешения CFG_8B_PROM. Активация 8-битного режима доступа к PROM (в качестве шины данных используются старшие 8 бит [31:24]) происходит, если установлен бит PROM_8B или на входе CFG_8B_PROM присутствует уровень логической единицы. В противном случае используется 32-битная шина данных PROM.

Если используется помехоустойчивое кодирование, то к микросхеме, отвечающей за данный функционал, в качестве сигнала разрешения записи подключается вывод WRITEN, в качестве шины данных выступает CHECK_BITS[4:0] (старшие разряды шины данных подключаются к «0»), остальные сигналы управления совпадают с таковыми для основных микросхем PROM.

Схема использования 8-битного подключения микросхем памяти к области PROM приведена на рисунке 4.5.6.

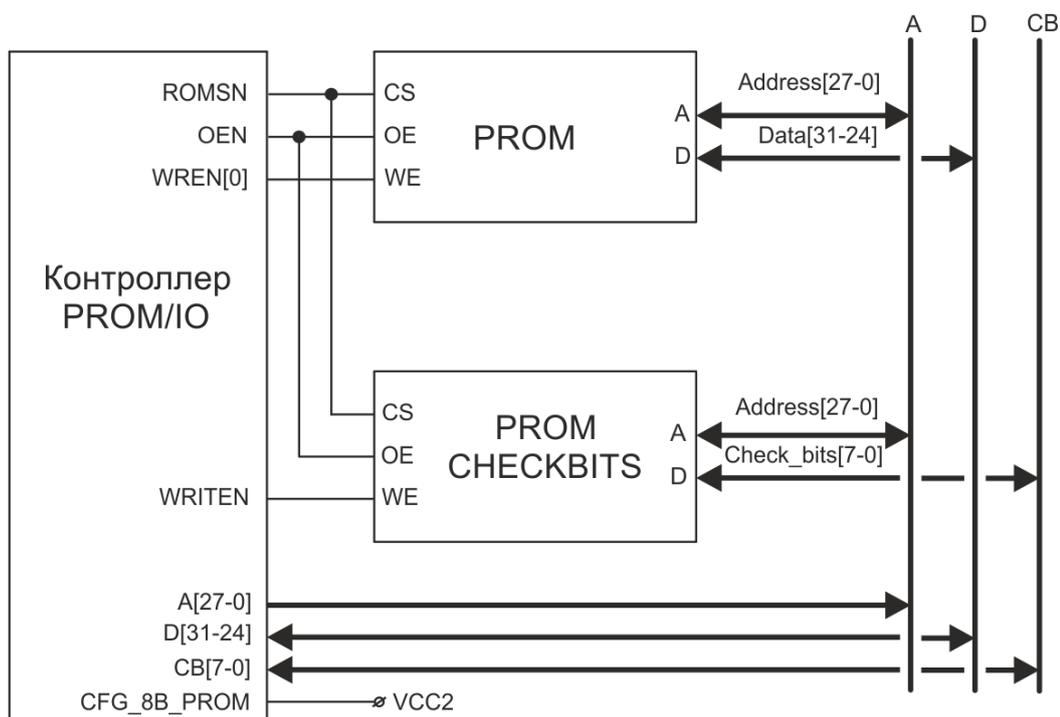


Рисунок 4.5.6 – Схема 8-битного подключения микросхем памяти к области PROM

4.5.6 Система сигнализации о готовности

Сигнал BRDYN может быть использован для удлинения цикла доступа к областям памяти PROM и IO, включая операции чтения и записи. Доступ по-прежнему будет иметь как минимум предустановленное значение дополнительных тактов ожидания (см. значение соответствующих полей регистра WC_CTRL), но также может быть удлинен до тех пор, пока сигнал BRDYN не будет вновь установлен. Чтобы повлиять на продолжительность цикла доступа, сигнал BRDYN должен быть сброшен, по крайней мере, не позже такта, предшествующего первому такту lead-out. Выборка сигнала BRDYN осуществляется по положительному фронту тактового сигнала.

Для управления доступностью функционала BRDYN для областей PROM и IO используются биты PBRDY и IBRDY регистра управления контроллерами памяти (MEM_CTRL) соответственно. По сбросу для обеих областей функционал не активен. На рисунке 4.5.7 приведен пример цикла чтения с двумя дополнительными тактами задержки и одним тактом задержки, сгенерированным сигналом BRDYN.

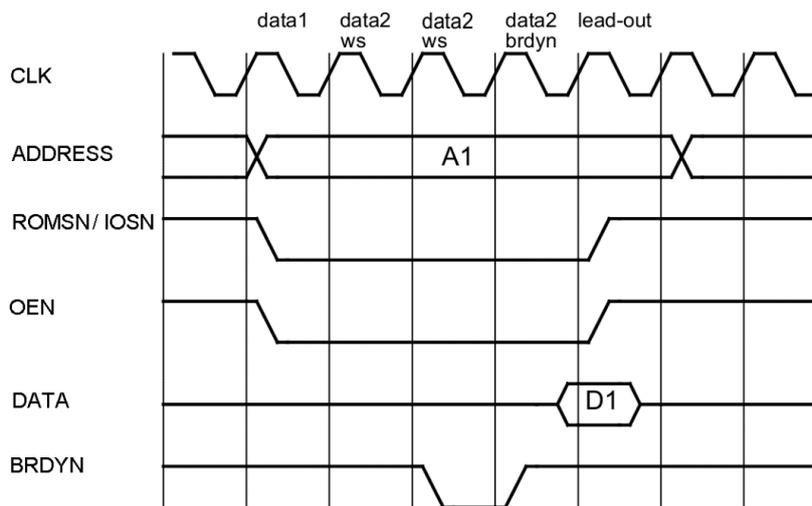


Рисунок 4.5.7 – Цикл чтения с двумя дополнительными тактами задержки и одним тактом задержки, сгенерированным сигналом BRDYN

4.5.7 Описание системы сигнализации об ошибке доступа

Поддерживается возможность сигнализации контроллеру (процессору) об ошибке доступа чтения или записи установкой внешнего сигнала BEXCN (активный уровень сигнала – 0). Для операций записи проверка состояния данного сигнала осуществляется в последний такт, перед тем как сигнал выбора кристалла станет неактивным. Если использование BEXCN разрешено в [регистре управления контроллерами памяти](#) (бит BEXCN), то при активном уровне сигнала BEXCN во время проверки будет сгенерирован сигнал ошибки на шине АНВ. Для всех видов внешней памяти (PROM, IO и SRAM) используется один бит разрешения/запрещения сигнализации об ошибке доступа, по умолчанию функционал отключен, состояние внешнего вывода BEXCN игнорируется. При 8-битном доступе контроль осуществляется только в последнем из доступов пакетного обращения по шине.

На рисунках 4.5.8 и 4.5.9 представлены операции чтения и записи (в качестве примера приведены временные диаграммы с дополнительным циклом lead-in, без дополнительного цикла lead-out) с активным уровнем сигнала BEXCN.

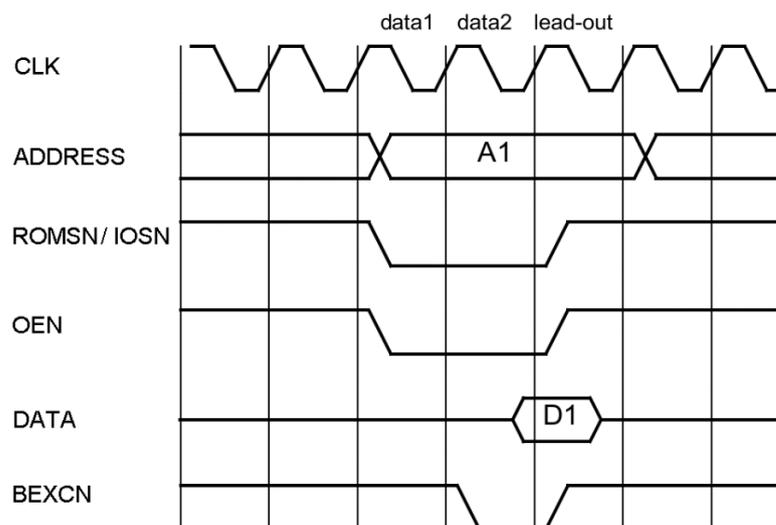


Рисунок 4.5.8 – Доступ чтения с одним тактом ожидания и с активным сигналом BEXCN

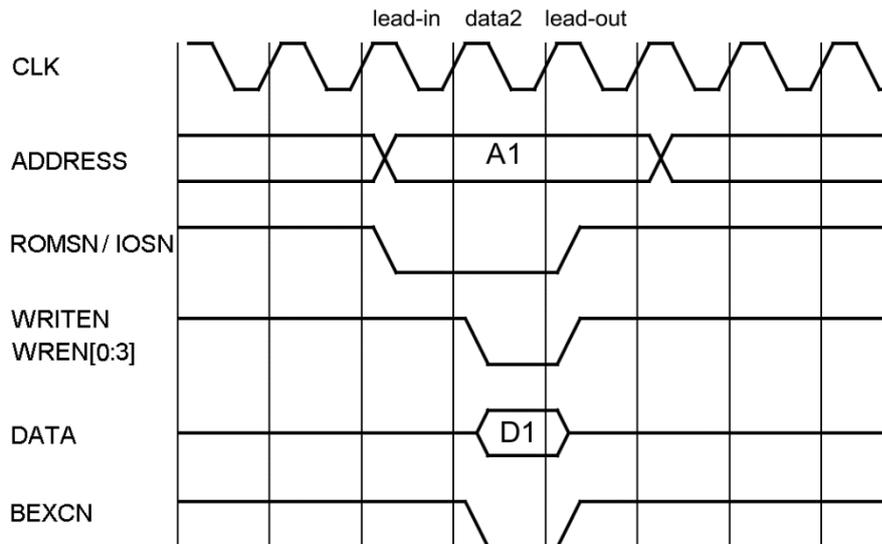


Рисунок 4.5.9 – Доступ записи с активным сигналом BEXCN

4.5.8 Коррекция ошибок

32-битный режим PROM

Если режим коррекции ошибок разрешен для контроллера PROM (установлен бит [FT_CTRL.PFT](#) контроллера конфигураций и на вход [CFG_FT_ENA](#) подается высокий логический уровень сигнала), то для обеспечения помехоустойчивости используется код Хэмминга. Он позволяет обнаружение до 2 ошибок и исправление 1 ошибки на кодовое слово.

В контроллере PROM кодовое слово состоит из исходных 32 бит данных и 7 бит проверочных (восьмой бит всегда равен «0»). Каждый из них вычисляется, используя операции ИСКЛЮЧАЮЩЕГО ИЛИ над соответствующими битами данных. Ниже представлены формулы для вычисления проверочных бит:

$$\begin{aligned}
 CB0 &= D0 \wedge D1 \wedge D2 \wedge D3 \wedge D4 \wedge D5 \wedge D6 \wedge D7 \wedge D8 \wedge D9 \wedge D10 \wedge \\
 &D11 \wedge D12 \wedge D13 \wedge D14 \wedge D15 \wedge D16 \wedge D17 \wedge D18 \wedge D19 \wedge D20 \wedge D21 \wedge \\
 &D22 \wedge D23 \wedge D24 \wedge D25 \wedge D26 \wedge D27 \wedge D28 \wedge D29 \wedge D30 \wedge D31 \wedge CB1 \wedge \\
 &CB2 \wedge CB3 \wedge CB4 \wedge CB5 \wedge CB6 \wedge CB7; \\
 CB1 &= D0 \wedge D1 \wedge D3 \wedge D4 \wedge D6 \wedge D8 \wedge D10 \wedge D11 \wedge D13 \wedge D15 \wedge D17 \wedge \\
 &D19 \wedge D21 \wedge D23 \wedge D25 \wedge D26 \wedge D28 \wedge D30; \\
 CB2 &= D0 \wedge D2 \wedge D3 \wedge D5 \wedge D6 \wedge D9 \wedge D10 \wedge D12 \wedge D13 \wedge D16 \wedge D17 \wedge \\
 &D20 \wedge D21 \wedge D24 \wedge D25 \wedge D27 \wedge D28 \wedge D31; \\
 CB3 &= D1 \wedge D2 \wedge D3 \wedge D7 \wedge D8 \wedge D9 \wedge D10 \wedge D14 \wedge D15 \wedge D16 \wedge D17 \wedge \\
 &D22 \wedge D23 \wedge D24 \wedge D25 \wedge D29 \wedge D30 \wedge D31; \\
 CB4 &= D4 \wedge D5 \wedge D6 \wedge D7 \wedge D8 \wedge D9 \wedge D10 \wedge D18 \wedge D19 \wedge D20 \wedge D21 \wedge \\
 &D22 \wedge D23 \wedge D24 \wedge D25; \\
 CB5 &= D11 \wedge D12 \wedge D13 \wedge D14 \wedge D15 \wedge D16 \wedge D17 \wedge D18 \wedge D19 \wedge D20 \wedge D21 \wedge \\
 &D22 \wedge D23 \wedge D24 \wedge D25; \\
 CB6 &= D26 \wedge D27 \wedge D28 \wedge D29 \wedge D30 \wedge D31; \\
 CB7 &= 0;
 \end{aligned}$$

Контроллер PROM при обнаружении исправимой ошибки восстановит корректные данные и сигнализирует о произошедшем событии установкой пары битов CE и NE в

регистре статуса АНВ (см. таблицу 4.12.2). Если выявлено больше ошибок, чем модуль в состоянии исправить, то будет установлен только бит NE. В регистрах статуса АНВ отображается только транзакция, в которой произошла ошибка. Поскольку подключение контроллера осуществляется через 64-разрядную шину (транзакция может содержать до двух кодовых слов), данная информация может не полностью характеризовать местоположение некорректного кодового слова.

Если установлен бит FT_CTRL.WBP (по сбросу данный режим не активен для области PROM) при обнаружении исправимой ошибки контроллер автоматически перезапишет исправленное кодовое слово в память (если в качестве PROM используется MRAM или её аналог). Важно понимать, что данный механизм не рассчитан на перезапись данных при использовании FLASH в качестве PROM, поскольку для осуществления подобной операции потребовалось бы предварительное стирание отдельного слова и использование специфической для микросхемы последовательности записи.

8-битный режим PROM

Если активирован 8-битный режим PROM, то каждому 8-битному слову данных соответствует 7 бит проверочных (старшие биты всегда равны «0»). Каждый из них вычисляется, используя операции ИСКЛЮЧАЮЩЕГО ИЛИ над соответствующими битами данных. Такой подход позволяет обнаруживать до 2 ошибок и исправлять 1 ошибку на кодовое слово (оно состоит из исходных 8 бит данных и 7 бит проверочных). Ниже представлены формулы для вычисления проверочных бит (схема их формирования аналогична 32-битной, если подставить в неё D0–D23 равные «0»):

$$\begin{aligned}
 CB0 &= D24 \wedge D25 \wedge D26 \wedge D27 \wedge D28 \wedge D29 \wedge D30 \wedge D31 \wedge CB1 \wedge CB2 \wedge CB3 \wedge \\
 &\quad CB4 \wedge CB5 \wedge CB6 \wedge CB7; \\
 CB1 &= D25 \wedge D26 \wedge D28 \wedge D30; \\
 CB2 &= D24 \wedge D25 \wedge D27 \wedge D28 \wedge D31; \\
 CB3 &= D24 \wedge D25 \wedge D29 \wedge D30 \wedge D31; \\
 CB4 &= D24 \wedge D25; \\
 CB5 &= D24 \wedge D25; \\
 CB6 &= D26 \wedge D27 \wedge D28 \wedge D29 \wedge D30 \wedge D31; \\
 CB7 &= 0;
 \end{aligned}$$

Сигнализация в [регистрах статуса АНВ](#) о произошедшей ошибке, также как и в 32-битном режиме, привязана к осуществляемой транзакции. Поскольку подключение контроллера осуществляется через 64-разрядную шину (транзакция может содержать до восьми кодовых слов), данная информация может не полностью характеризовать местоположение некорректного кодового слова.

4.5.9 Регистры

Регистры управления контроллерами памяти PROM / IO, SRAM, SDRAM вынесены в модуль [контроллера конфигураций](#) (их непосредственное описание приведено в пункте «4.3.4 Регистры»).

4.6 Контроллер SRAM

4.6.1 Общие сведения

Контроллер SRAM реализует мост между внешней памятью и шиной АHB. Память SRAM может быть обеспечена средствами обнаружения и исправления ошибок кодом Хэмминга (39,32). Код Хэмминга обеспечивает обнаружение до 2 ошибок и исправление 1 ошибки на кодовое слово.

Структурная схема контроллера SRAM приведена на рисунке 4.6.1.

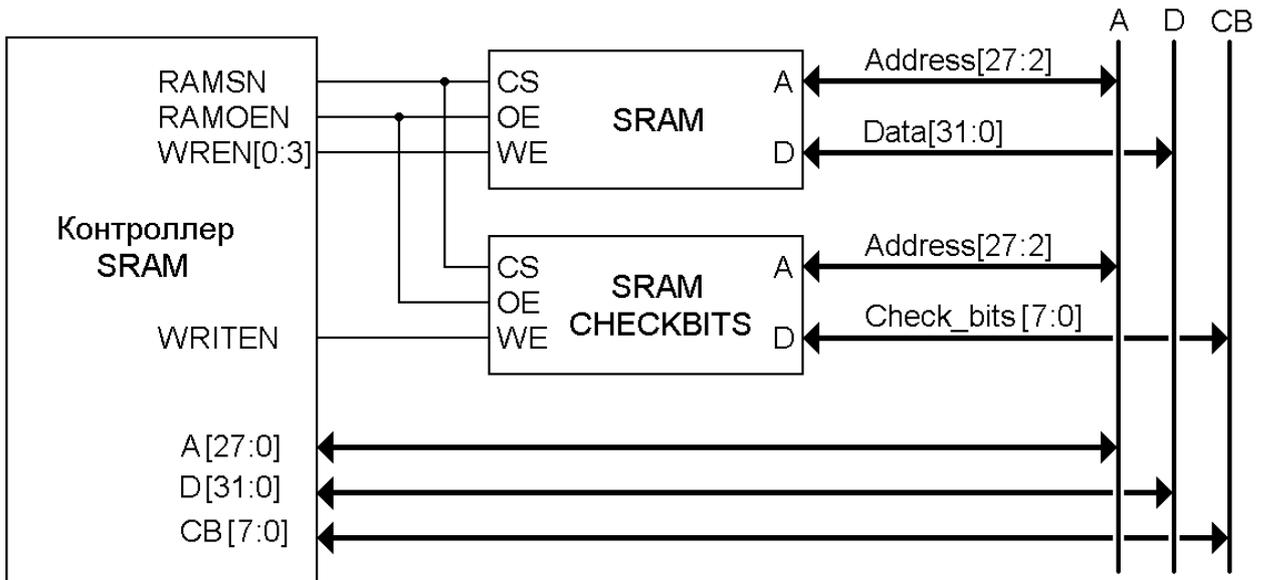


Рисунок 4.6.1 – Структурная схема контроллера SRAM

Временными параметрами функционирования и помехоустойчивого кодирования контроллера SRAM можно управлять с помощью регистров, описанных в пункте «4.3.4 Регистры» контроллера конфигураций. Контроллер отвечает за 1 адресное пространство (SRAM). Контроллер SRAM конкурирует с контроллером SDRAM за диапазон адресов 0x40000000 – 0x4FFFFFFF. Одновременная работа двух вышеперечисленных контроллеров не поддерживается, за выбор активного отвечает бит RS регистра управления режимами помехоустойчивого кодирования. Область RAM (SRAM или SDRAM), отображаемая в диапазоне адресов 0x40000000 – 0x7FFFFFFF, является кэшируемой с упреждающей выборкой инструкций, что отображено в plug & play конфигурации шины АHB.

4.6.2 Доступ к области SRAM

Для организации доступа к области SRAM используется один общий сигнал выбора кристалла – RAMSN. Поддерживается два варианта подключения сигналов разрешения записи к микросхемам SRAM: 4 отдельных сигнала (WREN[3:0]) или 1 общий (WRITEN). Вывод WREN[0] отвечает за линии данных DATA[31:24], WREN[1] за DATA[23:16], WREN[2] за DATA[15:8], WREN[3] за DATA[7:0]. Вывод WRITEN управляет записью полной шины данных (DATA[31:0]). Выбор варианта подключения сигналов осуществляется по выбору пользователя. Сигнал разрешения чтения – RAMOEN.

Когда активировано помехоустойчивое кодирование, при 8- или 16-битной записи используется последовательность считывание-модификация-запись, поскольку проверочные биты формируются исходя из полного 39-битного кодового слова (см. пункт «4.6.6 Коррекция ошибок»).

Если используется помехоустойчивое кодирование, то к микросхеме, отвечающей за данный функционал, в качестве сигнала разрешения записи подключается вывод WRITEN, в качестве шины данных выступает CHECK_BITS[6:0], остальные сигналы управления совпадают с таковыми для основных микросхем SRAM. Старшие разряды шины CHECK_BITS не учитываются при вычислении синдрома ошибки, при выполнении операций записи они будут иметь нулевое значение.

На рисунке 4.6.2 представлена временная диаграмма одиночной записи в область SRAM (с дополнительными тактами lead-in и lead-out). Более подробная информация о конфигурировании временной диаграммы контроллера представлена в пункте «4.6.3 Управление временной диаграммой контроллера SRAM».

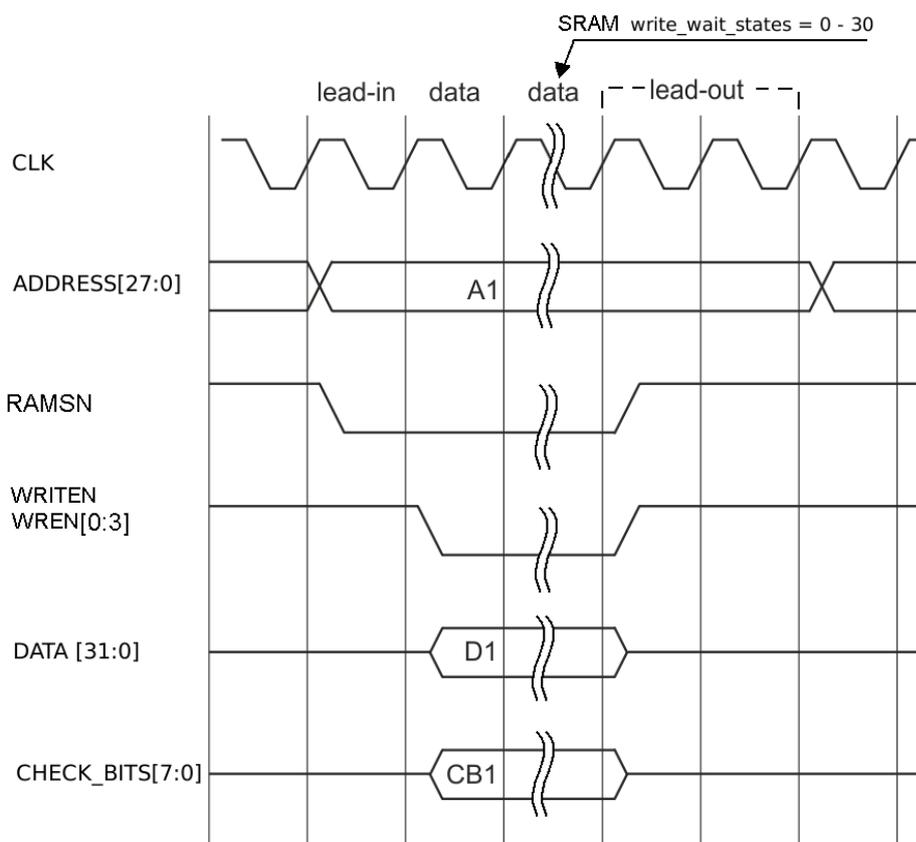


Рисунок 4.6.2 – Временная диаграмма одиночной записи в область SRAM

На рисунке 4.6.3 в качестве примера приведена временная диаграмма чтения из области SRAM (без дополнительного такта lead-out) с тремя дополнительными тактами ожидания.

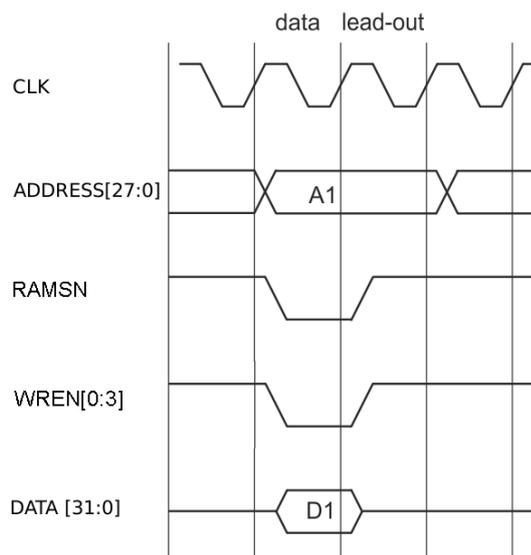


Рисунок 4.6.3 – Временная диаграмма одиночной записи в область SRAM без тактов ожидания, без такта lead-in и без дополнительного такта lead-out

На рисунке 4.6.4 приведена временная диаграмма чтения из области SRAM с полным набором дополнительных тактов.

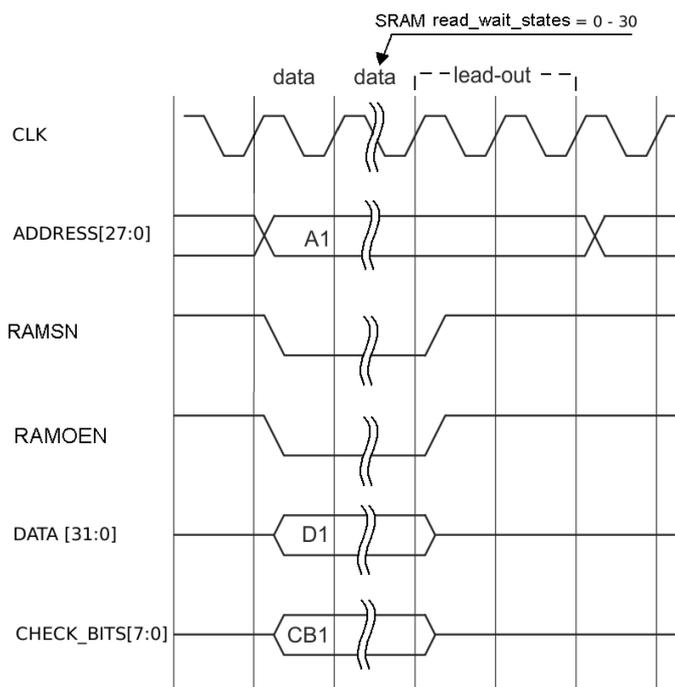


Рисунок 4.6.4 – Временная диаграмма чтения из области SRAM с дополнительными тактами ожидания и с дополнительным тактом lead-out

Выходной сигнал READ является инвертированной версией вывода WRITEN.

4.6.3 Управление временной диаграммой контроллера SRAM

Транзакции на шине контроллера SRAM состоят из следующих последовательностей:

[LEAD-IN] WRITE [WAIT CYCLES] LEAD-OUT [LEAD-OUT]
 READ [WAIT CYCLES] LEAD-OUT [LEAD-OUT]

- Стадия LEAD-IN активируется только для операций записи, если бит LIS регистра управления контроллерами памяти установлен (по умолчанию данный бит сброшен для контроллера SRAM).
- В зависимости от операции записи или чтения активируется стадия READ / WRITE.
- Продолжительность предыдущей стадии варьируется в зависимости от количества дополнительных тактов ожидания. Они позволяют выбрать длительность цикла активности в зависимости от частоты тактового сигнала процессора и требований внешней памяти. Количество дополнительных циклов ожидания задается с помощью полей регистра управления тактами ожидания контроллера памяти SWWC (задержка при записи в SRAM), SRWC (задержка при чтении из SRAM). Количество дополнительных тактов ожидания может быть от 0 до 30. Значения по умолчанию SRWC = SWWC = 00000₂ = 0.
- Вторая стадия LEAD-OUT активируется, если бит LOS регистра управления контроллерами памяти установлен (по умолчанию данный бит сброшен для контроллера SRAM).

4.6.4 Система сигнализации о готовности

Сигнал BRDYN может быть использован для удлинения цикла доступа к области SRAM, включая операции чтения, записи и чтения-модификации-записи. Доступ по-прежнему будет иметь как минимум предустановленное значение дополнительных тактов ожидания (см. значение соответствующих полей регистра WC_CTRL), но также может быть удлинен до тех пор, пока сигнал BRDYN не будет вновь установлен. Чтобы повлиять на продолжительность цикла доступа, сигнал BRDYN должен быть сброшен, по крайней мере, не позже такта, предшествующего первому такту lead-out. Выборка сигнала BRDYN осуществляется по положительному фронту тактового сигнала.

Для управления доступностью функционала BRDYN для области SRAM используется бит SBRDY регистра управления контроллерами памяти (MEM_CTRL). По сбросу функционал не активен. На рисунке 4.6.5 приведен пример цикла чтения с одним дополнительным тактом задержки и одним тактом задержки, сгенерированным сигналом BRDYN.

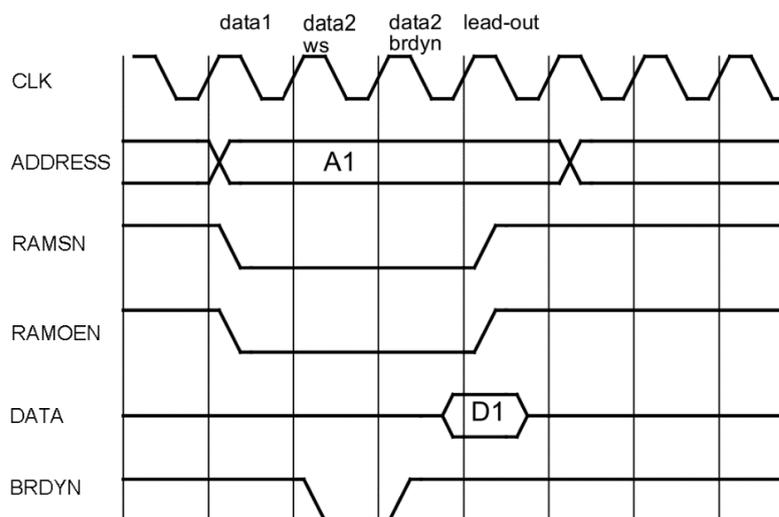


Рисунок 4.6.5 – Цикл чтения с одним дополнительным тактом задержки и одним тактом задержки, сгенерированным сигналом BRDYN

4.6.5 Описание системы сигнализации об ошибке доступа

Поддерживается возможность сигнализации контроллеру (процессору) об ошибке доступа чтения или записи установкой внешнего сигнала BEXCN (активный уровень сигнала – 0). Для операций записи проверка состояния данного сигнала осуществляется в последний такт, перед тем как сигнал выбора кристалла станет неактивным. Если использование BEXCN разрешено в [регистре управления контроллерами памяти](#) (бит BEXCN), то при активном уровне сигнала BEXCN во время проверки будет сгенерирован сигнал ошибки на шине АНВ. Для всех видов внешней памяти (PROM, IO и SRAM) используется один бит разрешения/запрещения сигнализации об ошибке доступа, по умолчанию функционал отключен, состояние внешнего вывода BEXCN игнорируется. При 8-битном доступе контроль осуществляется только в последнем из доступов пакетного обращения по шине.

На рисунках [4.6.6](#) и [4.6.7](#) представлены операции чтения и записи (в качестве примера приведены временные диаграммы с дополнительным циклом lead-in, без дополнительно цикла lead-out) с активным уровнем сигнала BEXCN.

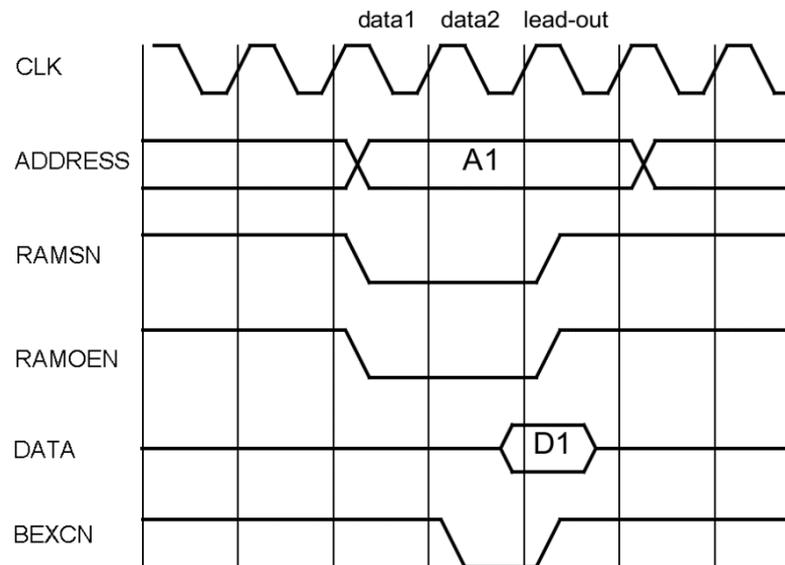


Рисунок 4.6.6 – Доступ чтения с одним тактом ожидания и с активным сигналом BEXCN

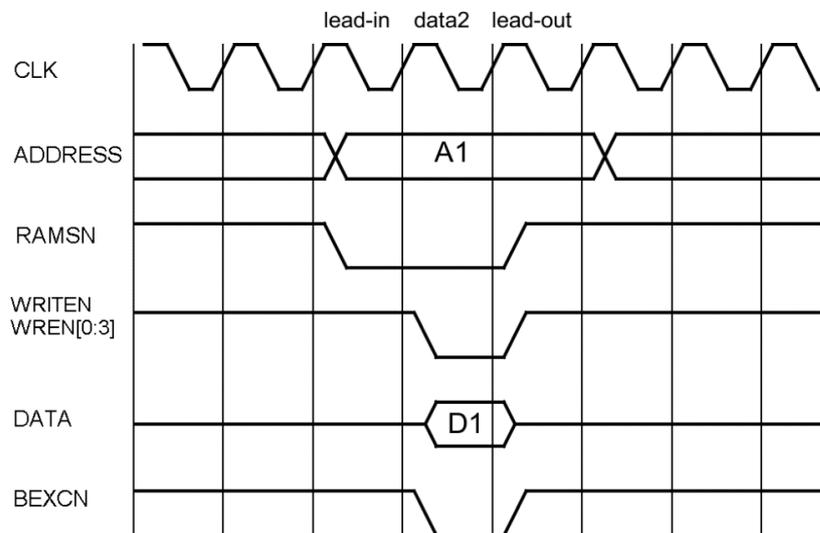


Рисунок 4.6.7 – Доступ записи с активным сигналом BEXCN

4.6.6 Коррекция ошибок

Если режим коррекции ошибок разрешен для контроллера SRAM (установлен бит [FT_CTRL.SFT](#) контроллера конфигураций и на вход [CFG_FT_ENA](#) подается высокий логический уровень сигнала), то для обеспечения помехоустойчивости используется код Хэмминга. Он позволяет обнаружение до 2 ошибок и исправление 1 ошибки на кодовое слово (оно состоит из 32 бит данных и 7 проверочных бит).

В контроллере SRAM кодовое слово состоит из исходных 32-бит данных и 7 проверочных бит (восьмой бит всегда равен «0»). Каждый из них вычисляется, используя операции ИСКЛЮЧАЮЩЕГО ИЛИ над соответствующими битами данных. Ниже представлены формулы для вычисления проверочных бит:

$$\begin{aligned}CB0 &= D0 \wedge D1 \wedge D2 \wedge D3 \wedge D4 \wedge D5 \wedge D6 \wedge D7 \wedge D8 \wedge D9 \wedge D10 \wedge \\ &D11 \wedge D12 \wedge D13 \wedge D14 \wedge D15 \wedge D16 \wedge D17 \wedge D18 \wedge D19 \wedge D20 \wedge D21 \wedge \\ &D22 \wedge D23 \wedge D24 \wedge D25 \wedge D26 \wedge D27 \wedge D28 \wedge D29 \wedge D30 \wedge D31 \wedge CB1 \wedge \\ &CB2 \wedge CB3 \wedge CB4 \wedge CB5 \wedge CB6 \wedge CB7; \\ CB1 &= D0 \wedge D1 \wedge D3 \wedge D4 \wedge D6 \wedge D8 \wedge D10 \wedge D11 \wedge D13 \wedge D15 \wedge D17 \wedge \\ &D19 \wedge D21 \wedge D23 \wedge D25 \wedge D26 \wedge D28 \wedge D30; \\ CB2 &= D0 \wedge D2 \wedge D3 \wedge D5 \wedge D6 \wedge D9 \wedge D10 \wedge D12 \wedge D13 \wedge D16 \wedge D17 \wedge \\ &D20 \wedge D21 \wedge D24 \wedge D25 \wedge D27 \wedge D28 \wedge D31; \\ CB3 &= D1 \wedge D2 \wedge D3 \wedge D7 \wedge D8 \wedge D9 \wedge D10 \wedge D14 \wedge D15 \wedge D16 \wedge D17 \wedge \\ &D22 \wedge D23 \wedge D24 \wedge D25 \wedge D29 \wedge D30 \wedge D31; \\ CB4 &= D4 \wedge D5 \wedge D6 \wedge D7 \wedge D8 \wedge D9 \wedge D10 \wedge D18 \wedge D19 \wedge D20 \wedge D21 \wedge \\ &D22 \wedge D23 \wedge D24 \wedge D25; \\ CB5 &= D11 \wedge D12 \wedge D13 \wedge D14 \wedge D15 \wedge D16 \wedge D17 \wedge D18 \wedge D19 \wedge D20 \wedge D21 \wedge \\ &D22 \wedge D23 \wedge D24 \wedge D25; \\ CB6 &= D26 \wedge D27 \wedge D28 \wedge D29 \wedge D30 \wedge D31; \\ CB7 &= 0;\end{aligned}$$

Контроллер SRAM при обнаружении исправимой ошибки восстановит корректные данные и сигнализирует о произошедшем событии установкой бита SE в регистре статуса АНВ (см. таблицу [4.12.2](#)). Если выявлено больше ошибок, чем модуль в состоянии исправить, то будет установлен только бит NE. В регистрах статуса АНВ отображается только транзакция, в которой произошла ошибка. Поскольку подключение контроллера осуществляется через 64-разрядную шину (транзакция может содержать до двух кодовых слов), данная информация может не полностью характеризовать местоположение некорректного кодового слова.

Если установлен бит [FT_CTRL.WBS](#) (по сбросу данный режим активен для области SRAM) при обнаружении исправимой ошибки контроллер автоматически перезапишет исправленное кодовое слово в память. Если выявлено больше ошибок, чем модуль в состоянии исправить, то будет установлен только бит NE.

4.6.7 Регистры

Регистры управления контроллерами памяти PROM / IO, SRAM, SDRAM вынесены в модуль [контроллера конфигураций](#) (их непосредственное описание приведено в пункте «[4.3.4 Регистры](#)»).

4.7 Контроллер SDRAM

4.7.1 Общие сведения

Контроллер SDRAM реализует мост между внешней памятью и шиной АHB. Память SDRAM может быть обеспечена средствами обнаружения и исправления ошибок кодом Хэмминга (72,64) или кодом Рида-Соломона (96,64). Код Хэмминга обеспечивает обнаружение до 2 ошибок и исправление 1 ошибки на кодовое слово, реализована полностью комбинаторная схема. Код Рида-Соломона в состоянии исправить до двух 8-ми битных блоков ошибок на 64 бит данных и 32 проверочных бита, (от 2 до 16 некорректных бит при условии, что они локализованы в двух байтах).

Структурная схема контроллера SDRAM приведена на рисунке 4.7.1.

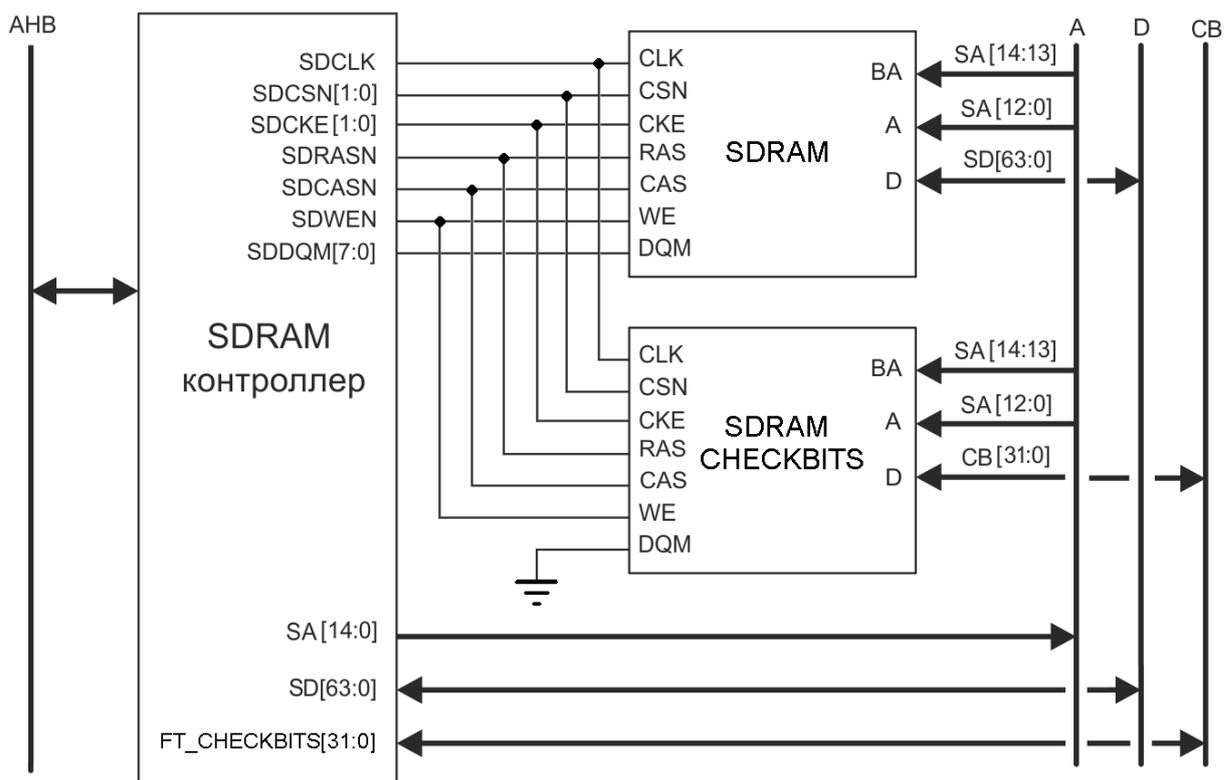


Рисунок 4.7.1 – Структурная схема контроллера SDRAM

Временными параметрами функционирования и помехоустойчивого кодирования контроллера SDRAM можно управлять с помощью регистров контроллера конфигураций, описанных в пункте «4.3.4 Регистры». Контроллер отвечает за 1 адресное пространство (SDRAM) – 0x40000000 – 0x7FFFFFFF. Контроллер SDRAM конкурирует с контроллером SRAM за диапазон адресов 0x40000000 – 0x4FFFFFFF. Одновременная работа двух вышеперечисленных контроллеров не поддерживается, за выбор активного отвечает бит RS регистра управления режимами помехоустойчивого кодирования. Область RAM (SRAM или SDRAM), отображаемая в диапазоне адресов 0x40000000 – 0x7FFFFFFF, является кэшируемой с упреждающей выборкой инструкций, что отображено в plug & play конфигурации шины АHB.

4.7.2 Доступ к области SDRAM

Для организации доступа к области SDRAM используется ряд управляющих сигналов и шин:

SDCKE – сигналы разрешений тактирования. При низком уровне сигнала блокируется подача тактового сигнала на микросхему. Команды не обрабатываются, состояние других командных линий игнорируется.

SDCSN – сигналы обращения к микросхемам. При высоком уровне сигнала все прочие управляющие линии, кроме **SDCKE**, игнорируются. Действует как команда **NOP** (нет оператора).

SDDQM – шина маски данных. Высокий уровень на линии данной шины запрещает чтение/запись соответствующего байта данных. Вывод **SDDQM[7]** отвечает за линии данных **SD[63:56]**, **SDDQM[6]** за **SD[55:48]**, **SDDQM[5]** за **SD[47:40]**, **SDDQM[4]** за **SD[39:32]**, **SDDQM[3]** за **SD[31:24]**, **SDDQM[2]** за **SD[23:16]**, **SDDQM[1]** за **SD[15:8]**, **SDDQM[0]** за **SD[7:0]**.

SDRASN, **SDCASN**, **SDWEN** – сигналы строба адреса строки, строба адреса столбца и разрешения записи соответственно. Вместе они кодируют одну из 8 команд SDRAM.

SA и **SD** являются шинами адреса и данных контроллера. Старшие два разряда **SA** (**SA[14:13]**) отвечают за выбор банка данных. Контроллер SDRAM поддерживает только микросхемы с четырьмя банками данных.

К контроллеру SDRAM можно подключить до двух банков памяти, в качестве сигналов выбора микросхемы и сигнала разрешения тактирования для второго банка памяти следует использовать выводы **SDCSN[1]**, **SDCKE[1]**, остальные сигналы являются общими.

4.7.3 Тактирование синхронной динамической памяти

Для корректной работы контроллера при использовании синхронной динамической памяти тактовый сигнал **SDCLK**, приходящий на микросхемы памяти, должен опережать **CLK** приблизительно на 2 нс.

В обобщенном виде требуется выполнение следующих условий:

1. Соблюдение режима подачи управляющих сигналов относительно положительного фронта **SDCLK**.
2. Момент захвата данных контроллером должен быть синхронизирован с периодом гарантированного удержания корректных данных на шине.

В качестве примера в дальнейшем будут рассматриваться временные параметры микросхем **MT48LC16M16A2**.

На пределы работоспособности могут оказывать влияние следующие параметры микросхем SDRAM (все параметры приводятся с привязкой к положительному фронту тактового сигнала **SDCLK**):

- t_{CMS} – время установки значений **CS#**, **RAS#**, **CAS#**, **WE#**, **DQM** перед фронтом **SDCLK**;
- t_{CMH} – время удержания сигналов **CS#**, **RAS#**, **CAS#**, **WE#**, **DQM** после фронта **SDCLK**;
- t_{LZ} – время, в течение которого выходной буфер шины данных остается в состоянии высокого импеданса;
- t_{AC} – время доступа относительно положительного фронта **SDCLK**;
- t_{OH} – время удержания корректных данных на шине **DQ**.

На выполнение первого из условий напрямую влияют параметры t_{CMS} и t_{CMH} . Второе условие находится в зависимости от значения t_{OH} .

На рисунке 4.7.2 представлена временная диаграмма обращения чтения в микросхеме SDRAM для обоих поддерживаемых значений CAS Latency (2 и 3). На ней приведены упомянутые выше временные параметры.

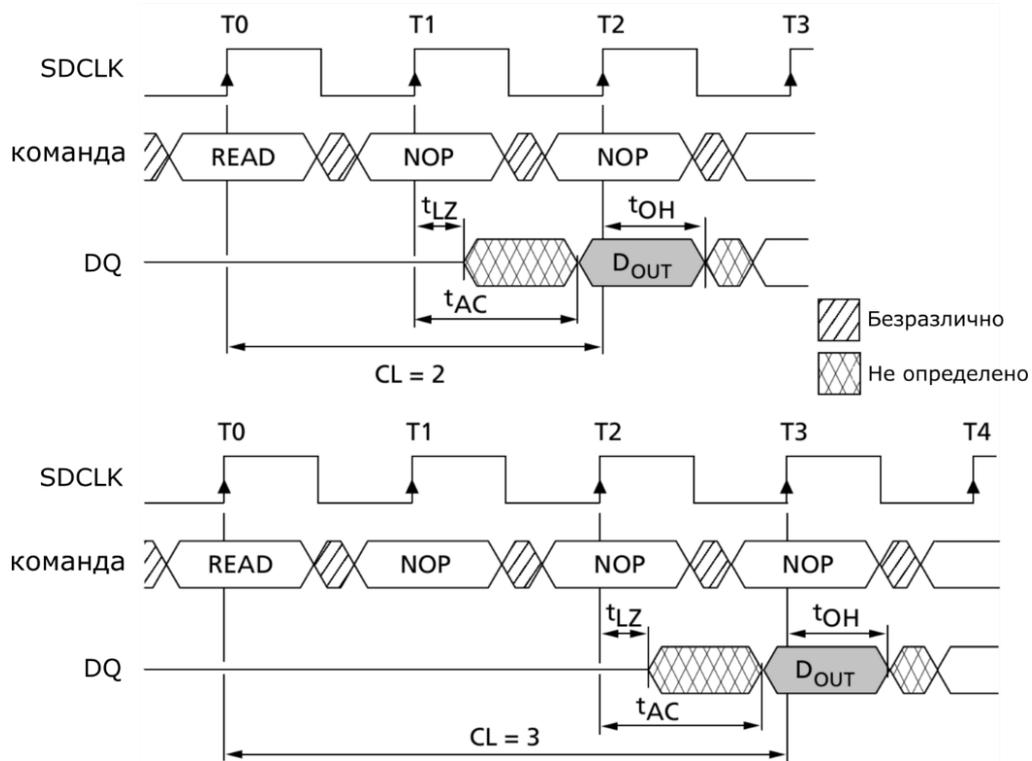


Рисунок 4.7.2 – Временные параметры сигналов микросхем SDRAM относительно SDCLK при обращении чтения (CAS Latency 2 и 3)

На рисунке 4.7.3 приведено положение фронтов тактовых сигналов CLK и SDCLK относительно друг друга.

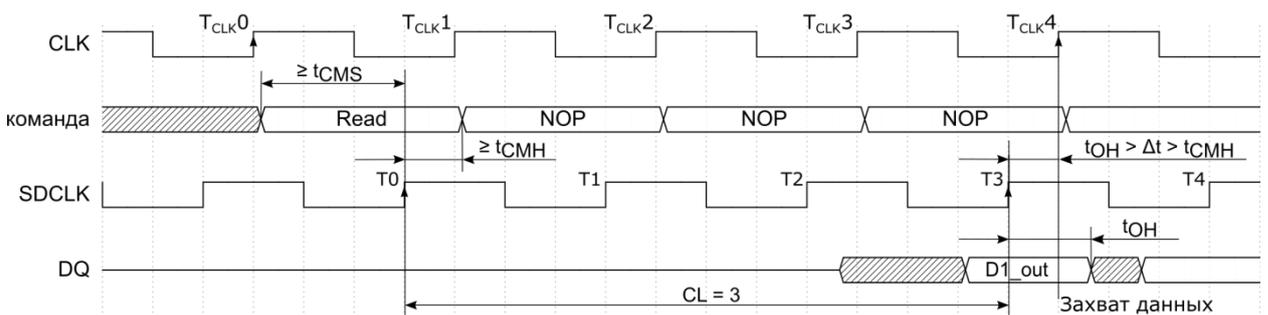


Рисунок 4.7.3 – Взаимное положение тактовых сигналов CLK и SDCLK при обращении чтения (CAS Latency = 3)

Положительный фронт SDCLK должен приходиться на момент времени, когда все управляющие выходы SDRAM находятся в стабильном состоянии не менее t_{CMS} нс. После положительного фронта SDCLK сигналы CS#, RAS#, CAS#, WE#, DQM должны удерживаться не менее t_{CMH} нс. С другой стороны, взаиморасположение CLK и SDCLK определяет параметр t_{OH} (время удержания корректных данных на шине).

В техническом описании на выше упомянутые микросхемы указано, что, $t_{CMS} \geq 1,5$ нс, $t_{CMH} \geq 0,8$ нс, $t_{LZ} \geq 1,0$ нс, $t_{AC} \leq 5,4$ нс, $t_{OH} \geq 3,0$ нс.

Захват данных, в случае CAS Latency равно 3, осуществляется контроллером в момент времени T_{CLK4} (для CAS Latency = 2, в такт T_{CLK3}). Он должен приходиться на период удержания микросхемами корректных данных на шине DQ (t_{OH}). С учетом приведенных значений временных параметров схем MT48LC16M16A2, итоговая задержка CLK относительно SDCLK должна лежать в пределах от 3 до 0,8 нс. Поскольку управляющие сигналы SDRAM формируются по положительному фронту тактового сигнала CLK с некоторой задержкой, реальная правая граница рабочего диапазона может быть несколько меньше.

4.7.4 Инициализация микросхем динамической памяти

Старт процесса инициализации осуществляется по записи в [регистр управления SDRAM_CFG_1](#). Микросхемы SDRAM требуют перед подачей инициализационной последовательности выдержать интервал времени, отведенный на стабилизацию напряжения питания и тактовой частоты. Первая запись в регистр SDRAM_CFG_1 организует упомянутый выше период ожидания, определяемый значением поля IP, в конце которого будет сгенерирована последовательность команд Precharge (для всех банков данных) – 8 x AutoRefresh – LoadModeRegister. Если к модулю подключено несколько микросхем памяти (для организации 64-битной разрядности шины данных, либо, если используются выходы SDASN[1], SDCKE[1] второго банка памяти SDRAM), то все они инициализируются параллельно.

Каждая последующая запись в регистр SDRAM_CFG_1 вызывает только последовательность команд Precharge (для всех банков данных) – LoadModeRegister. Подача команды LoadModeRegister при перезаписи данного регистра обязательна, поскольку при изменении CAS Latency (поле CL) требуется отправить данное значение и в микросхемы памяти.

Значение поля IP выбирается исходя из формулы:

$$N \times CF_{MHz} + 5 + tRP + 8 \times tRFC + tMRD,$$

где N – интервал инициализации динамической памяти в мкс (как правило 100 или 200 мкс),

CF_{MHz} – тактовая частота процессора в МГц,

tRP, tRFC, tMRD – временные характеристики динамической памяти.

Более подробная информация по выбору tRP, tRFC, tMRD находится в пункте «[4.7.6 Управление параметрами конфигурации SDRAM](#)».

4.7.5 Структура обращений к памяти

Обращение к памяти (чтение или запись) состоит из следующей последовательности:

- PRECHARGE (если активирован столбец, но обращение идет к другому столбцу);
- ACTIVE (если требуемый столбец не активирован);
- WRITE / READ.

4.7.6 Управление параметрами конфигурации SDRAM

Для корректной работы выбранных микросхем памяти SDRAM через [регистр управления SDRAM_CFG_1](#) следует запрограммировать следующие параметры

микросхем SDRAM: задержку (CAS Latency), размер столбцов и рядов, период инициализации. Информация о расчете периода инициализации приведена в пункте «4.7.4 Инициализация микросхем динамической памяти».

Поле CL (CAS Latency) определяет время задержки строб-импульса адреса столбца, соответствует двум младшим битам поля «CAS Latency» стандартного регистра управления динамической памятью (MODE REGISTER). Старший бит всегда равен нулю. От данного параметра зависит задержка между запросом на операцию чтения и появлением данных на шине SD. В ходе инициализации в MODE REGISTER будет установлено значение «3». Запись в регистр вызовет выполнение команды LOAD MODE REG с новым значением MODE REGISTER.

Ширина адреса столбцов (поле CAW) определяет количество столбцов в динамической памяти, вычисляемое по формуле $2^{(CAW+8)}$. Допустимые значения лежат в диапазоне от 0 до 5, соответственно поддерживаются микросхемы с количеством столбцов от 256 до 8192.

Ширина адреса строки (поле RAW) определяет количество рядов в динамической памяти, вычисляемое по формуле $2^{(RAW+8)}$. Допустимые значения лежат в диапазоне от 0 до 5, соответственно поддерживаются микросхемы с количеством рядов от 256 до 8192.

Для обеспечения оптимальных циклов доступа для различных устройств SDRAM (различных тактовых частот) через регистр конфигурации памяти следует запрограммировать следующие параметры микросхем SDRAM: tMRD, tWR, tRCD, tRFC, tRP, период обновления. Значения по умолчанию данных полей см. в [регистре управления SDRAM_CFG_2](#).

Поле tMRD задает количество тактов между загрузкой MODE_REGISTER и последующими командами ACTIVE или REFRESH. По умолчанию установлено значение «3», большинству современных микросхем достаточно 2 тактов.

Поле tWR (WRITE recovery time) задает количество тактов между командами WRITE и PRECHARGE.

Поле tRCD (ACTIVE-to-READ or WRITE delay) задает количество тактов между командой ACTIVE и командами READ или WRITE.

Поле tRFC (AUTO REFRESH period) задает количество тактов неактивности после команды AUTO_REFRESH.

Поле tRP (PRECHARGE command period) задает количество тактов неактивности после команды PRECHARGE.

Значение полей tWR, tRCD, tRFC, tRP должно быть выбрано исходя из формулы:

$$\left[\frac{\langle t \text{ параметр в нс} \rangle \times \langle \text{тактовая частота в МГц} \rangle}{1000} \right] + 1,$$

где [] – операция взятия целой части от числа;

t – соответствующий временной параметр микросхемы (tWR, tRCD, tRFC, tRP).

Период обновления (RP) задает значение периода (в тактах системной шины) между последовательными командами AUTO_REFRESH. Значение поля RP должно быть выбрано исходя из следующей формулы:

$$\left[\frac{\langle \text{Период обновления в нс} \rangle \times \langle \text{тактовая частота в МГц} \rangle}{1000} \right] - 1,$$

где [] – операция взятия целой части от числа.

Т.е. если в спецификации на микросхемы памяти указано, что период автоматического обновления составляет 7810 нс, а тактовая частота системы – 66 МГц, то значение периода обновления составляет $[7810 \times 66/1000] - 1 = [515460/1000] - 1 =$

$= 515 - 1 = 0x202$. Если значение частоты системы изменяется, то требуется изменить RP так, чтобы обновления динамической памяти проходили не реже специфицированного значения. Например, если тактовая системная частота – 50 МГц, то $RP = \lceil 7810 \times 50/1000 \rceil - 1 = 389 = 0x185$.

4.7.7 Коррекция ошибок

Код Хэмминга

Если режим коррекции ошибок разрешен для контроллера SDRAM (установлен бит FT_CTRL.SDFT контроллера конфигураций и на вход CFG_FT_ENA подается высокий логический уровень сигнала), а бит FT_CTRL.SDC сброшен, то для обеспечения помехоустойчивости используется код Хэмминга. Он позволяет обнаружение до двух ошибок и исправление одной ошибки на кодовое слово.

В контроллере SDRAM кодовое слово состоит из исходных 64 бит данных и 8 проверочных бит. Каждый из них вычисляется, используя операции ИСКЛЮЧАЮЩЕГО ИЛИ над соответствующими битами данных. Ниже представлены формулы для вычисления проверочных бит:

$$\begin{aligned}
 CB0 &= D0 \wedge D1 \wedge D2 \wedge D3 \wedge D4 \wedge D5 \wedge D6 \wedge D7 \wedge D8 \wedge D9 \wedge D10 \wedge \\
 &D11 \wedge D12 \wedge D13 \wedge D14 \wedge D15 \wedge D16 \wedge D17 \wedge D18 \wedge D19 \wedge D20 \wedge D21 \wedge \\
 &D22 \wedge D23 \wedge D24 \wedge D25 \wedge D26 \wedge D27 \wedge D28 \wedge D29 \wedge D30 \wedge D31 \wedge D32 \wedge \\
 &D33 \wedge D34 \wedge D35 \wedge D36 \wedge D37 \wedge D38 \wedge D39 \wedge D40 \wedge D41 \wedge D42 \wedge D43 \wedge \\
 &D44 \wedge D45 \wedge D46 \wedge D47 \wedge D48 \wedge D49 \wedge D50 \wedge D51 \wedge D52 \wedge D53 \wedge D54 \wedge \\
 &D55 \wedge D56 \wedge D57 \wedge D58 \wedge D59 \wedge D60 \wedge D61 \wedge D62 \wedge D63 \wedge CB1 \wedge \\
 &CB2 \wedge CB3 \wedge CB4 \wedge CB5 \wedge CB6 \wedge CB7; \\
 CB1 &= D0 \wedge D1 \wedge D3 \wedge D4 \wedge D6 \wedge D8 \wedge D10 \wedge D11 \wedge D13 \wedge D15 \wedge D17 \wedge \\
 &D19 \wedge D21 \wedge D23 \wedge D25 \wedge D26 \wedge D28 \wedge D30 \wedge D32 \wedge D34 \wedge D36 \wedge D38 \wedge \\
 &D40 \wedge D42 \wedge D44 \wedge D46 \wedge D48 \wedge D50 \wedge D52 \wedge D54 \wedge D56 \wedge D57 \wedge D59 \wedge \\
 &D61; \\
 CB2 &= D0 \wedge D2 \wedge D3 \wedge D5 \wedge D6 \wedge D9 \wedge D10 \wedge D12 \wedge D13 \wedge D16 \wedge D17 \wedge \\
 &D20 \wedge D21 \wedge D24 \wedge D25 \wedge D27 \wedge D28 \wedge D31 \wedge D32 \wedge D35 \wedge D36 \wedge D39 \wedge \\
 &D40 \wedge D43 \wedge D44 \wedge D47 \wedge D48 \wedge D51 \wedge D52 \wedge D55 \wedge D56 \wedge D58 \wedge D59 \wedge \\
 &D62 \wedge D63; \\
 CB3 &= D1 \wedge D2 \wedge D3 \wedge D7 \wedge D8 \wedge D9 \wedge D10 \wedge D14 \wedge D15 \wedge D16 \wedge D17 \wedge \\
 &D22 \wedge D23 \wedge D24 \wedge D25 \wedge D29 \wedge D30 \wedge D31 \wedge D32 \wedge D37 \wedge D38 \wedge D39 \wedge \\
 &D40 \wedge D45 \wedge D46 \wedge D47 \wedge D48 \wedge D53 \wedge D54 \wedge D55 \wedge D56 \wedge D60 \wedge D61 \wedge \\
 &D62 \wedge D63; \\
 CB4 &= D4 \wedge D5 \wedge D6 \wedge D7 \wedge D8 \wedge D9 \wedge D10 \wedge D18 \wedge D19 \wedge D20 \wedge D21 \wedge \\
 &D22 \wedge D23 \wedge D24 \wedge D25 \wedge D33 \wedge D34 \wedge D35 \wedge D36 \wedge D37 \wedge D38 \wedge D39 \wedge \\
 &D40 \wedge D49 \wedge D50 \wedge D51 \wedge D52 \wedge D53 \wedge D54 \wedge D55 \wedge D56; \\
 CB5 &= D11 \wedge D12 \wedge D13 \wedge D14 \wedge D15 \wedge D16 \wedge D17 \wedge D18 \wedge D19 \wedge D20 \wedge D21 \wedge \\
 &D22 \wedge D23 \wedge D24 \wedge D25 \wedge D41 \wedge D42 \wedge D43 \wedge D44 \wedge D45 \wedge D46 \wedge D47 \wedge \\
 &D48 \wedge D49 \wedge D50 \wedge D51 \wedge D52 \wedge D53 \wedge D54 \wedge D55 \wedge D56; \\
 CB6 &= D26 \wedge D27 \wedge D28 \wedge D29 \wedge D30 \wedge D31 \wedge D32 \wedge D33 \wedge D34 \wedge D35 \wedge D36 \wedge \\
 &D37 \wedge D38 \wedge D39 \wedge D40 \wedge D41 \wedge D42 \wedge D43 \wedge D44 \wedge D45 \wedge D46 \wedge D47 \wedge \\
 &D48 \wedge D49 \wedge D50 \wedge D51 \wedge D52 \wedge D53 \wedge D54 \wedge D55 \wedge D56; \\
 CB7 &= D57 \wedge D58 \wedge D59 \wedge D60 \wedge D61 \wedge D62 \wedge D63;
 \end{aligned}$$

Контроллер SDRAM при обнаружении исправимой ошибки восстановит корректные данные, перезапишет исправленное кодовое слово в память и сигнализирует о произошедшем событии установкой пары битов CE и NE в регистре статуса АНВ (см.

таблицу 4.12.2). Если выявлено больше ошибок, чем модуль в состоянии исправить, то будет установлен только бит NE.

Код Рида-Соломона

Код Рида-Соломона является недвоичным кодом, т.е. он работает с символами, а не с битами. В процессоре 1906VM016 выбран Код Рида-Соломона (96,64) с размером символа в 8 бит, который в состоянии исправить до двух некорректных символов (от 2 до 16 бит на 64 бит данных и 32 проверочных бита, если они локализованы в двух символах). Для кодирования и декодирования данных используется примитивный полином $x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$.

Модуль кодирования является полностью комбинаторной схемой, выполняющей последовательные сдвиг и суммирование по модулю 2, на выходе которого помимо исходных 64 бит данных генерируются и 32 проверочных бита.

Модуль декодирования является конвейеризованным. В случае обнаружения исправимой ошибки, спустя 5 тактов на выходе декодера появятся скорректированные данные и будет установлена пара битов SE и NE в регистре статуса АНВ (см. таблицу 4.12.2). Если в одном из символов данных содержится больше ошибок, чем модуль в состоянии исправить, то будет установлен только бит NE. Если ошибок детектировано не было, то данные с входа модуля могут быть использованы в схеме без необходимости декодирования.

Процесс декодирования осуществляется по следующему алгоритму:

- 1) Поиск синдрома ошибки. Если ошибок не обнаружено, то данные, минуя остальные этапы, передаются по шине АНВ.
- 2) Вычисление полинома ошибок.
- 3) Вычисление вектора локализации ошибки.
- 4) Коррекция ошибок.
- 5) Дополнительная стадия, используемая для ретайминга.

4.7.8 Регистры

Регистры управления контроллерами памяти PROM / IO, SRAM, SDRAM вынесены в модуль [контроллера конфигураций](#) (их непосредственное описание приведено в пункте «4.3.4 Регистры»).

4.8 Контроллер прерываний

4.8.1 Общие сведения

Система AMBA в GRLIB обеспечивает схему прерывания, в которой линии прерывания шин АНВ/АРВ обрабатываются совместно, формируя шину прерывания. Прерывания АНВ и АРВ проходят через шину вместе и передаются обратно ко всем модулям. Контроллер прерываний (IRQMP) подсоединен к шине AMBA, как ведомое устройство АРВ и управляется общими сигналами прерывания.

Прерывания, генерируемые на шине прерывания, передаются контроллеру прерываний. Контроллер прерываний определяет приоритет, маскирует и передает прерывание с самым высоким приоритетом в процессор, что проиллюстрировано на рисунке 4.8.1.

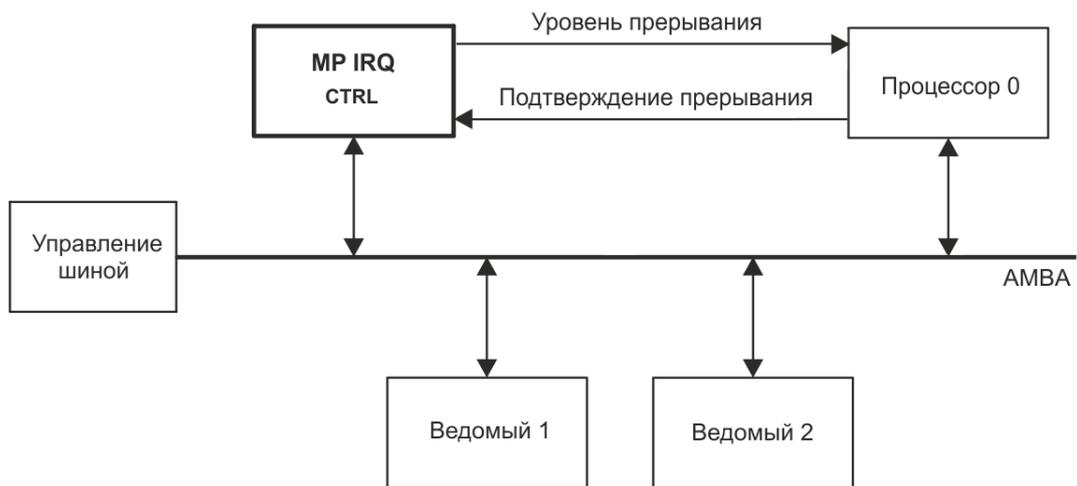


Рисунок 4.8.1 – Процессор LEON с контроллером прерываний

4.8.2 Принцип работы

Приоритет прерываний

Контроллер прерываний контролирует прерывания (1 – 15) шины прерываний (APBI.PIRQ(15:1)). Если линии находятся в высоком логическом состоянии, устанавливается соответствующий бит в регистр ожидания прерывания. Даже если линия PIRQ находится в сброшенном состоянии, ждущие обработки биты остаются в установленном состоянии до программного сброса или до получения подтверждения прерывания от процессора.

Каждое прерывание закреплено за одним из двух уровней (0 или 1), как запрограммировано в регистре уровня прерываний. Уровень 1 имеет более высокий приоритет, чем уровень 0. Приоритет прерываний распределен на каждом уровне, причем прерывание 15 имеет самый высокий приоритет, а прерывание 1 – самый низкий приоритет. Прерывание с самым высоким приоритетом уровня 1 передается процессору. При отсутствии немаскированных прерываний уровня 1 в режиме ожидания процессору передается немаскированное прерывание с самым высоким приоритетом уровня 0. PIRQ(31:16) не используются системой IRQMP.

Приоритет прерываний распределен на системном уровне (см. таблицу 4.8.1). В процессоре имеются отдельные регистры маски прерываний и вынужденных прерываний. При получении сигнала о прерывании на шине контроллер прерываний выставляет приоритет прерывания, выполняет маскирование прерывания и передает прерывание в процессор.

Блок-схема контроллера прерываний представлена на рисунке 4.8.2.

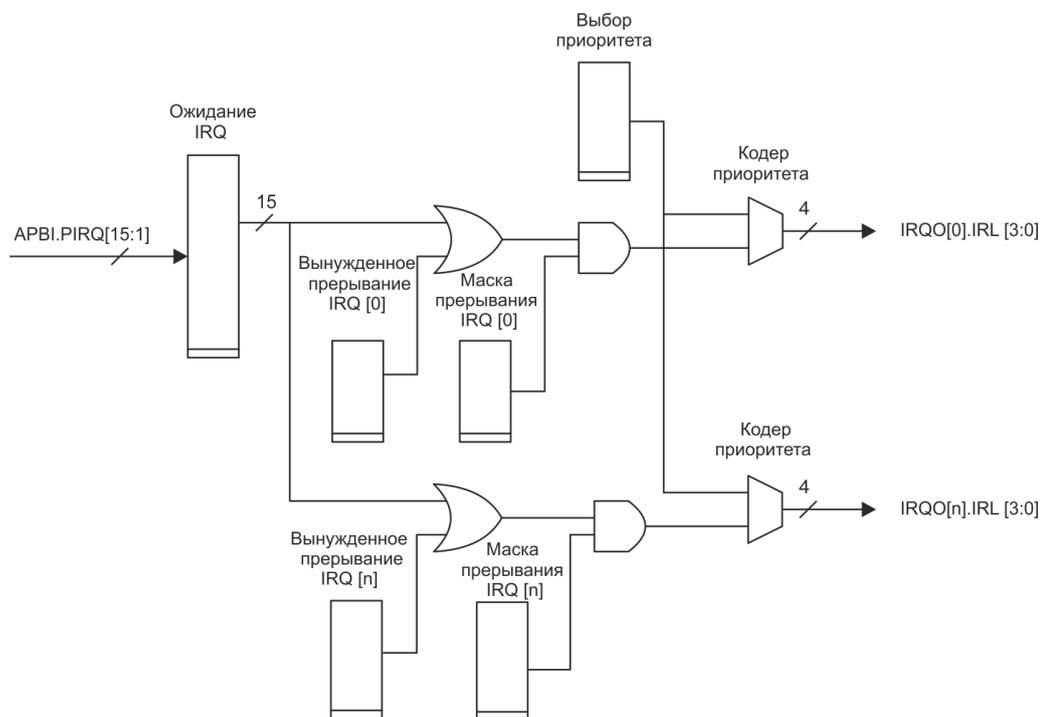


Рисунок 4.8.2 – Блок-схема контроллера прерываний

Когда процессор подтверждает прерывание, соответствующий ожидающий обработки бит автоматически сбрасывается. Прерывание можно вызвать принудительно при установке бита в регистр принуждения прерывания. В этом случае после подтверждения процессором сбрасывается бит принуждения, но не ожидающий обработки бит. После сброса регистр маски прерываний сбрасывается, в то время как значения остальных регистров управления не определены. Следует обратить внимание на то, что прерывание 15 не маскируется процессором LEON и должно использоваться с осторожностью – большинство операционных систем не обрабатывают это прерывание в безопасном режиме.

Расширенные прерывания

Поскольку процессор имеет только 15 уровней прерываний (1 – 15), расширенные прерывания генерируются одним из регулярных прерываний. Для ИС 1906BM016 это прерывание – **номер 9** (см. таблицу 4.8.1).

Если прерывание принимается и подтверждается процессором, биты регулярного (9-го) и расширенного прерывания в регистре ожидающих обработки прерываний автоматически сбрасываются.

Регистр подтверждения приема расширенных прерываний позволяет определить номер подтвержденного расширенного прерывания. Этот регистр может использоваться программным обеспечением для того, чтобы вызвать соответствующий обработчик для расширенных прерываний.

Контроль состояния процессора

Состояние процессора можно контролировать через [регистр статуса процессорной системы](#). Поле STATUS в этом регистре указывает остановку процессора «1» или его работу «0». Остановленный процессор можно сбросить и перезапустить при записи «1» в поле статуса.

4.8.3 Таблица прерываний

В микропроцессоре 1906BM016 используются расширенные прерывания, что приведено в таблице 4.8.1.

Таблица 4.8.1 – Таблица прерываний

Модули	Номер прерывания	Функция
DSU	0	Прерывание модуля отладки
АНВSTAT	1	Ошибка шины АНВ
APBUART_1	2	Прерывания UART1 RX/TX
APBUART_2	3	Прерывания UART2 RX/TX
CAN_MC_1	4	Прерывания интерфейса CAN_1
CAN_MC_2	5	Прерывания интерфейса CAN_2
GRPCI2	6	Прерывания PCI Error и DMA
GPTIMER1_1	7	Прерывание по переполнению Таймера 1_1
GPTIMER1_2 (WATCHDOG)	8	Прерывание по переполнению Таймера 1_2
IRQMP	9	Расширенные прерывания
GRSPW2_1	10	Прерывания SpaceWire1
GRSPW2_2	11	Прерывания SpaceWire2
GRSPW2_3	12	Прерывания SpaceWire3
GRSPW2_4	13	Прерывания SpaceWire4
GRETH	14	Прерывания Ethernet
–	15*	Не зарезервировано ни за одним интерфейсом
GRUSBHC	16	Прерывания расширенного контроллера USB
GRUSBHC	17	Прерывания универсального контроллера USB
GR1553B_1	18	Прерывание MIL-STD-1553 1
GR1553B_2	19	Прерывание MIL-STD-1553 2
GPTIMER2_1	20	Прерывание по переполнению Таймера 2_1
GPTIMER2_2	21	Прерывание по переполнению Таймера 2_2
GPTIMER2_3	22	Прерывание по переполнению Таймера 2_3
GPIO	1–15	Внешние прерывания

* Прерывание 15 является немаскируемым, его следует использовать с осторожностью.

4.8.4 Регистры

Система управляется через регистры, отображенные в адресуемом пространстве АРВ. Количество реализованных регистров зависит от количества процессоров в многопроцессорной системе, см. таблицы 4.8.2 – 4.8.10.

Таблица 4.8.2 – Регистры контроллера прерываний

Адрес смещения АРВ	Регистр
0x00	Регистр уровней прерывания
0x04	Регистр ожидающих обработки прерываний
0x08	Регистр принудительных прерываний (NCPUR = 0)
0x0C	Регистр сброса прерываний
0x10	Регистр статуса процессорной системы

Окончание таблицы 4.8.2

Адрес смещения APB	Регистр
0x14 – 0x3C	Зарезервировано
0x40	Регистр маски прерывания процессора
0x80	Регистр принудительных прерываний (NCPU > 0)
0xC0	Регистр подтверждения приема расширенного прерывания

Регистр уровней прерывания

Таблица 4.8.3 – Регистр уровней прерывания

31	16 15	1 0
Зарезервировано	IL(15:1)	–
0	NR	0
r	rw	r

- 31–16 Зарезервировано
 15–1 Уровень прерывания n (IL(n)) – Уровень прерывания для прерывания n
 0 Зарезервировано

Регистр ожидающих обработки прерываний

Таблица 4.8.4 – Регистр ожидающих обработки прерываний

31	16 15	1 0
EIP(31:16)	IP(15:1)	–
0	0	0
rw	rw	r

- 31–16 Расширенное прерывание n ожидает рассмотрения (EIP(n))
 15–1 Прерывание с порядковым номером n ожидает рассмотрения (IP(n))
 0 Зарезервировано

Регистр принудительных прерываний (NCPU = 0)

Таблица 4.8.5 – Регистр принудительных прерываний (NCPU = 0)

31	16 15	1 0
Зарезервировано	IF(15:1)	–
0	0	0
r	rw	r

- 31–16 Зарезервировано
 15–1 Принудительно установить прерывание n (IF(n))
 0 Зарезервировано

Регистр сброса прерываний

Таблица 4.8.6 – Регистр сброса прерываний

31	16 15	1 0
EIC(31:16)	IC(15:1)	–
0	0	0
wc	wc	r

- 31–16 Сброс расширенного прерывания n (EIC(n))
 15–1 Сброс прерывания n (IC(n)) – Запись «1» в IC(n) сбрасывает прерывание n

0 Зарезервировано

Регистр статуса процессорной системы

Таблица 4.8.7 – Регистр статуса процессорной системы

31	28	27	26	20	19	16	15	0
NCPU		BA		–		EIRQ		STATUS(15:0)
0		0		0		0x9		0
r		r		r		r		rw

- 31–28 Количество CPU (NCPU) – Количество CPU в системе «минус» 1.
 27 Доступно транслирование (BA) – Установлено, если NCPU > 0
 26–20 Зарезервировано
 19–16 Расширенный запрос на прерывание (EIRQ) – Номер прерывания (1–15), используемый для расширенных прерываний (в соответствии с данными таблицы 4.8.1).
 15–0 Статус пониженного потребления энергии CPU(n) (STATUS(n)) – «1» = пониженное потребление энергии, «0» = рабочий режим. Запись «1» в STATUS(n) запускает процессор n

Регистр маски прерывания процессора

Таблица 4.8.8 – Регистр маски прерывания процессора

31	16	15	1	0
EIM(31:16)			IM(15:1)	
0			0	
rw			r	

- 31–16 Расширенная маска прерываний.
 15–1 Маска прерывания n (IM(n)) – Если IM(n) = «0», прерывание n маскируется, в противном случае разрешено.
 0 Зарезервировано.

Регистр принудительных прерываний (NCPU > 0)

Таблица 4.8.9 – Регистр принудительных прерываний (NCPU > 0)

31	17	16	15	1	0
IFC(15:1)			–	IF(15:1)	
0			0	0	
wc			r	rw	

- 31–17 Принудительно сбросить прерывание n (IF(n)).
 16 Зарезервировано.
 15–1 Принудительно установить прерывание n (IF(n)).
 0 Зарезервировано.

Регистр подтверждения приема расширенного прерывания

Таблица 4.8.10 – Регистр подтверждения приема расширенного прерывания

31	5	4	0
Зарезервировано		EID[4:0]	
0		0	
r		r	

31–5
4–0

Зарезервировано.

Номер последнего принятого расширенного прерывания (16–31). Если данное поле имеет нулевое значение, то прерывание 9 (IRQMP) возникло не в результате срабатывания расширенного прерывания. Если прерывание 9 установлено принудительно, то данный регистр будет оставаться сброшенным до тех пор, пока одно или более из расширенных прерываний не установится в регистре ожидающих рассмотрения прерываний.

4.9 Отладочный модуль LEON4

4.9.1 Общие сведения

Для упрощения отладки целевого аппаратного оборудования процессор LEON4 реализует режим отладки, во время которого конвейер неактивен и управление процессором осуществляется через специальный интерфейс отладки. Отладочное устройство (блок DSU4) LEON4 используется для управления процессором в режиме отладки. DSU работает как подчиненное устройство АНВ, причем доступ к нему можно получить через любое ведущее устройство АНВ. Поэтому, через внешний узел отладки можно получить доступ к DSU посредством нескольких различных интерфейсов, что видно из рисунка 4.9.1. Таким интерфейсом может быть UART (RS232), JTAG или Ethernet.

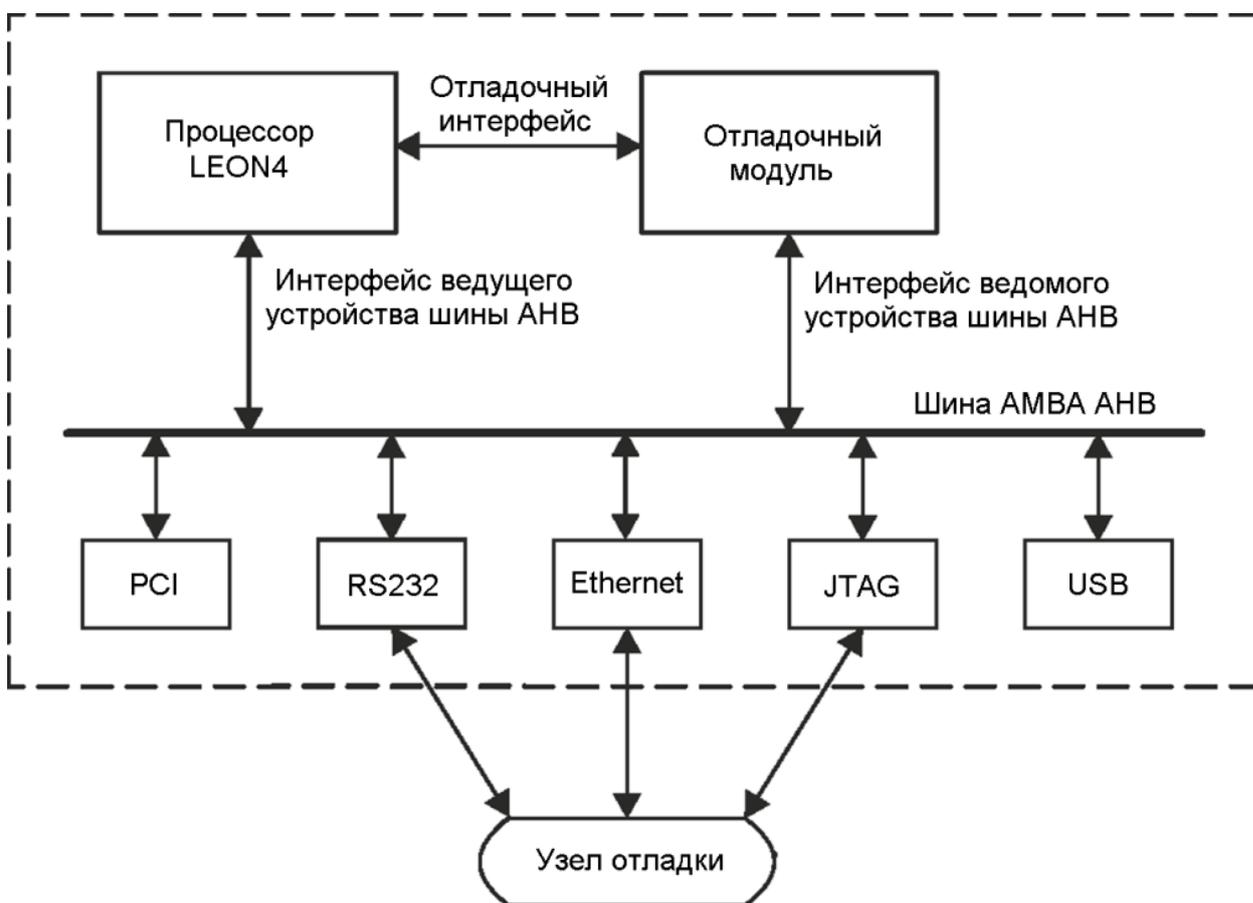


Рисунок 4.9.1 – Соединение LEON4/DSU

4.9.2 Принцип работы

Через интерфейс ведомого устройства АНВ DSU любое ведущее устройство АНВ может получить доступ к регистрам процессора и содержанию буфера трассировки команды. Доступ к регистрам команд DSU можно получить в любое время, в то время как доступ к регистрам процессора, кэшу и буферу трассировки можно получить, только если процессор находится в режиме отладки. В режиме отладки работа конвейера процессора приостанавливается, и доступ к статусу процессора можно получить через DSU. Вход в режим отладки может осуществляться при возникновении следующих событий:

- выполнение команды прерывания (ta 1);
- срабатывание аппаратной точки останова/контрольной точки данных (системное прерывание 0xb);
- прохождение переднего фронта внешнего сигнала прерывания (DSUBRE);
- установка бита немедленного прерывания (BN) в [регистре прерывания и пошагового режима DSU](#);
- системное прерывание, которое вводит процессор в режим ошибки;
- возникновение любого или одного из заданных в [регистре управления DSU](#) прерываний;
- выполнение инструкции в пошаговом режиме;
- срабатывание точки останова или контрольной точки данных АНВ DSU.

Вход в режим отладки возможен, только если установлен внешний сигнал разрешения отладочного режима (DSUEN).

Чтобы прерывание DSU и бит немедленного прерывания (BN) возымели эффект, в [регистре управления DSU](#) должен быть установлен бит остановки в контрольной точке блока целочисленной арифметики (BW). Этот бит устанавливается, когда сигнал DSUBRE активен после сброса, а также должен быть установлен отладочным программным обеспечением во время инициализации DSU. В режиме отладки выполняются следующие действия:

- сохраняются во временных регистрах PC и nPC (доступны через отладочное устройство);
- устанавливается выходной сигнал (DSUACT) для индикации статуса отладки;
- (опционально) останавливаются модули таймеров, фиксируя значения таймеров LEON и сторожевого таймера.

Инструкция, которая привела к вводу процессора в режим отладки, не выполняется и статус процессора остается неизменным. Выполнение возобновляется при сбросе бита BN в регистре прерывания и пошагового режима DSU или при сбросе внешнего сигнала DSUEN. Блок таймера повторно разрешен, при этом продолжается выполнение операции с сохранённых значений PC и nPC. В режим отладки можно также войти после входа процессора в режим ошибок, например, если приложение завершило свою работу и остановило работу процессора. Режим ошибки можно сбросить, а процессор перезапустить с любого адреса.

Когда процессор находится в режиме отладки, доступ к области диагностики ASI передается в IU, предоставляется доступ к пространству с идентификатором ASI, определенным в [регистре ASI DSU](#) (см. подпункт «4.9.6»), в качестве адреса используется 20 младших битов исходного адреса.

4.9.3 Буфер трассировки АНВ

Буфер трассировки АНВ состоит из кольцевого буфера, в котором хранится информация о передаче данных АНВ. Адрес, данные и разные управляющие сигналы шины АНВ сохраняются, и могут быть считаны при последующем анализе. Объем буфера

трассировки АНВ – 4 Кбайт. Одна запись буфера трассировки инструкций занимает 160 бит. Сохраняемая информация приводится в таблице 4.9.1.

Таблица 4.9.1 – Размещение данных в буфере трассировки АНВ

Биты	Имя	Определение
159 – 128	Загруженные/сохраненные данные	HRDATA/HWDATA(63:32) АНВ
127	Срабатывание точки останова АНВ	Бит установлен, если сработала точка останова АНВ DSU
126	–	Не используется
125 – 96	Метка времени	Значение счетчика меток времени DSU
95	–	Не используется
94 – 80	Hirq	HIRQ (15 – 1) шины АНВ
79	Hwrite	HWRITE шины АНВ
78, 77	Htrans	HTRANS шины АНВ
76 – 74	Hsize	HSIZE шины АНВ
73 – 71	Hburst	HBURST шины АНВ
70 – 67	Hmaster	HMASTER шины АНВ
66	Hmastlock	HMASTLOCK шины АНВ
65 – 64	Hresp	HRESP шины АНВ
63 – 32	Загруженные/сохраненные данные	HRDATA/HWDATA (31 – 0) шины АНВ
31 – 0	Адрес загрузки/сохранения	HADDR шины АНВ

В дополнение к сигналам АНВ в буфере трассировки сохраняются показания счетчика меток времени DSU.

Для разрешения буфера трассировки необходимо установить бит разрешения (EN) в регистре управления трассировкой. Каждая передача АНВ сохраняется в буфере кольцевым способом. Адрес, за которым закрепляется следующая передача, сохраняется в регистре индексов буфера трассировки и автоматически инкрементируется после каждой передачи. Трассировка останавливается при сбросе бита EN или при срабатывании точки останова АНВ. Если процессор входит в режим отладки, трассировка временно приостанавливается при условии, что в [регистре управления буфером трассировки АНВ](#) не установлен бит принудительной трассировки (TF). Если бит принудительной трассировки установлен, буфер трассировки разрешен при условии, что установлен бит разрешения. Бит TF сбрасывается при срабатывании точки останова АНВ, а также может быть сброшен программным способом. Следует обратить внимание на то, что ни буферную память, ни регистр нельзя прочитать (записать) программным способом, когда буфер трассировки разрешен (см. ниже).

В DSU имеется внутренний счетчик меток времени, который фиксирует своё значение при входе процессора в режим отладки. Если трассировка АНВ выполняется в режиме отладки (с использованием бита принудительной трассировки), может оказаться желательным также включить счетчик меток времени. Это можно сделать с помощью бита разрешения таймера (TE). Следует обратить внимание на то, что метка времени также используется для буфера трассировки инструкций. Бит разрешения таймера должен быть установлен только при использовании DSU как буфера трассировки АНВ, но не при обработке или отладке программного обеспечения. Бит разрешения таймера сбрасывается в тех же случаях, что и бит принудительной трассировки.

4.9.4 Буфер трассировки инструкций

Буфер трассировки инструкций состоит из кольцевого буфера, в котором сохраняются выполняемые инструкции. Буфер трассировки инструкций находится в

процессоре и считывается через DSU. Объем буфера трассировки инструкций 1 Кбайт. Одна запись буфера трассировки инструкций занимает 128 бит (16 байт). Сохраняемая информация приводится в таблице 4.9.2.

Таблица 4.9.2 – Размещение данных в буфере трассировки инструкций

Биты	Имя	Определение
126	Многотактная инструкция	Устанавливается на втором этапе многотактной инструкции
125 – 96	Метка времени	Значение счетчика метки времени DSU
95 – 64	Полученный или сохраненный адрес/данные	Результат инструкции, сохраненный адрес или сохраненные данные
63 – 34	Счетчик команд	Программный счетчик (2 самых младших бита удаляются, поскольку они всегда сброшены)
33	Системное прерывание инструкции	Установлено при системном прерывании трассируемой инструкции
32	Режим ошибки процессора	Установлено, если трассируемая инструкция привела к входу в режим ошибки процессора
31 – 0	Код операции (Opcode)	Код операции инструкции

Во время трассировки в буфере трассировки сохраняется одна инструкция на строку за исключением атомарных инструкций загрузки/сохранения, которые занимают две записи (одна для операции загрузки и одна для операции сохранения). Биты (95 – 64) в буфере соответствуют сохраненному адресу и загруженным данным для инструкций загрузки. Бит 126 устанавливается при второй записи.

Когда процессор входит в режим отладки, трассировка приостанавливается. Буфер трассировки и [регистр управления буфером трассировки АНВ](#) можно прочесть и в него можно записать, пока процессор находится в режиме отладки. Во время трассировки инструкций (процессор в нормальном режиме) доступ к буферу трассировки и регистру управления буфером трассировки отсутствует. Инструкции трассировки можно дополнительно отфильтровать по типам инструкций. Инструкции, подлежащие трассировке, определены в [регистре управления трассировкой инструкций](#) (31 – 28) и представлены в таблице 4.9.3.

Таблица 4.9.3 – Работа фильтра трассировки

Фильтр трассировки	Трассируемые инструкции
0x0	Все инструкции
0x1	Инструкции формата SPARC 2
0x2	Изменения потока управления. Все инструкции вызова процедуры, передачи и системные прерывания, включая цели передачи
0x4	Инструкции формата SPARC 1 (CALL)
0x8	Инструкции формата SPARC 3 кроме LOAD или STORE
0xC	Инструкции LOAD или STORE формата SPARC 3

4.9.5 Карта памяти DSU

Карта памяти DSU представлена в таблице 4.9.4.

Таблица 4.9.4 – Карта памяти DSU

Смещение адреса	Регистр
0x000000	Регистр управления DSU
0x000008	Счетчик метки времени буферов трассировки
0x000020	Регистр прерывания и пошагового режима DSU
0x000024	Регистр маски режима отладки (функционал актуален только для мультипроцессорных систем)
0x000040	Регистр управления буфером трассировки АНВ
0x000044	Регистр индекса буфера трассировки АНВ
0x000048	Регистр управления фильтром буфера трассировки АНВ (функционал не поддерживается)
0x00004C	Регистр маски фильтра буфера трассировки АНВ (функционал не поддерживается)
0x000050	Регистр адреса точки останова АНВ 1
0x000054	Регистр маски точки останова АНВ 1
0x000058	Регистр адреса точки останова АНВ 2
0x00005C	Регистр маски точки останова АНВ 2
0x000070	Регистр счетчика инструкций
0x000080	Регистр управления контрольными точками АНВ
0x000090 – 0x00009C	Регистры данных контрольной точки 1 АНВ
0x0000A0 – 0x0000AC	Регистры масок контрольной точки 1 АНВ
0x0000B0 – 0x0000BC	Регистры данных контрольной точки 2 АНВ
0x0000E0 – 0x0000EC	Регистры масок контрольной точки 2 АНВ
0x100000 – 0x10FFFC	Буфер трассировки инструкций (...0000 ₂ : Биты трассировки 127 – 96, ...0100 ₂ : Биты трассировки 95 – 64, ...1000 ₂ : Биты трассировки 63 – 32, ...1100 ₂ : Биты трассировки 31 – 0)
0x110000	Регистр управления трассировкой инструкций 0
0x110004	Регистр управления трассировкой инструкций 1
0x200000 – 0x20FFFC	Буфер трассировки шины АНВ (...00000 ₂ : Биты трассировки 127 – 96, ...00100 ₂ : Биты трассировки 95 – 64, ...01000 ₂ : Биты трассировки 63 – 32, ...01100 ₂ : Биты трассировки 31 – 0, ...10000 ₂ : Биты трассировки 159 – 128)
0x300000 – 0x3007FC	Регистровый файл блока целочисленной арифметики. NWINDOWS = 8 %on: 0x300000 + (((psr.cwp × 64) + 32 + n×4) mod 512) %ln: 0x300000 + (((psr.cwp × 64) + 64 + n×4) mod 512) %in: 0x300000 + (((psr.cwp × 64) + 96 + n×4) mod 512) %gn: 0x300200 + n×4 %fn: 0x301000 + n×4
0x300800 – 0x300FFC	–
0x301000 – 0x30107C	Регистровый файл FPU
0x400000	Регистр Y
0x400004	Регистр PSR
0x400008	Регистр WIM
0x40000C	Регистр TBR
0x400010	Регистр PC
0x400014	Регистр NPC

Окончание таблицы 4.9.4

Смещение адреса	Регистр
0x400018	Регистр FSR
0x40001C	Регистр CPSR
0x400020	Регистр системного прерывания DSU
0x400024	Регистр ASI DSU
0x400040 – 0x40007C	ASR16 – ASR31 (если реализовано)
0x700000 – 0x7FFFFC	Доступ для диагностического контроля ASI (ASI = значение в регистре ASI DSU, адрес = адрес[19:0]) ASI = 0x09: Локализованная инструкция ОЗУ ASI = 0x0B: Локализованные данные ОЗУ ASI = 0x0C: Метки кэшируемых инструкций ASI = 0x0D: Данные кэшируемых инструкций ASI = 0x0E: Метки кэшируемых данных ASI = 0x0F: Данные кэшируемых данных ASI = 0x1E: Раздельные метки отслеживания (snoop tags)

4.9.6 Регистры DSU

Регистр управления DSU

Управление DSU осуществляется через регистр управления DSU, что видно из таблицы 4.9.5.

Таблица 4.9.5 – Регистр управления DSU

31		12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
	–	PW	HL	PE	EB	EE	DM	BZ	BX	BS	BW	BE	TE	
	0	0	0	0	*	*	*	0	0	0	0	0	0	0
	r	r	rw	uc	r	r	r	rw						

- 31 – 12 Зарезервировано.
- 11 Power down (PW) – Устанавливается, если процессор находится в режиме пониженного потребления энергии.
- 10 Остановка процессора (HL) – При считывании данный бит будет установлен, если остановлена работа процессора (приостановлена работа таймеров и сторожевого таймера). Если процессор находится в режиме отладки, то при установке этого бита процессор входит в режим остановки.
- 9 Режим ошибки процессора (PE) – Устанавливается, если процессор находится в режиме ошибки; в противном случае сброшен. При записи «1» в данное поле, сбрасывается режим ошибки и остановки.
- 8 Внешнее прерывание (EB) – Значение внешнего сигнала DSUBRE (только для чтения).
- 7 Внешнее разрешение (EE) – Значение внешнего сигнала DSUEN (только для чтения).
- 6 Режим отладки (DM) – Указывает, когда процессор вошел в режим отладки (только для чтения).
- 5 Остановка в случае системного прерывания ошибки (BZ) – Если бит установлен, процессор входит в режим отладки по всем системным прерываниям, кроме: privileged_instruction, fp_disabled, window_overflow, window_underflow, asynchronous_interrupt, ticc_trap.

- 4 Остановка в случае системного прерывания (BX) – Если бит установлен, процессор входит в режим отладки при возникновении системного прерывания.
- 3 Остановка в программных точках останова (BS) – Если бит установлен, режим отладки принудительно разрешается при выполнении инструкции точки останова (ta 1).
- 2 Остановка в контрольной точке блока целочисленной арифметики (BW) – Если бит установлен, режим отладки принудительно разрешается в контрольной точке данных блока целочисленной арифметики (системное прерывание 0xb).
- 1 Остановка при ошибке (BE) – Если бит установлен, процессор принудительно входит в режим отладки, так же, как в случае нахождения процессора в состоянии ошибки (вложенное системное прерывание).
- 0 Разрешение трассировки (TE) – Трассировка инструкций разрешена. Если бит установлен, инструкции сохраняются в буфере трассировки. Остается установленным, когда процессор входит в режим отладки или ошибок.

Регистр прерывания и пошагового режима DSU

Этот регистр используется для осуществления прерывания или пошагового выполнения инструкций процессором, как показано в таблице 4.9.6.

Таблица 4.9.6 – Регистр прерывания и пошагового режима DSU

31		17	16	15		1	0
	–		SS		–		BN
	0		0		0		0
	r		rw		r		rw

- 31 – 17 Зарезервировано.
- 16 Пошаговый режим (SS) – Если поле установлено, процессор выполняет одну инструкцию и возвращается в режим отладки. Поле остается установленным после входа процессора в режим отладки.
- 15 – 1 Зарезервировано.
- 0 Немедленное прерывание (BN) – Принудительно вводит процессор в режим отладки, если в регистр управления DSU процессора установлен бит прерывания в контрольной точке (BW). При сбросе процессор возобновляет выполнение операции.

Регистр системного прерывания DSU

Регистр системного прерывания DSU предназначен только для чтения и указывает тип системного прерывания SPARC, что показано в таблице 4.9.7, которое принудительно вводит процессор в режим отладки. При принудительном вводе в режим отладки при установке бита BN в [регистре управления DSU](#) тип системного прерывания – 0xb (аппаратное прерывание контрольной точки).

Таблица 4.9.7 – Регистр системного прерывания DSU

31		13	12	11		4	3	0
	–		EM		TRAPTYPE		–	
	0		NR		NR		0	
	r		r		r		r	

31 – 13	Зарезервировано.
12	Режим ошибки (EM) – Устанавливается, если системное прерывание вызвало вход процессора в режим ошибки.
11 – 4	Тип системного прерывания (TRAPTYPE) – 8-битовый тип системного прерывания SPARC.
3 – 0	Зарезервировано.

Счетчик метки времени буферов трассировки

Счетчик метки времени буферов трассировки инкрементируется на каждом такте, пока работает процессор. Счетчик останавливается, когда процессор входит в режим отладки (если не установлен бит разрешения таймера [регистра управления буфером трассировки АНВ](#)), и перезапускается при возобновлении выполнения операции. Данный регистр представлен в таблице [4.9.8](#).

Таблица 4.9.8 – Счетчик метки времени буферов трассировки

31	30 29		0
–	TIMETAG		
0	0		
r	rw		

31, 30	Зарезервировано.
29 – 0	Значение метки времени DSU.

Значение используется как метка времени в буфере трассировки АНВ и буфере трассировки инструкции.

Регистр ASI DSU

DSU может обеспечивать доступ для диагностического контроля различных областей ASI (см таблицу [4.9.9](#)). Значение в регистре доступа для диагностического контроля ASI используется как идентификатор ASI при адресации из DSU.

Таблица 4.9.9 – Регистр доступа для диагностического контроля ASI

31		8 7	0
–			ASI
0			NR
r			rw

31 – 8	Зарезервировано.
7 – 0	ASI (ASI) – Идентификатор ASI, используемый для диагностического доступа к области ASI.

Регистр управления буфером трассировки АНВ

Управление буфером трассировки АНВ осуществляется через регистр управления буфером трассировки АНВ, что показано в таблице [4.9.10](#).

Таблица 4.9.10 – Регистр управления буфером трассировки АНВ

31		16 15		8 7	6	5	4	3	2	1	0
DCNT	–		SF	TE	TF	BW	BR	DM	EN		
0	0		0	0	0	0x1	0	0	0		
rw	r		rw	rw	rw	r	rw	rw	rw		

31 – 16	Счетчик для формирования задержки буфера трассировки (DCNT). Следует обратить внимание на то, что количество фактически реализованных битов зависит от размера буфера трассировки.
15 – 8	Зарезервировано.
7	Принудительная выборка (SF) – Если этот бит установлен, он действует на буфер трассировки АНВ так же, как установленный на шине сигнал HREADY во время последовательной или непоследовательной передачи. Это означает, что при установке этого бита значения в регистре тестирования буфера трассировки записываются в буфер трассировки, и в регистрах тестируются новые значения. Этот бит автоматически сбрасывается после одного цикла тактовой частоты. Для записи в буфер трассировки также требуется, чтобы он был разрешен (бит EN установлен) и чтобы CPU не находился в режиме отладки или чтобы велась принудительная трассировка (бит TF установлен). Данная функциональная возможность представляет интерес, прежде всего тогда, когда буфер трассировки трассирует отдельную шину и её состояние зафиксировано.
6	Разрешение таймера (TE) – Счетчик меток времени разрешен, в том числе и в режиме отладки.
5	Принудительная трассировка (TF) – Буфер трассировки разрешен, в том числе и в режиме отладки. Следует обратить внимание на то, что буфер трассировки должен быть отключен при считывании данных буфера трассировки через интерфейс регистра ядра.
4, 3	Ширина шины (BW) – Значение соответствует $\log_2(\langle \text{Ширина шины} \rangle / 32)$. Аппаратно запрограммированное значение – 0x1 (64-битная шина).
2	Остановка (BR) – Если установлено, процессор входит в режим отладки при остановке буфера трассировки АНВ ввиду срабатывания точки останова на шине АНВ.
1	Режим счетчика задержки (DM) – Указывает, что буфер трассировки находится в режиме счетчика для формирования задержки (более подробное описание приведено в пункте « Регистры точек останова буфера трассировки АНВ »).
0	Разрешение трассировки (EN) – Буфер трассировки шины АНВ разрешен.

Регистр индекса буфера трассировки АНВ

Регистр индекса содержит адрес следующей строки буфера трассировки, в которую будет сделана запись, что показано в таблице 4.9.11.

Таблица 4.9.11 – Регистр индексирования буфера трассировки АНВ

31	4 3	0
INDEX		–
NR		0
rw		r

31 – 4	Счетчик индексов буфера трассировки (INDEX) – Следует обратить внимание на то, что количество фактически реализованных битов зависит от размера буфера трассировки АНВ.
3 – 0	Зарезервировано.

Регистры точек останова буфера трассировки АНВ

DSU содержит два регистра точек останова для сопоставления адресам на шине АНВ, что проиллюстрировано в таблицах 4.9.12 и 4.9.13. Точка останова используется для фиксации состояния буфера трассировки с помощью автоматического сброса бита разрешения. Остановка может быть задержана путём записи ненулевого значения в поле DCNT регистра управления трассировкой инструкций. В этом случае значение DCNT будет уменьшаться для каждой дополнительной трассировки, пока не окажется нулевым, после чего произойдет фиксация состояния буфера трассировки. Регистр масок взаимодействует с каждой точкой останова, обеспечивая возможность генерирования прерывания при соответствии блоку адресов. Для детектирования срабатывания точки останова сравниваются только те биты адресов, для которых установлен соответствующий бит маски. Для генерации прерывания при попытке осуществления загрузки или сохранения данных по шине АНВ необходимо установить биты LD и/или ST.

Таблица 4.9.12 – Регистр адреса прерывания буфера трассировки АНВ

31		2	1	0
BADDR[31 – 2]			–	
NR			0	
rw			r	

31 – 2 Адрес точки останова (BADDR).
1, 0 Зарезервировано.

Таблица 4.9.13 – Регистр маски прерывания буфера трассировки АНВ

31		2	1	0
BMASK[31 – 2]			LD	ST
NR			0	0
rw			rw	rw

31 – 2 Маска точки останова (BMASK).
1 Загрузка (LD) – Прерывание на адресе при загрузке данных.
0 Сохранение (ST) – Прерывание на адресе при сохранении данных.

Регистр управления трассировкой инструкций 0

Регистр управления трассировкой инструкций 0 содержит указатель на следующую запись буфера трассировки инструкций, в которую будет сохранена отладочная информация. Структура данного регистра представлена в таблице 4.9.14.

Таблица 4.9.14 – Регистр управления трассировкой инструкций 0

31	28	27	16	15	0
TFILT	–		ITPOINTER		
0	0		0		
rw	r		rw		

31 – 28 Конфигурация фильтрации трассировки (TFILT)
27 – 16 Зарезервировано
15 – 0 Указатель на трассируемую инструкцию (ITPOINTER) – Следует обратить внимание на то, что количество фактически реализованных битов зависит от размера буфера трассировки

Регистр управления трассировкой инструкций 1

Регистр управления трассировкой инструкций 1 содержит конфигурационную информацию, которая может быть использована для контроля за переполнением буфера трассировки. Регистр можно перезаписывать в процессе функционирования процессора. Его структура представлена в таблице 4.9.15.

Таблица 4.9.15 – Регистр управления трассировкой инструкций 1

31	28	27	26	24	23	22	0
–	WO	TLIM	TOV				–
0	0	0	0				0
r	rw	rw	rw				r

- 31 – 28 Зарезервировано
- 27 Контрольная точка при переполнении (WO) – Если данный бит установлен и остановка в контрольной точке блока целочисленной арифметики (BW) разрешена в [регистре управления DSU](#), то контрольная точка будет выставлена, когда будет обнаружено переполнение буфера трассировки (бит TOV данного регистра установится)
- 26 – 24 Граница трассировки (TLIM) – TLIM сравнивается со старшими битами ITPOINTER [регистра управления трассировкой инструкций 0](#) для генерации значения бита TOV, приведенного ниже
- 23 Переполнение при трассировке (TOV) – Бит устанавливается, когда DSU обнаруживает, что значение поля TLIM равно трем старшим битам ITPOINTER
- 22 – 0 Зарезервировано

Регистр счетчика инструкций

DSU содержит регистр счетчика инструкций, позволяющий осуществлять профилирование приложений или генерирование режима отладки после определенного количества тактов или инструкций. Регистр счетчика инструкций представлен в таблице 4.9.16. Регистр счетчика инструкций состоит из 29-разрядного вычитающего счетчика, значение которого уменьшается на каждом такте (IC=0) или после каждой выполненной инструкции (IC=1). В режиме профилирования (PE=1) после обратного переполнения все разряды счетчика устанавливаются, генерации прерывания процессора не происходит. В этом режиме счетчик может периодически опрашиваться в определенном порядке, при этом в отношении CPI (количество тактов на одну инструкцию) формируется статистика. При отключенном профилировании (PE=0) процессор входит в режим отладки после обратного переполнения счетчика. Это позволяет отладчику выполнять определенное количество инструкций или работать заданное число тактов.

Таблица 4.9.16 – Регистр счетчика инструкций

31	30	29	28	0
CE	IC	PE	ICOUNT[28 – 0]	
0	0	0	NR	
rw	rw	rw	rw	

- 31 Разрешение счетчика (CE).
- 30 Счет инструкций (IC) – счет инструкций (1) или тактов (0).
- 29 Разрешение профилирования (PE).
- 28 – 0 Счетчик инструкции (ICOUNT).

Регистр управления контрольными точками АНВ

DSU содержит две контрольные точки данных АНВ, которые могут использоваться для фиксации состояния буфера трассировки АНВ или перевода процессора в режим отладки в случае возникновения определенных данных на шине АМВА. Регистр управления контрольными точками АНВ представлен в таблице 4.9.17. Эти контрольные точки данных могут быть сдвоены с двумя точками останова АНВ для того, чтобы не происходило срабатывание контрольной точки данных, пока не сработала точка останова АНВ. Это также означает, что если контрольная точка данных сдвоена с точкой останова АНВ, точка останова не фиксирует состояние буфера трассировки АНВ или не вводит процессор в режим отладки, если вместе с точкой останова не сработала контрольная точка данных.

Таблица 4.9.17 – Регистр управления контрольной точкой АНВ

31		7	6	5	4	3	2	1	0
	–	IN	CP	EN	–	IN	CP	EN	
	0	0	0	0	0	0	0	0	
	r	rw	rw	rw	r	rw	rw	rw	

- 31 – 7 Зарезервировано.
- 6 Инвертирование (IN) – Инвертирование контрольной точки АНВ 2. При установленном бите контрольная точка срабатывает, если данные по шине АНВ не соответствуют определенному образцу данных (обычно используется только, если контрольная точка связана с адресом при установке поля CP).
- 5 Связывание (CP) – Связывание контрольной точки АНВ 2 с точкой останова АНВ 1.
- 4 Разрешение (EN) – Разрешение контрольной точки АНВ 2.
- 3 Зарезервировано.
- 2 Инвертирование (IN) – Инвертирование контрольной точки АНВ 1. При установленном бите контрольная точка срабатывает, если данные по шине АНВ не соответствуют определенному образцу данных (обычно используется если контрольная точка связана с адресом при установке поля CP).
- 1 Связывание (CP) – Связывание контрольной точки АНВ 1 с точкой останова АНВ 1.
- 0 Разрешение (EN) – Разрешение контрольной точки АНВ 1.

Регистры данных и масок контрольных точек АНВ

Регистры контрольных точек данных и масок АНВ определяют шаблон данных для контрольных точек АНВ (таблицы 4.9.18 и 4.9.19). Контрольная точка данных используется для фиксации состояния буфера трассировки при помощи автоматического сброса бита разрешения. Контрольная точка данных может также использоваться для перевода процессора в режим отладки.

Каждый регистр маски ассоциирован со своим регистром данных. В процессе сравнения участвуют только те биты данных, для которых установлен соответствующий бит маски.

Таблица 4.9.18 – Регистр данных контрольной точки АНВ

31	0
DATA[127-n×32 – 96-n×32]	
NR	
rw	

31–0 Данные контрольной точки АНВ (DATA) – Определяют шаблон данных одного слова для контрольной точки АНВ. Нижняя часть адреса регистра определяет часть шины, с которой сравнивается значение регистра: Смещение 0x0 определяет значение данных для битов шины АНВ 127:96, 0x4 – для битов 95 – 64, 0x8 – для 63 – 32 и смещение 0xC – для битов 31–0.

Таблица 4.9.19 – Регистр масок контрольной точки АНВ

31	0
MASK[127-n×32 – 96-n×32]	
NR	
rw	

31–0 Маска контрольной точки АНВ (MASK) – Определяет шаблон данных одного слова для контрольной точки АНВ. Нижняя часть адреса регистра определяет часть шины, с которой сравнивается значение регистра: Смещение 0x0 определяет значение данных для битов шины АНВ 127:96, 0x4 – для битов 95 – 64, 0x8 – для 63 – 32 и смещение 0xC – для битов 31 – 0.

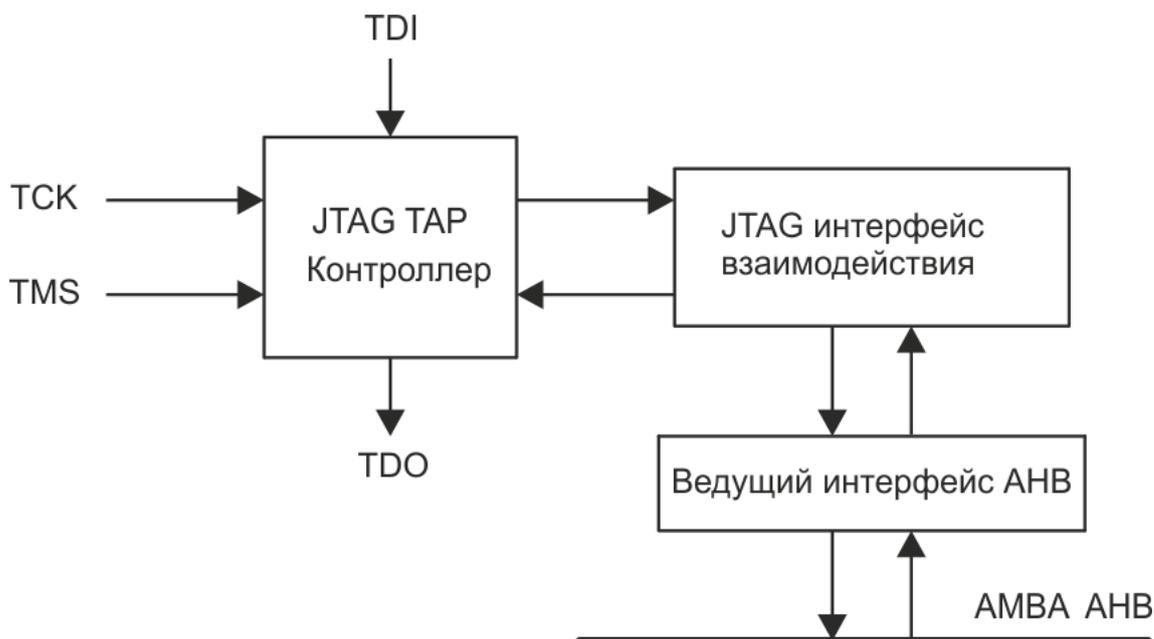
В системе с 64-разрядной шиной записи делаются только в половине регистров данных и масок. Для контрольной точки данных АНВ 1 значение данных размером 64 бита записывается в регистры данных контрольной точки АНВ при смещениях 0x98 и 0x9C. Соответствующие биты масок устанавливаются в регистрах масок при смещениях 0xA8 и 0xAC.

При осуществлении доступа к данным, размер которых меньше полного размера шины, производится дублирование для заполнения всей шины. Например, 32-разрядный доступ для записи процессора LEON на 64-разрядной шине размещает данные в битах шины 64–32 и 31–0.

4.10 Отладочный интерфейс JTAG

4.10.1 Общие сведения

Через интерфейс системы отладки JTAG (АНВJTAG) обеспечивается доступ к шине АМВА АНВ, согласно рисунку 4.10.1. Интерфейс системы отладки JTAG реализует простой протокол, который переводит инструкции JTAG в передачу данных по шине АНВ. Через эту систему можно реализовать чтение и запись по любому адресу на шине АНВ.



Принятые условные обозначения:

- TAP – Test Access Port: порт тестового доступа;
- TDO – Test Data Output: выход тестовых данных;
- TCK – Test Clock: тестовая синхронизация;
- TMS – Test Mode Select: выбор тестового режима;
- TDI – Test Data Input: вход тестовых данных.

Рисунок 4.10.1 – Блок-схема системы отладки JTAG

4.10.2 Принцип работы

Протокол передачи

Система отладки JTAG распознает две инструкции и представлена двумя регистрами: регистром команд/адреса и регистром данных, как показано в таблицах 4.10.1 и 4.10.2. Чтение разрешается подачей команды, состоящей из бита «чтение/запись», данных о размере и адресе АНВ-доступа в командно-адресном регистре. Когда чтение АНВ выполнено, данные готовы к выдаче из регистра данных. Запись разрешается подачей команды, размера и адреса АНВ в командно-адресный регистр и сопровождается записью данных в регистр данных. Последовательная передача выполняется подачей команды и адреса для передачи стартового адреса и подачей бита «SEQ» в регистр данных для последующего доступа. Бит «SEQ» будет инкрементировать АНВ адрес для последующего доступа. Последовательные передачи не должны превышать границу в 1 Кбайт. Последовательные передачи всегда выполняются пословно.

Таблица 4.10.1 – Регистр команд/адреса системы отладки JTAG

34	33	32	31	0
W	РАЗМЕР	АДРЕС АНВ		

34	Запись (W): «0» – чтение, «1» – запись			
33, 32	Размер передачи АНВ: «00» – байт, «01» – полуслово, «10» – слово, «11» – зарезервировано			
31 – 0	Адрес АНВ – Адрес на шине АНВ			

Таблица 4.10.2 – Регистр данных системы отладки JTAG

32	31	0
SEQ	ДАнные АНВ	

- 32 Последовательная передача (SEQ) – Если «1» записывается в эту битовую позицию, когда данные чтения выдаются из регистра данных или данные записи подаются в регистр данных, то последующая передача будет выполнена для адреса следующего слова. При считывании этот разряд будет установлен, если доступ АНВ завершен, и сброшен – если доступ АНВ не завершен
- 31 – 0 Данные АНВ – данные чтения/записи АНВ. Для передачи байта и полуслова упорядочивание данных происходит в порядке следования «сначала старший байт», при этом данные с адресом смещения 0 помещаются в старшие биты

Ядро сигнализирует о завершении доступа АНВ, устанавливая разряд 32 в регистре данных. Отладчик может просмотреть разряд 32 из полученных данных для определения успешности доступа. Если разряд 32 установлен, доступ завершен и данные достоверны. Если разряд 32 сброшен, доступ АНВ не завершен, когда отладчик начинает считывать данные. В этом случае отладчик может повторять чтение регистра данных, пока разряд 32 не будет установлен, сигнализируя, что данные достоверны и что доступ АНВ завершен.

Следует отметить, что пока разряд 32 читается как «0», новые данные не подаются в регистр данных. Поэтому, чтобы увидеть завершилась ли предыдущая команда, отладчик должен проверить разряд 32 при подаче данных для последовательного доступа АНВ. Если разряд 32 сброшен, данные чтения не достоверны и только что загруженная команда сбрасывается ядром.

4.10.3 Тактовая синхронизация

Временная диаграмма и параметры синхронизации показаны на рисунке 4.10.2 и в таблице 4.10.3.

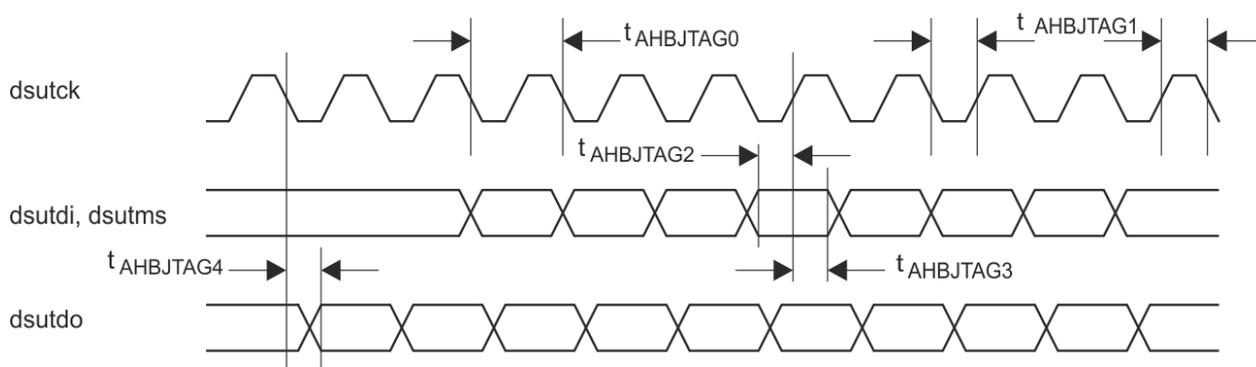


Рисунок 4.10.2 – Временная диаграмма

Таблица 4.10.3 – Параметры тактовой синхронизации

Имя	Параметр	Опорный фронт	Минимум	Максимум	Единица измерения
$t_{АНВJTAG0}$	Тактовый период	–	100	–	нс
$t_{АНВJTAG1}$	Длительность высокого/низкого состояния тактового сигнала	–	40	–	нс
$t_{АНВJTAG2}$	Предустановка данных	Передний фронт dsutck	15	–	нс
$t_{АНВJTAG3}$	Удержание данных	Передний фронт dsutck	0	–	нс
$t_{АНВJTAG4}$	Задержка выдачи данных	Задний фронт dsutck	–	25	нс

4.10.4 Контроллер TAP JTAG

Контроллер TAP JTAG, представленный на рисунке Рисунок 4.10.3, обеспечивает порт доступа к средствам тестирования согласно стандарту IEEE-1149 (JTAG). Система реализует сигналы порта доступа к средствам тестирования, синхронную машину конечных состояний TAP, несколько регистров данных JTAG и интерфейс к регистрам данных JTAG, определяемых пользователем.

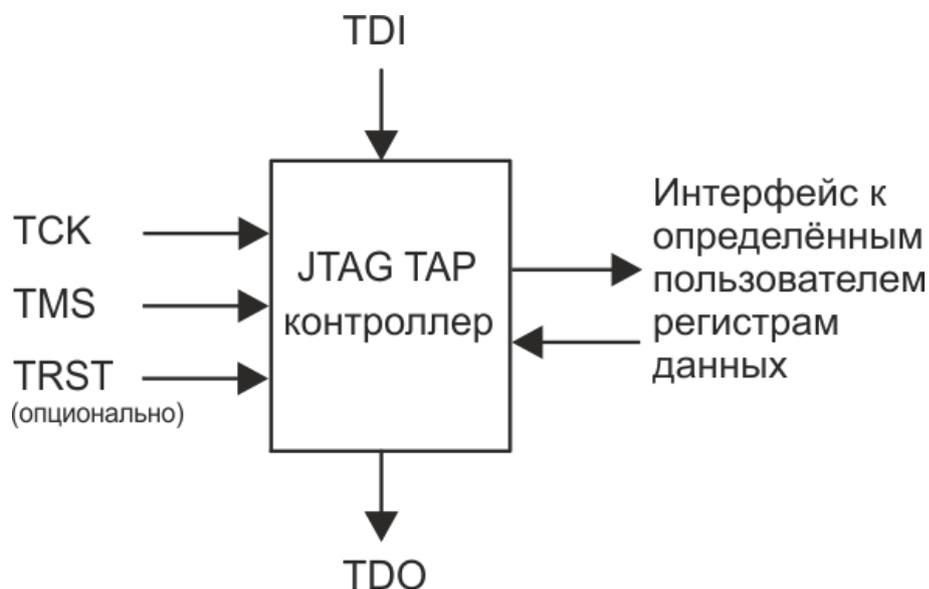


Рисунок 4.10.3 – Блок-схема контроллера TAP

Контроллер TAP реализует интерфейс порта доступа к средствам тестирования JTAG с сигналами TCK, TMS, TDI и TDO, синхронную машину конечных состояний, соответствующую стандарту IEEE-1149, регистр инструкций JTAG и два регистра данных JTAG: регистр обхода и регистр идентификационного кода устройства. Устройство обеспечивает сдвиг и обновление регистра инструкций JTAG, перевод JTAG в режим обхода (инструкция BYPASS) и выдачу идентификационного номера (инструкция IDCODE). Доступ к определяемым пользователем тестовым регистрам JTAG осуществляется через интерфейс регистра данных, определяемых пользователем.

Доступ к определяемым пользователем тестовым регистрам данных осуществляется через интерфейс регистра данных, определяемых пользователем. В регистр инструкций контроллера TAP загружается инструкция, в регистр данных подаются данные и устанавливаются сигналы, указывающие, что контроллер TAP находится в регистре сбора данных, сдвиге регистра данных или регистре обновления данных. Логика, управляющая регистрами данных, определяемых пользователем, отображает значение в регистре инструкций и сигналы статуса контроллера TAP для сбора данных, сдвига данных или обновления данных в регистрах.

4.10.5 Регистры TAP контроллера

Реализуется три регистра: регистр инструкций, регистр обхода и регистр идентификационного кода устройства.

4.11 Отладочный интерфейс UART

4.11.1 Общие сведения

Отладочный интерфейс UART (AHBUART) – интерфейс универсального асинхронного приемопередатчика (UART), подключенный к шине АНВ AMBA в качестве ведущего устройства. Простой протокол взаимодействия обеспечивает доступ к параметрам и данным. Через линию связи может быть сгенерировано обращение чтения или записи по любому адресу на шине АНВ AMBA. На рисунке 4.11.1 представлена блок-схема модуля.

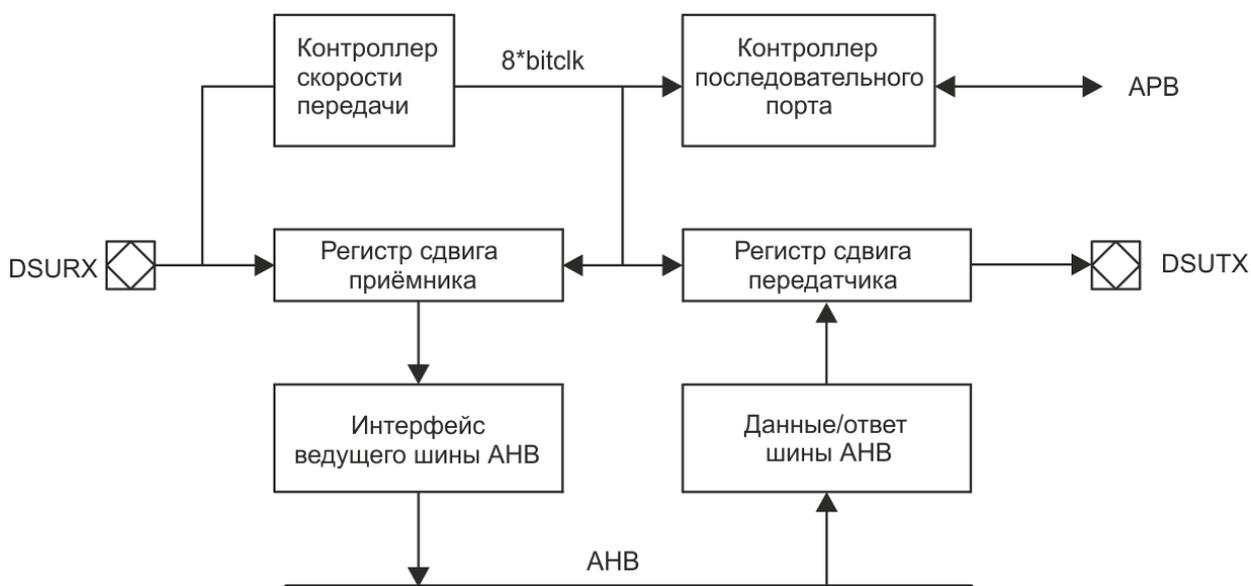


Рисунок 4.11.1 – Блок-схема отладочного интерфейса UART

4.11.2 Принцип работы

Протокол передачи

Интерфейс поддерживает простой протокол передачи, в котором команды состоят из управляющего байта, за которыми следует 32-битный адрес, далее опционально могут

располагаться записываемые данные. Данные отправляются в 8-битном базисе, как показано на рисунке 4.11.2.

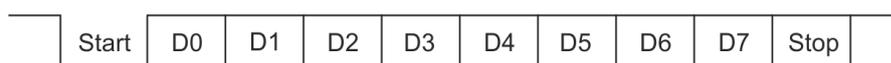
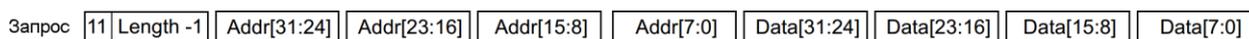


Рисунок 4.11.2 – Кадры данных

Формат команд приведен на рисунке 4.11.3.

Команда записи



Команда чтения

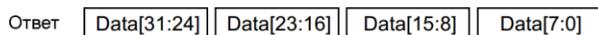
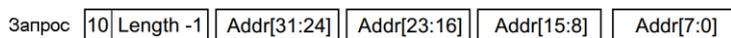


Рисунок 4.11.3 – Формат команд

Поблочная передача данных может быть организована установкой в поле длины значения $n - 1$, где n определяет количество передаваемых слов. Для запроса записи управляющий байт и адрес посылаются единой, за ними следует заданное количество записываемых слов. Адрес автоматически инкрементируется каждое слово данных. Для обращений чтения управляющий байт и адрес также посылаются единой, соответствующее количество слов данных будет передано в ответ.

Генерация скорости передачи

Отладочный интерфейс UART содержит 18-разрядный блок предделителя с декрементом, который задает требуемую скорость передачи. Блок предделителя синхронизируется системным тактовым сигналом и при каждом обратном переполнении генерирует такт UART. Предделитель при обратном переполнении перезагружается значением [регистра предделителя UART](#). Тактовая частота UART должна в 8 раз превышать требуемую скорость передачи.

Если скорость передачи в бодах не задана программным путем, то она будет определена в автоматическом режиме. Это осуществляется путем поиска наименьшего периода между двумя спадающими фронтами полученных данных (соответствующего двум битовым периодам). Когда три идентичных 2-битовых периода обнаружены, соответствующее значение предделителя фиксируется в регистре перезагрузки, в [регистре управления ANB UART](#) устанавливается бит BL. Если бит BL сброшен программным путем, то процесс поиска скорости передачи будет перезапущен. Аналогичное поведение также будет наблюдаться, если приемником будет зарегистрирован BREAK или ошибка синхронизации кадров, позволяя изменить скорость передачи внешнему передатчику. Для корректного определения скорости передачи, значение 0x55 должно быть передано в приемник после сброса или после отправки BREAK.

Наиболее подходящее значение предделителя для ручного программирования скорости передачи можно рассчитать по следующей формуле:

$$scaler\ value = \left(\frac{system_clock_frequency \times 10}{baud_rate \times 8} - 5 \right) / 10$$

4.11.3 Регистры

Управление интерфейсом осуществляется через регистры, отображенные в адресуемом пространстве APB, согласно таблицам 4.11.1 – 4.11.4.

Таблица 4.11.1 – Регистры АНВ UART (базовый адрес 0x80000700)

Смещение адреса APB	Регистр
0x4	Регистр статуса АНВ UART
0x8	Регистр управления АНВ UART
0xC	Регистр предделителя АНВ UART

Регистр статуса АНВ UART

Таблица 4.11.2 – Регистр статуса АНВ UART

31	10 9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
–	ABC	RX	FE	–	OV	BR	TH	TS	DR	
0x000000	0x0	0	0	0	0	0	1	1	0	
r	r	r	rw	r	rw	rw	r	r	r	

- 31 – 10 Зарезервировано
- 9 – 8 Счетчик системы автоматического определения скорости передачи (ABC). Отображает количество последовательных идентичных 2-битовых периодов, используемых для автоматического определения скорости передачи (см. подпункт «[Генерация скорости передачи](#)»)
- 7 Принимаемый бит (RX). Текущее значение принимаемого разряда данных после буфера фильтрации
- 6 Ошибка синхронизации (FE). Указывает на обнаружение ошибки синхронизации кадров (ошибки кадрирования)
- 5 Зарезервировано
- 4 Переполнение (OV). Показывает, что один или несколько символов данных потеряно из-за переполнения
- 3 Получено прерывание (BR). Показывает, что получен сигнал BREAK
- 2 Регистр удержания передатчика пуст (TH). Показывает, что регистр передатчика, в котором хранятся данные перед отправкой в сдвиговый регистр, пуст
- 1 Сдвиговый регистр передатчика пуст (TS). Показывает, что сдвиговый регистр передатчика пуст
- 0 Данные готовы (DR). Указывает на то, что новые данные получены от ведущего интерфейса АНВ АМБА

Регистр управления АНВ UART

Таблица 4.11.3 – Регистр управления АНВ UART

31	2	1	0
–	BL	EN	
0x00000000	0	0	
	r	rw	

- 31 – 2 Зарезервировано
- 1 Скорость передачи зафиксирована (BL). Бит автоматически устанавливается, когда скорость передачи фиксируется в регистре предделителя

Регистр предделителя АНВ UART

Таблица 4.11.4 – Регистр перезагрузки предделителя АНВ UART

31	19 18	0
–		SCALED RELOAD VALUE
0x0000		0x3FFFF
r		rw

31 – 19 Зарезервировано
 18–0 Значение перезагрузки предделителя

4.12 Регистры статуса АНВ**4.12.1 Общие сведения**

Регистры статуса (блок АНВSTAT) хранят информацию об ошибках доступа к АНВ АМБА. Существуют [регистр статуса АНВ](#) и [регистр адреса сбоя АНВ](#). Они захватывают управляющие и адресные значения сигналов о сбое транзакции шины АМБА, а также фиксируют присутствие корректируемой ошибки, сигнал о которой поступает от сбоеустойчивого ядра. Доступ к регистру статуса и регистру адреса сбоя осуществляется с шины APB АМБА.

4.12.2 Принцип работы**Ошибки**

Регистры осуществляют контроль над транзакциями шины АНВ АМБА и хранят во внутренней памяти текущие значения HADDR, HWRITE, HMASTER и HSIZE. Мониторинг всегда активен после запуска и сброса до обнаружения сообщения об ошибке (HRESP = «01»). При обнаружении ошибки содержимое [регистра адреса сбоя АНВ](#) и [регистра статуса АНВ](#) фиксируется, устанавливается разряд New Error (NE). Одновременно генерируется прерывание, как описано ниже.

Исправимые ошибки

Не только сообщения об ошибке на шине АНВ (HRESP = «01») детектируются. Модули сбоеустойчивых контроллеров внешней и внутренней памяти по выделенным линиям сигнализируют и об исправимых ошибках. Последовательность действий модуля АНВSTAT та же самая, что и для сообщения об ошибке на шине АНВ, за исключением дополнительной установки бита корректируемой ошибки (CE) [регистра статуса АНВ](#).

Прерывания

Прерывание поступает в контроллер прерывания для информирования процессора об условиях возникновения ошибки. В обычном порядке программа обработки прерывания обрабатывает ошибку при помощи информации в регистрах статуса. После этого она сбрасывает разряд NE, и мониторинг активизируется снова. Прерывания генерируются при сообщениях об ошибке АМБА и для корректируемых ошибок, как описано выше.

4.12.3 Регистры

Размещение и формат регистров, отображаемых в адресном пространстве APB, приведены в таблицах 4.12.1 – 4.12.3.

Таблица 4.12.1 – Регистры статуса АНВ

Смещение адреса APB	Регистры
0x0	Регистр статуса АНВ
0x4	Регистр адреса сбоя АНВ

Регистр статуса АНВ

Таблица 4.12.2 – Регистр статуса АНВ

31	10	9	8	7	6	3	2	0
–		CE	NE	HWRITE	HMASTER			HSIZE
0x0000000		0	0	n/r	n/r			n/r
r		rw*	rw*	r	r			r

- 31 – 10 Зарезервировано.
- 9 Корректируемая ошибка (CE). Устанавливается, если обнаруженная ошибка является корректируемой, иначе ноль. Бит может быть сброшен записью нуля.
- 8 Новая ошибка (NE). Бит сбрасывается при запуске и после перезагрузки. Устанавливается при обнаружении ошибки. Бит может быть сброшен записью нуля.
- 7 Сигнал HWRITE транзакции АНВ, которая вызвала ошибку.
- 6 – 3 Сигнал HMASTER транзакции АНВ, которая вызвала ошибку.
- 2 – 0 Сигнал HSIZE транзакции АНВ, которая вызвала ошибку.

Регистр адреса сбоя АНВ

Таблица 4.12.3 – Регистр адреса сбоя АНВ

31	0
АНВ FAILING ADDRESS	
n/r	
r	

- 31–0 Сигнал HADDR транзакции АНВ, которая вызвала ошибку

4.13 Блок таймеров общего назначения

4.13.1 Общие сведения

Блок таймеров общего назначения (GPTIMER) обеспечивает общее предделение частоты и декремент таймеров. В процессоре 1906BM016 реализовано два блока таймеров, по два и три таймера для GPTIMER 1 и GPTIMER 2 соответственно. Каждый блок действует как подчиненное устройство на шине APB АМВА. Разрядность делителя частоты – 16 бит. Разрядность таймеров – 32 разряда. Последний таймер блока GPTIMER 1 является сторожевым. Каждый таймер в состоянии генерировать отдельное прерывание при обратном переполнении, в соответствии с пунктом «4.8.3». Блок GPTIMER 2 генерирует прерывания, относящиеся к расширенной области, см. пункт

«4.8.2 Принцип работы. Расширенные прерывания». Структурная схема блока таймеров общего назначения представлена на рисунке 4.13.1.

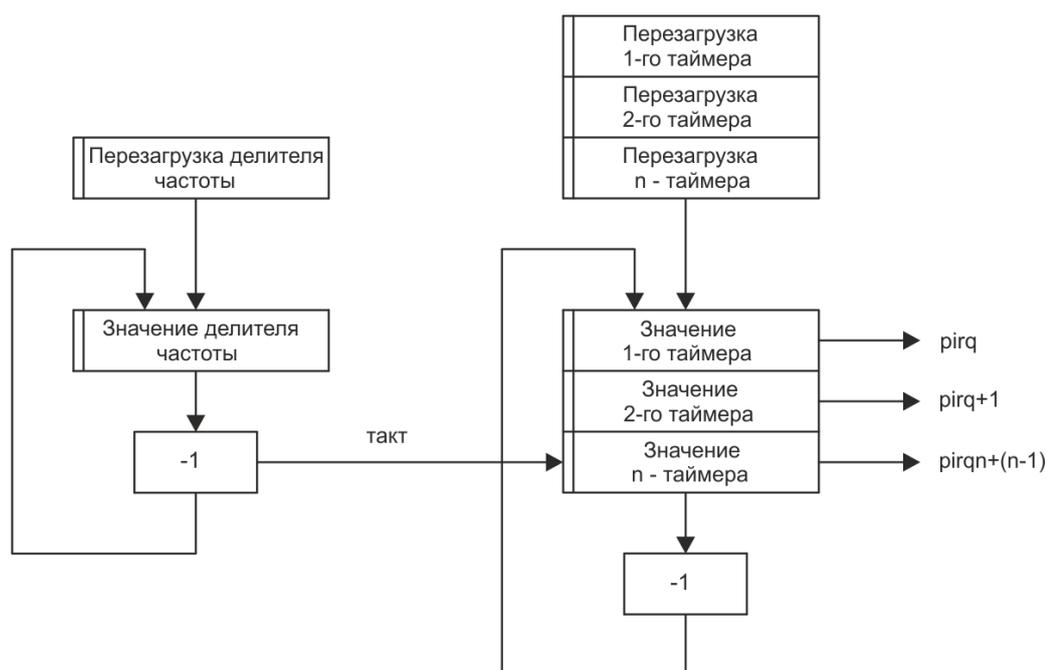


Рисунок 4.13.1 – Структурная схема блока таймеров общего назначения

4.13.2 Принцип работы

Предделитель частоты тактируется системным тактовым сигналом, его значение декрементируется с каждым тактом. При обратном переполнении предделителя частоты он перезагружается из регистра перезагрузки предделителя частоты, и генерируется такт таймера.

Управление работой каждого таймера осуществляется через регистр управления. Таймер разрешен при установке бита разрешения (EN) в [регистре управления таймером](#). Значение таймера декрементируется на каждом такте предделителя частоты. Если в регистре управления установлен бит перезапуска (RS), то при обратном переполнении таймера он автоматически перезагружается значением соответствующего [регистра значений перезагрузки таймера](#). При сброшенном бите RS он останавливается на значении 0xFFFFFFFF, бит EN сбрасывается.

Каждый из таймеров в состоянии сгенерировать прерывания на выделенной ему линии при обратном переполнении счетчика таймера, если установлен бит разрешения прерывания (IE). Бит ожидания обработки прерывания (IP) устанавливается в [регистре управления таймером](#) при обратном переполнении и останется в таком состоянии, пока не будет сброшен записью «1» в данное поле.

Чтобы минимизировать сложность, таймеры в одном блоке совместно используют одно устройство декрементирования. Это означает, что минимальный допустимый коэффициент деления предделителя частоты $TIMERS + 1$ (значение [регистра перезагрузки предделителя](#) = TIMERS), где TIMERS – количество реализованных в блоке таймеров (соответствующее значения поля [регистра конфигураций](#) блока). При установке в регистре управления бита цепи (CH) таймер n можно объединить в цепь с предыдущим таймером n – 1. Таймер n будет декрементироваться каждый раз при обратном переполнении таймера n – 1.

Каждый таймер можно в любое время перезагрузить со значением из [регистра перезагрузки таймера](#) при установке бита загрузки (LD) [регистра управления таймером](#).

Каждый таймер блока GPTIMER2 может быть сконфигурирован на захват данных из [регистра значений счетчика таймера](#) при возникновении системного прерывания. Для фильтрации прерываний используется специальный регистр маски.

При сбросе все таймеры, кроме сторожевого, отключаются. Разряды значения предделителя частоты и регистров перезагрузки устанавливаются в состояние логической единицы. Значение сторожевого таймера по сбросу – 0x0000FFFF. Все остальные регистры не инициализируются.

4.13.3 Регистры

Программирование модулей осуществляется через регистры, отображенные в адресуемом пространстве APB, см. таблицы 4.13.1 – 4.13.10. Количество реализованных регистров зависит от количества реализованных таймеров. Базовые адреса блоков таймеров GPTIMER 1 и GPTIMER 2 – 0x80000300 и 0x80000900 (в соответствии с данными таблицы 2.1.2).

Таблица 4.13.1 – Регистры блока таймеров общего назначения (GPTIMER 1)

Смещение адреса APB	Регистр
0x00	Регистр значения предделителя
0x04	Регистр значения перезагрузки предделителя
0x08	Регистр конфигураций
0x0C	Не используется
0x10	Регистр значений счетчика таймера 1
0x14	Регистр значений перезагрузки таймера 1
0x18	Регистр управления таймером 1
0x1C	Не используется
0x20	Регистр значений счетчика таймера 2 (сторожевой таймер)
0x24	Регистр значений перезагрузки таймера 2 (сторожевой таймер)
0x28	Регистр управления таймером 2 (сторожевой таймер)

Таблица 4.13.2 – Регистры блока таймеров общего назначения (GPTIMER 2)

Смещение адреса APB	Регистр
0x00	Регистр значения предделителя
0x04	Регистр значения перезагрузки предделителя
0x08	Регистр конфигураций
0x0C	Регистр конфигураций захвата
0x10	Регистр значений счетчика таймера 1
0x14	Регистр значений перезагрузки таймера 1
0x18	Регистр управления таймером 1
0x1C	Регистр захвата 1
0x20	Регистр значений счетчика таймера 2
0x24	Регистр значений перезагрузки таймера 2
0x28	Регистр управления таймером 2
0x2C	Регистр захвата 2
0x30	Регистр значений счетчика таймера 3
0x34	Регистр значений перезагрузки таймера 3
0x38	Регистр управления таймером 3
0x3C	Регистр захвата 3

Регистр значения предделителя

Таблица 4.13.3 – Регистр значения предделителя

31	16	15	0
–		SV	
0x0000		0xFFFF	
r		rw	

- 31 – 16 Зарезервировано
 15 – 0 Значение предделителя (SV)

Регистр значения перезагрузки предделителя

Таблица 4.13.4 – Регистр значения перезагрузки предделителя

31	16	15	0
–		SRV	
0x0000		0xFFFF	
r		rw	

- 31 – 16 Зарезервировано
 15 – 0 Значение перезагрузки предделителя (SRV)

Регистр конфигураций

Таблица 4.13.5 – Регистр конфигураций

31	12	11	10	9	8	7	3	2	0
–		EL	–	DF	SI	IRQ		TIMERS	
0x00000		0	0	0	1	*		*	
r		rw*	r	rw	r	r		r	

- 31 – 12 Зарезервировано
 11 Разрешение захвата (EL). Если бит установлен, то при следующем совпадении прерывания с маской [регистра конфигураций захвата](#) в регистры захвата будет отправлено соответствующее значение счетчика таймера. Затем бит автоматически сбрасывается, значение таймера не будет перезагружено до тех пор, пока он не будет установлен вновь. Функционал доступен только для блока таймеров GPTIMER 2, для таймеров GPTIMER 1 данное поле доступно только для чтения
 10 Зарезервировано
 9 Отключает приостановку таймера (DF). Если установлено, таймер не прерывает свою работу, в противном случае сигнал DHALT останавливает работу блока таймеров
 8 Отдельные прерывания (SI). Установлено, если генерируются отдельные прерывания для каждого таймера; в противном случае – сброшено
 7 – 3 Прерывание (IRQ): Определяет линию прерывания, которую будет использовать первый таймер данного блока таймеров. Поскольку реализовано использование отдельных линий прерываний, таймер n будет генерировать запрос на прерывание по линии IRQ + n. Для GPTIMER 1 значение равняется 7, для GPTIMER 2 – 20 (см. таблицу 4.8.1)
 2 – 0 Количество реализованных таймеров (TIMERS). Для GPTIMER 1 значение равняется 2, для GPTIMER 2 – 3

Регистр конфигураций захвата

Таблица 4.13.6 – Регистр конфигураций захвата

31	0
LCTRL	
0x00000000	
rw	

- 31 – 0 Конфигурация захвата (LCTRL). Задаёт, какие биты шины прерывания будут вызывать захват значения счётчика таймера при возникновении прерывания. Функционал доступен только для блока таймеров GPTIMER 2, для таймеров GPTIMER 1 данное поле доступно только для чтения и имеет значение 0

Регистр значений счётчика таймера

Таблица 4.13.7 – Регистр значений счётчика таймера

31	0
TCV	
0x00000000	
rw	

- 31 – 0 Значение счётчика таймера (TCV). Декрементируется при каждом такте делителя частоты.

Регистр значений перезагрузки таймера

Таблица 4.13.8 – Регистр значений перезагрузки таймера

31	0
TCRV	
*	
rw	

- 31 – 0 Значение перезагрузки таймера (TCRV). Это значение загружается в счётчик таймера при записи «1» в бит загрузки (LD) [регистра управления таймером](#) либо, при обратном переполнении, если был установлен бит RS. Значение по сбросу для сторожевого таймера – 0x0000FFFF, для остальных таймеров оно равно 0xFFFFFFFF

Регистр управления таймером

Таблица 4.13.9 – Регистр управления таймером

31		9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
	–	WS	WN	DH	CH	IP	IE	LD	RS	EN	
	0x000000	0	0	0	0	0	0	0	*	*	
	r	rw*	rw*	r	rw	wc	rw	rw	rw	rw	

- 31 – 9 Резервировано
- 8 Запретить вывод сторожевого таймера (WS): Если бит установлен, то вывод WDOGN# будет не активен (на нём всегда будет выставлен высокий логический уровень). Функционал доступен только для сторожевого таймера, для остальных таймеров данное поле доступно только для чтения

- 7 Разрешить немаскируемое прерывание (WN): Если бит установлен, то сторожевой таймер также будет генерировать немаскируемое прерывание (по линии 15), когда подается запрос на прерывание. Функционал доступен только для сторожевого таймера, для остальных таймеров данное поле доступно только для чтения
- 6 Остановка отладки (DN): Данный бит отображает значение сигнала, используемого для остановки работы счетчика, пока система находится в режиме отладки (внутренний сигнал DHALT от модуля DSU)
- 5 Цепь (CN): Организует связь по цепочке с предыдущим таймером блока. Если установлено для таймера n, таймер n декрементируется каждый раз при обратном переполнении таймера (n – 1)
- 4 Ожидается обработка прерывания (IP): модуль устанавливает этот бит, когда подается сигнал прерывания. Этот бит остается установленным, пока не будет сброшен записью «1» в данное поле, запись «0» не имеет никакого воздействия
- 3 Разрешение прерывания (IE): Если установлено, таймер генерирует прерывание при обратном переполнении
- 2 Загрузка (LD): Отправить значение из [регистра перезагрузки таймера](#) в [регистр значений счетчика таймера](#)
- 1 Перезапуск (RS): Если установлено, [регистр значений счетчика таймера](#) перезагружается значением [регистра перезагрузки](#) при обратном переполнении таймера. Значение по сбросу для сторожевого таймера – 1, для остальных таймеров – 0
- 0 Разрешение (EN): Если бит установлен, то таймер разрешен. Значение по сбросу для сторожевого таймера – 1, для остальных таймеров – 0

Регистр захвата

Таблица 4.13.10 – Регистр захвата

31	LTCV	0
	0x00000000	
	r	

- 31 – 0 Захваченное значение счетчика таймера (LTCV). Функционал доступен только для блока таймеров GPTIMER 2, для таймеров GPTIMER 1 данное поле доступно только для чтения и имеет значение 0

4.14 Порт ввода-вывода общего назначения

4.14.1 Общие сведения

Система портов ввода-вывода общего назначения (GRGPIO) является 16-разрядной и поддерживает прерывания.

Каждый разряд порта универсальной системы ввода-вывода может быть отдельно настроен на работу в качестве входа или выхода. Линии с 1 по 15 могут дополнительно генерировать прерывание. Для генерации прерывания вход может фильтроваться по полярности и быть настроенным на обнаружение уровня или фронта сигнала.

На рисунке [4.14.1](#) представлена схема одной линии области ввода-вывода.

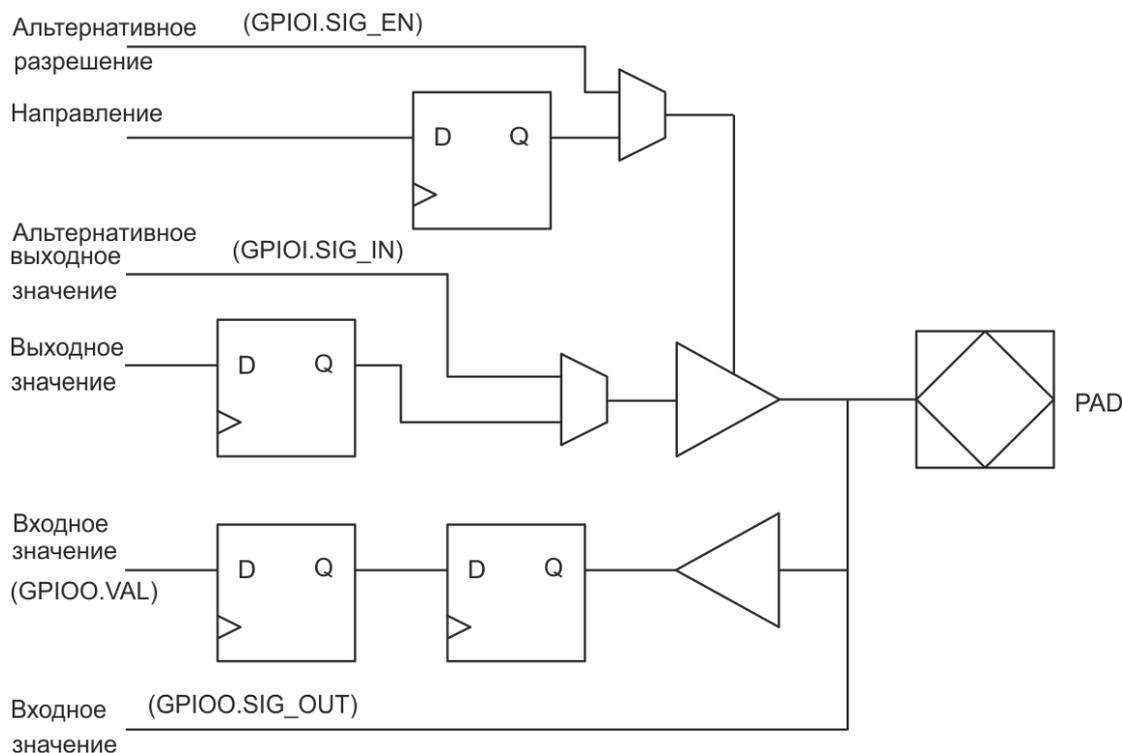


Рисунок 4.14.1 – Схема универсального порта ввода-вывода

4.14.2 Принцип работы

Порты ввода-вывода реализованы как двунаправленные буферы с программируемым разрешением выхода. Вход каждого буфера синхронизируется двумя последовательными триггерами для исключения потенциальной метастабильности. Синхронизируемые значения можно считывать из регистра данных порта ввода-вывода. Разрешение выхода порта ввода-вывода управляется регистром направления. Установка «1» в соответствующей битовой позиции разрешает выходной буфер для соответствующей линии области ввода-вывода. Задающее значение берется из выходного регистра порта ввода-вывода.

Реализовано фиксированное назначение линий прерывания. При данной конфигурации для каждой линии области ввода-вывода номер прерывания равен индексу линии области ввода-вывода плюс смещение от первой линии прерывания, $pirq$ (PIO[1] соответствует прерыванию $pirq+1$, и т.д.). В текущей реализации $pirq = 0$, соответственно линии с 1 по 15 генерируют прерывания с уровнями от 1-го до 15-го. Нулевое прерывание зарезервировано под системные нужды. Также значение $pirq$ можно считать из регистра области `plug & play` модуля GPIO, доступного по адресу 0x801FF020 (см. рисунок 4.23.2).

Генерация прерывания управляется тремя регистрами: маски, полярности и фронтов. Чтобы разрешить прерывание, необходимо установить соответствующий бит в [регистре маски прерываний](#). Если значение [регистра фронтов прерываний](#) – «0», то прерывание рассматривается как прерывание по уровню. Если значение регистра полярности – «0», активный уровень прерывания низкий. Если значение [регистра полярности прерываний](#) – «1», активный уровень прерывания высокий. Если значение регистра фронтов – «1», прерывание запускается фронтом сигнала. Далее с помощью регистра полярности определяется, будет ли осуществляться генерация прерывания по переднему («1») или по заднему («0») фронту. Стоит отметить, что захват прерывания осуществляется по положительному фронту тактового сигнала процессора вне зависимости от того используется ли прерывание по фронту или по уровню (т.е. не

гарантируется генерация прерывания по сигналу с длительностью менее периода системной тактовой частоты). Основное отличие данных режимов проявляется, если после выхода из обработчика предыдущего прерывания на линии остался прежний уровень сигнала. Тогда при генерации по уровню будет повторно сгенерировано прерывание. В той же ситуации для формирования прерывания по фронту требуется явное переключение состояния вывода (в соответствии со значением в регистре полярности).

4.14.3 Регистры

Система программируется через регистры, отображенные в адресуемом пространстве APB, приведенные в таблицах 4.14.1 – 4.14.8

Таблица 4.14.1 – Регистры универсальных портов ввода-вывода

Смещение адреса APB	Регистр
0x00	Регистр данных порта ввода-вывода
0x04	Выходной регистр порта ввода-вывода
0x08	Регистр направления порта ввода-вывода
0x0C	Регистр маски прерываний
0x10	Регистр полярности прерываний
0x14	Регистр фронтов прерываний
0x18	Зарезервировано
0x1C	Регистр поддерживаемого функционала

Регистр данных порта ввода-вывода

Таблица 4.14.2 – Регистр данных порта ввода-вывода

31	16	15	0
–		Входное значение порта I/O	
0x0000		*	
r		rw	

31–16 Зарезервировано

15–0 Входное значение порта ввода-вывода

Выходной регистр порта ввода-вывода

Таблица 4.14.3 – Выходной регистр порта ввода-вывода

31	16	15	0
–		Выходное значение порта I/O	
0x0000		0x0000	
r		rw	

31–16 Зарезервировано

15–0 Выходное значение порта ввода-вывода

Регистр направления порта ввода-вывода

Таблица 4.14.4 – Регистр направления порта ввода-вывода

31	16	15	0
–		Значение направления порта I/O	
0x0000		0x0000	
r		rw	

- 31–16 Зарезервировано
 15–0 Значение направления порта ввода-вывода
 (0 = выход отключен, 1 = выход включен)

Регистр маски прерываний

Таблица 4.14.5 – Регистр маски прерываний

31		16	15		0
–			Маска прерываний		
0x0000			0x0000		
r			rw		

- 31–16 Зарезервировано
 15–0 Маска прерываний
 (0 = прерывание маскировано, 1 = прерывание включено)

Регистр полярности прерываний

Таблица 4.14.6 – Регистр полярности прерываний

31		16	15		0
–			Полярность прерываний		
0x0000			NR		
r			rw		

- 31–16 Зарезервировано
 15–0 Полярность прерываний
 (0 = низкий уровень/задний фронт, 1 = высокий уровень/передний фронт)

Регистр фронтов прерываний

Таблица 4.14.7 – Регистр фронтов прерываний

31		16	15		0
–			Фронт прерываний		
0x0000			0x0000		
r			rw		

- 31–16 Зарезервировано
 15–0 Фронт прерываний (0 = уровень, 1 = фронт)

Регистр поддерживаемого функционала

Таблица 4.14.8 – Регистр поддерживаемого функционала

31		19	18	17	16	15		13	12		8	7		5	4		0
–			PU	IER	IFL	–	IRQGEN			–	NLINES						
0x0000			0	0	0	0x0	0x0			0x0	0x0F						
r			r	r	r	r	r			r	r						

- 31–19 Зарезервировано
 18 Реализован регистр импульсов. Бит сброшен, поскольку в модуле отсутствует регистр импульсов.
 Поле доступно в модуле GPIO, начиная с версии 2 и выше

- 17 Реализован регистр разрешений ввода. Бит сброшен, поскольку в модуле отсутствует регистр разрешений входов.
- 16 Поле доступно в модуле GPIO, начиная с версии 2 и выше
 Реализация регистра флагов прерывания. Бит сброшен, поскольку в модуле отсутствуют регистр доступных прерываний и регистр флагов прерываний (смещение 0x40 и 0x44).
 Поле доступно в модуле GPIO, начиная с версии 2 и выше
- 15–13 Зарезервировано
- 12–8 Настройки генерации прерываний (IRQGEN). Данное поле доступно только для чтения. Если $IRQGEN = 0$, то линия с номером n будет управлять прерыванием $irq + n$. Значение irq может быть прочитано из области `plug & play` данного модуля
- 7–5 Зарезервировано
- 4–0 Порядковый номер старшей линии GPIO (NLINES) – значение поля на единицу меньше количества линий GPIO.(только для чтения)

4.15 Интерфейс UART

4.15.1 Общие сведения

Интерфейс универсального асинхронного приемопередатчика (APBUART) предназначен для последовательной передачи данных. В процессоре 1906BM016 реализовано два UART: UART1 и UART2. Интерфейсом поддерживается размер кадра с 8 битами данных, одним дополнительным битом четности и одним или двумя стоповыми битами. Для генерации скорости передачи у каждого UART имеется программируемый 12-разрядный тактовый делитель.

Для передачи данных между шиной APB и UART используются два FIFO (обслуживания в порядке поступления).

Глубина буферов FIFO – 4 байта.

Для передачи данных между шиной APB и UART используются два регистра временного хранения информации, как показано на рисунке 4.15.1.

Аппаратное управление потоком не поддерживается.

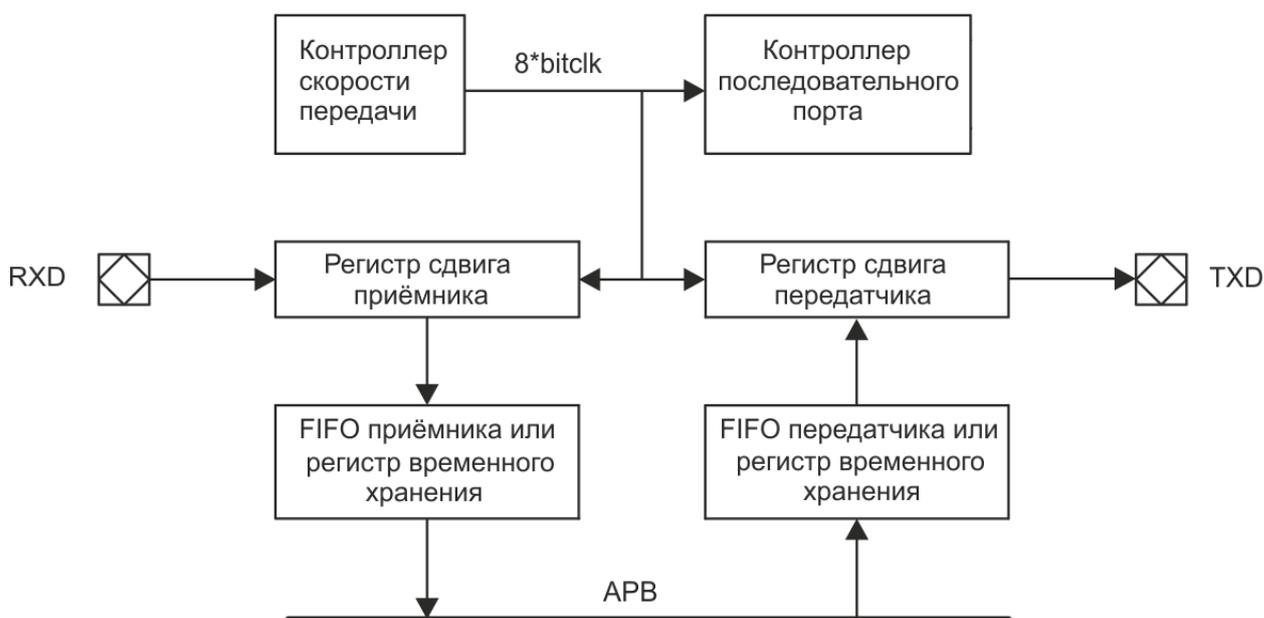


Рисунок 4.15.1 – Блок-схема интерфейса UART

4.15.2 Принцип работы

Работа передатчика

Передатчик активируется при помощи бита TE в [регистре управления UART](#). Данные, которые необходимо передать, сохраняются в FIFO при записи в [регистр данных UART](#) (см. рисунок 4.15.2). Данные, готовые для передачи, передаются из FIFO/регистра, временного хранения информации передатчика, в сдвиговый регистр передатчика и преобразуются в последовательный поток на выводе передатчика (TXD). Автоматически передается стартовый бит, сопровождаемый 8 битами данных, дополнительным битом четности и одним стоповым битом. Сначала передается младший значащий бит данных.

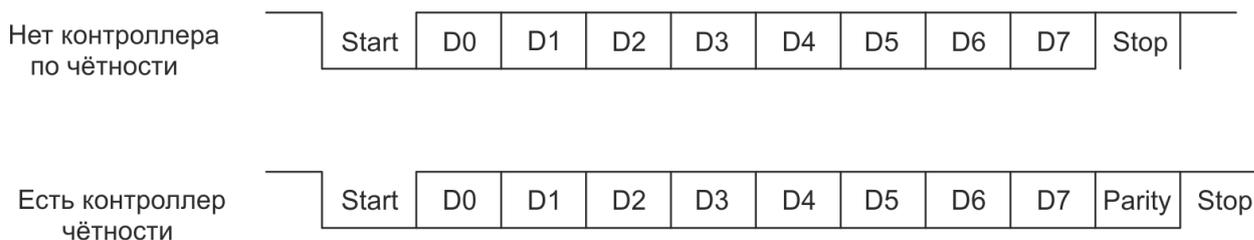


Рисунок 4.15.2 – Кадры данных UART

После передачи стопового бита, если не доступны новые данные в FIFO передатчика, вывод выхода последовательных данных передатчика остается в высоком логическом состоянии и пустой бит сдвигового регистра передатчика (TS) устанавливается в [регистре статуса UART](#). При загрузке новых данных в FIFO передатчика передача данных возобновляется и TS сбрасывается. Если FIFO пуст, бит TE устанавливается в регистре статуса. Если передатчик отключается, активные передачи, включая передачу данных, которые выдаются в регистр данных из сдвигового регистра передатчика, сразу останавливаются. Регистр временного хранения информации передатчика может быть не загружен при отключении передатчика или при заполнении FIFO (или регистра временного хранения информации). В этом случае данные можно перезаписать, при этом теряется один или несколько кадров данных.

Бит статуса TF (не путать с битом управления TF) устанавливается, если FIFO передатчика в данный момент заполнен, и TH устанавливается, если FIFO заполнен меньше, чем наполовину (меньше половины записей в FIFO содержат данные). Если установлен разряд управления TF, прерывание FIFO разрешено. Регистр статуса также содержит счетчик (TCNT), который показывает текущее количество записей в FIFO.

Работа приемника

Приемник активируется для приема данных с помощью бита разрешения приемника (RE) в [регистре управления UART](#). Приемник пытается обнаружить стартовый бит – изменение уровня сигнала с высокого на низкий на выводе последовательного входа данных приемника. Если такое переключение было выявлено, то повторный опрос состояния последовательного входа осуществляется спустя полбита. Если выборка показала, что последовательный вход в состоянии логической единицы, то стартовый бит недействителен, и поиск корректного стартового бита продолжается. Если последовательный вход в состоянии логического нуля, то стартовый бит признается действительным и приемник продолжает осуществлять выборку с последовательного входа с интервалом в 1 бит (в теоретическом центре бита), пока не будет принято надлежащее количество битов данных, бит четности и не будет обнаружен один стоповый бит. Сигнал с последовательного входа сдвигается через 8-разрядный сдвиговый регистр,

в котором все биты в принудительном порядке имеют одинаковое значение, пока не будет принято новое значение, фактически формируя фильтр нижних частот с частотой среза в 1/8 системного тактового сигнала.

В приемнике также имеется конфигурируемый FIFO, который идентичен FIFO в передатчике. Как уже было сказано в подпункте о передатчике, регистр временного хранения информации и FIFO рассматриваются как общий FIFO.

При приеме сначала принимается самый младший бит. Затем данные передаются в FIFO приемника и в [регистре статуса UART](#), как только FIFO будет содержать, по крайней мере, один кадр данных, устанавливается бит готовности данных (DR). При достижении границы байта устанавливаются биты четности, синхронизации и ошибки, причем параллельно устанавливается стартовый бит приемника. При обнаружении ошибки кадр данных не сохраняется в FIFO. Кроме того, новые биты статуса ошибки, прежде чем они будут сохранены в регистре статуса, соединяются по схеме ИЛИ со старыми значениями. Таким образом, они не сбрасываются, пока не будут записаны нули с шины APB AMBA. Если FIFO приемника и сдвиговые регистры заполнены при обнаружении нового стартового бита, то данные, сохраненные в сдвиговом регистре приемника, будут потеряны и в регистре статуса UART будет установлен бит переполнения. Инициализация остановки (BR) происходит при получении BREAK, что является ошибкой синхронизации: все полученные данные сбрасываются.

Бит статуса RF (не путать с битом управления RF) устанавливается при заполнении FIFO приемника. Бит статуса RH устанавливается, если FIFO заполнен наполовину (по крайней мере, половина записей FIFO занята кадрами данных). Если установлен разряд управления RF, прерывание FIFO разрешено. Также доступно поле RCNT, в котором показывается текущее количество кадров данных в FIFO.

4.15.3 Генерация скорости передачи

Каждый UART содержит 12-разрядный блок предделителя с декрементом, который задает требуемую скорость передачи. Блок предделителя синхронизируется системным тактовым сигналом и при каждом обратном переполнении генерирует такт UART. Предделитель при обратном переполнении перезагружается значением [регистра предделителя UART](#). Тактовая частота UART должна в 8 раз превышать требуемую скорость передачи.

Формула для вычисления значения предделителя под требуемую скорость передачи с использованием целочисленного деления и отбрасыванием остатка:

$$\text{scaler value} = \frac{\text{system_clock_frequency}}{\text{baud_rate} \times 8 + 7}$$

Для вычисления требуемого значения используется формула:

$$\text{scaler value} = \frac{\text{system_clock_frequency}}{\text{baud_rate} \times 8} - 1$$

Если установлен бит ЕС, такты генерируются с той же частотой, что и на входе внешней синхронизации, а не при обратном переполнении блока предделителя. В этом случае частота внешней синхронизации должна быть меньше половины частоты системного тактового сигнала.

4.15.4 Режим обратной петли

Если в [регистре управления UART](#) установлен бит LB, UART находится в режиме обратной петли (Loop back mode). В этом режиме выход передатчика подключен к входу приемника. Режим позволяет выполнить loop back тесты, чтобы проверить работу приемника, передатчика и связанных подпрограмм программного обеспечения. В этом режиме выходы остаются в неактивном состоянии во избежание передачи данных.

4.15.5 Режим отладки FIFO

Чтобы войти в режим отладки FIFO, необходимо в регистре управления установить бит режима отладки. В этом режиме можно считать FIFO передатчика и записать FIFO приемника через [регистр отладки FIFO UART](#). Выход передатчика в режиме отладки неактивен. Запись в FIFO приемника генерирует прерывание, если разрешено прерывание приемника.

4.15.6 Генерация прерывания

Имеются два различных вида прерываний: нормальное прерывание и прерывание FIFO. При разрешенном прерывании передатчика (TI), разрешенном передатчике и очистке FIFO передатчика для передатчика генерируется нормальное прерывание. Прерывание FIFO генерируется при разрешении прерывания FIFO (TF), разрешенных передачах (TE) и если UART заполнен меньше, чем наполовину (т.е. при установке бита статуса TH). Это прерывание уровня, сигнал прерывания должен удерживаться в состоянии логической единицы, пока действует прерывание. Прерывание приемника происходит таким же образом. Нормальное прерывание генерируется таким же образом, как в регистре временного хранения информации.

Прерывание FIFO генерируется при разрешенном прерывании FIFO приемника, разрешенном приемнике и наполовину заполненном FIFO. Сигнал прерывания удерживается в состоянии логической единицы, пока FIFO приемника наполовину заполнен (по крайней мере, половина записей содержит кадры данных).

Существует функция задержки прерывания приемника. Она активируется при установке бита разрешения задержки прерывания (DI). Когда функция активирована, таймер запускается каждый раз при приеме символа, прерывание генерируется, если только не получены очередные данные в течение времени приема (4 символа данных + 4 бита). Если разрешено прерывание приемника FIFO, предшествующее прерывание сбрасывается при разрешенном прерывании FIFO, так как данные, вызывающие состояние предшествующего запроса на прерывание, уже находятся в FIFO и обнаружены драйвером через прерывание FIFO.

Также имеется отдельное прерывание для символов остановки. При разрешении прерывания оно генерируется всегда в случае приема символа остановки, даже если разрешена задержка прерывания приемника. Когда прерывание остановки не разрешено, прерывание при приеме символа остановки не генерируется при разрешенной задержке прерываний.

Если отложенные прерывания запрещены, поведение будет тем же самым для бита прерывания остановки, за исключением того, что прерывание будет генерироваться для символов остановки, если разрешены прерывания приемника, даже если прерывание остановки запрещено.

Прерывание также можно включить для сдвигового регистра передатчика. При этом устройство генерирует прерывание по мере сбрасывания сдвигового регистра.

4.15.7 Регистры

Управление устройством осуществляется через регистры, отображенные в адресуемом пространстве APB, согласно таблицам 4.15.1 – 4.15.6.

Таблица 4.15.1 – Регистры UART (базовые адреса 0x80000100 и 0x80000600)

Смещение адреса APB	Регистр
0x0	Регистр данных UART
0x4	Регистр статуса UART
0x8	Регистр управления UART
0xC	Регистр делителя UART
0x10	Регистр отладки FIFO UART

Регистр данных UART

Таблица 4.15.2 – Регистр данных UART

31	8	7	0
–	DATA		
0	NR		
r	rw		

31 – 8 Зарезервировано

7 – 0 Регистр временного хранения информации приемника или FIFO (чтение)

7 – 0 Регистр временного хранения информации передатчика или FIFO (запись)

Регистр статуса UART

Таблица 4.15.3 – Регистр статуса UART

31	26	25	20	19	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
RCNT	TCNT	–	RF	TF	RH	TH	FE	PE	OV	BR	TE	TS	DR			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0		
r	r	r	r	r	r	r	rw	rw	rw	rw	r	r	r			

31 – 26 Счетчик FIFO приемника (RCNT) показывает количество кадров данных в FIFO приемника.

25 – 20 Счетчик FIFO передатчика (TCNT) показывает количество кадров данных в FIFO передатчика. Значение после сброса: ноль

19 – 11 Зарезервировано

10 FIFO приемника заполнен (RF), показывает, что приемник FIFO заполнен. Значение после сброса: ноль

9 FIFO передатчика заполнен (TF), показывает, что передатчик FIFO заполнен. Значение после сброса: ноль

8 Приемник FIFO заполнен наполовину (RH), показывает, что, по крайней мере, половина FIFO имеет данные. Значение после сброса: ноль

7 Передатчик FIFO заполнен наполовину (TH), показывает, что FIFO заполнен менее, чем наполовину. Значение после сброса: ноль

6 Ошибка синхронизации (FE) показывает, что обнаружена ошибка синхронизации. Значение после сброса: ноль

5 Ошибка четности (PE) показывает, что обнаружена ошибка четности. Значение после сброса: ноль

4 Переполнение (OV) показывает, что некоторые данные потеряны из-за переполнения. Значение после сброса: ноль

- 3 Получено прерывание (BR) показывает, что получен сигнал BREAK. Значение после сброса: ноль
- 2 Передатчик FIFO пуст (TE) показывает, что передатчик FIFO пуст. Значение после сброса: 1
- 1 Сдвиговый регистр передатчика пуст (TS) показывает, что сдвиговый регистр передатчика пуст. Значение после сброса: 1
- 0 Данные готовы (DR) показывает, что новые данные доступны в регистре временного хранения приемника. Значение после сброса: ноль

Регистр управления UART

Таблица 4.15.4 – Регистр управления UART

31	30	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
FA	–	NS	SI	DI	BI	DB	RF	TF	EC	LB	FL	PE	PS	TI	RI	TE	RE	
0	0	NR	0	NR	0	NR	NR	NR	NR	NR	0	0						
r	r	rw																

- 31 FIFO доступны (FA). Бит установлен, когда доступны FIFO приемника и передатчика. Если бит сброшен, то доступен только регистр временного хранения информации. Только для чтения
- 30 – 16 Зарезервировано
- 15 Количество стоп-битов (NS). Если установлено, то будет использоваться два стоп бита, в противном случае – один
- 14 Разрешение прерывания пустого сдвигового регистра передатчика (SI). Если установлено, генерируется прерывание при сбросе сдвигового регистра передатчика. Для получения дополнительной информации – см. подраздел «4.8 Контроллер прерываний»
- 13 Разрешение отложенного прерывания (DI). Если бит установлен, отложенное прерывание приемника разрешено, при этом прерывание для полученных данных генерируется только после задержки 4 символов данных + 4 бит, если в течение этого интервала не получены новые данные. Это применимо, если установлено разрешение прерывания приемника. Для получения дополнительной информации – см. подраздел «4.8 Контроллер прерываний». Не сбрасывается
- 12 Разрешение прерывания остановки (BI). Если бит установлен, генерируется прерывание при каждом получении символа остановки. Для получения дополнительной информации – см. подраздел «4.8 Контроллер прерываний». Не сбрасывается
- 11 Разрешение режима отладки FIFO (DB). Если установлено, можно считать и записать регистр отладки FIFO. Не сбрасывается
- 10 Разрешение прерывания FIFO приемника (RF). Если установлено, прерывание уровня приемника FIFO разрешено. Не сбрасывается
- 9 Разрешение прерывания FIFO передатчика (TF). Если установлено, прерывание уровня FIFO передатчика разрешено. Не сбрасывается
- 8 Внешнее тактирование (EC). Если установлено, счетчик UART синхронизируется с помощью UARTLXTCCLK. Значение после сброса: 0
- 7 Режим обратной петли (LB). Если установлено, режим обратной петли активирован. Не сбрасывается
- 6 Управление потоками (FL). Если установлено, разрешено управление потоками, используя CTS/RTS (не реализовано). Значение после сброса: 0
- 5 Разрешение четности (PE). Если установлено, разрешена генерация и проверка четности

- 4 Выбор четности (PS). Выбор полярности четности (0 = четность, 1 = нечетность). Не сбрасывается
- 3 Разрешение прерывания передатчика (TI). Если бит установлен, генерируется прерывание при передаче данных (см. подраздел «4.8 Контроллер прерываний» для получения более подробной информации). Не сбрасывается
- 2 Разрешение прерывания приемника (RI). Если бит установлен, генерируется прерывание при приеме данных
- 1 Разрешение передатчика (TE). Если бит установлен, передатчик разрешен. Значение после сброса: 0
- 0 Разрешение приемника (RE). Если бит установлен, приемник разрешен. Значение после сброса: 0

Регистр предделителя UART

Таблица 4.15.5 – Регистр перезагрузки предделителя UART

31	12 11	0
–	SCALED RELOAD VALUE	
0	NR	
r	rw	

- 31 – 12 Зарезервировано
- 11–0 Значение перезагрузки предделителя

Регистр отладки FIFO UART

Таблица 4.15.6 – Регистр отладки FIFO UART

31	8 7	0
–	DATA	
0	NR	
r	rw	

- 31 – 8 Зарезервировано
- 7 – 0 Регистр временного хранения информации приемника или FIFO (чтение)
- 7 – 0 Регистр временного хранения информации передатчика или FIFO (запись)

4.16 Интерфейс MIL-STD-1553/AS15531

4.16.1 Общие сведения

В состав микропроцессора 1906BM016 входят два интерфейса Mil-STD-1553B (0, 1) с базовыми адресами 0x80100200 и 0x80100300, соответственно.

Интерфейсы реализованы на блоках GR1553B.

Интерфейс устройства соединяет шину АНВ/АРВ АМБА с шиной MIL-STD-1553 (ГОСТ Р 52070-2003) с одиночным или с двойным резервированием и работает как контроллер шины, удаленный терминал или монитор шины.

MIL-STD-1553 – контроллер шины для передачи данных максимум 32 устройствам через общий дифференциальный проводник, с двойным резервированием. Шина разработана для прогнозируемой работы в реальном времени и обеспечения ошибкоустойчивости. Исходная скорость передачи данных на шине – 1 Мбит/с при максимальной скорости передачи данных полезной нагрузки приблизительно 770 Кбит/с.

Контроллер шины (BC) является одним из терминалов на шине, контролирующим весь поток обмена на шине. Другие терминалы – удаленные терминалы (RTs), которые работают при получении команд от контроллера шины. Каждый RT имеет уникальный адрес между 0 – 30. Кроме того, к шине могут быть присоединены пассивные мониторы шины (BMs), регистрирующие информацию о транзакциях на шине.

На рисунке 4.16.1 представлен вариант топологии шины MIL-STD-1553.

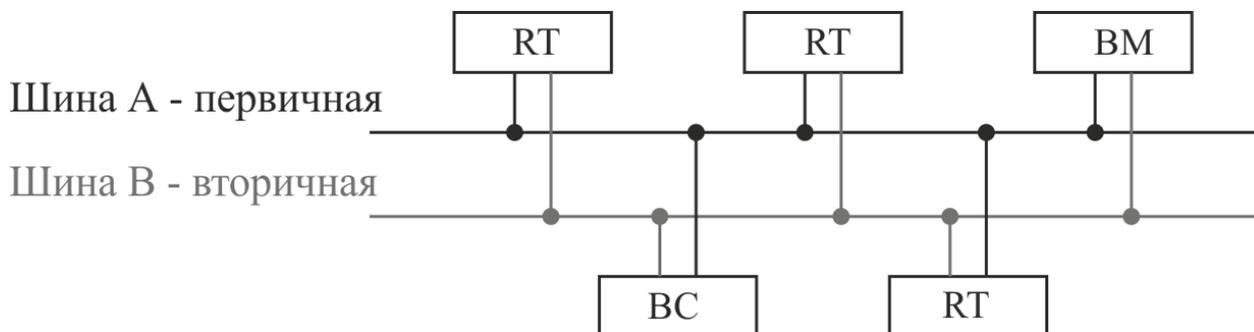


Рисунок 4.16.1 – Топология шины MIL-STD-1553

Существует пять возможных типов передачи данных на шине MIL-STD-1553:

- передача из BC в RT («прием»);
- передача из RT в BC («передача»);
- передача из RT до RT;
- широковещательная трансляция из BC в RTs;
- широковещательная трансляция из RT в RTs.

Каждая передача содержит (1–32) слова данных по 16 битов каждое.

Контроллер шины также может отправлять «коды режима» в RTs для выполнения административных задач, таких как синхронизация и считывание статуса терминала.

4.16.2 Электрический интерфейс

Устройство соединяется с шиной MIL-STD-1553 через одиночный или двойной трансивер, изолирующие трансформаторы и трансформаторную или шлейфовую связь, как показано на рисунке 4.16.2. Если используется однократное резервирование, неиспользуемые сигналы P/N, принимаемые шиной, должны быть притянуты оба либо к высокому логическому уровню, либо к низкому логическому уровню. Сигнал разрешения трансмиттера обычно инвертирован: он называется – «запрещение передатчика» (txinh).

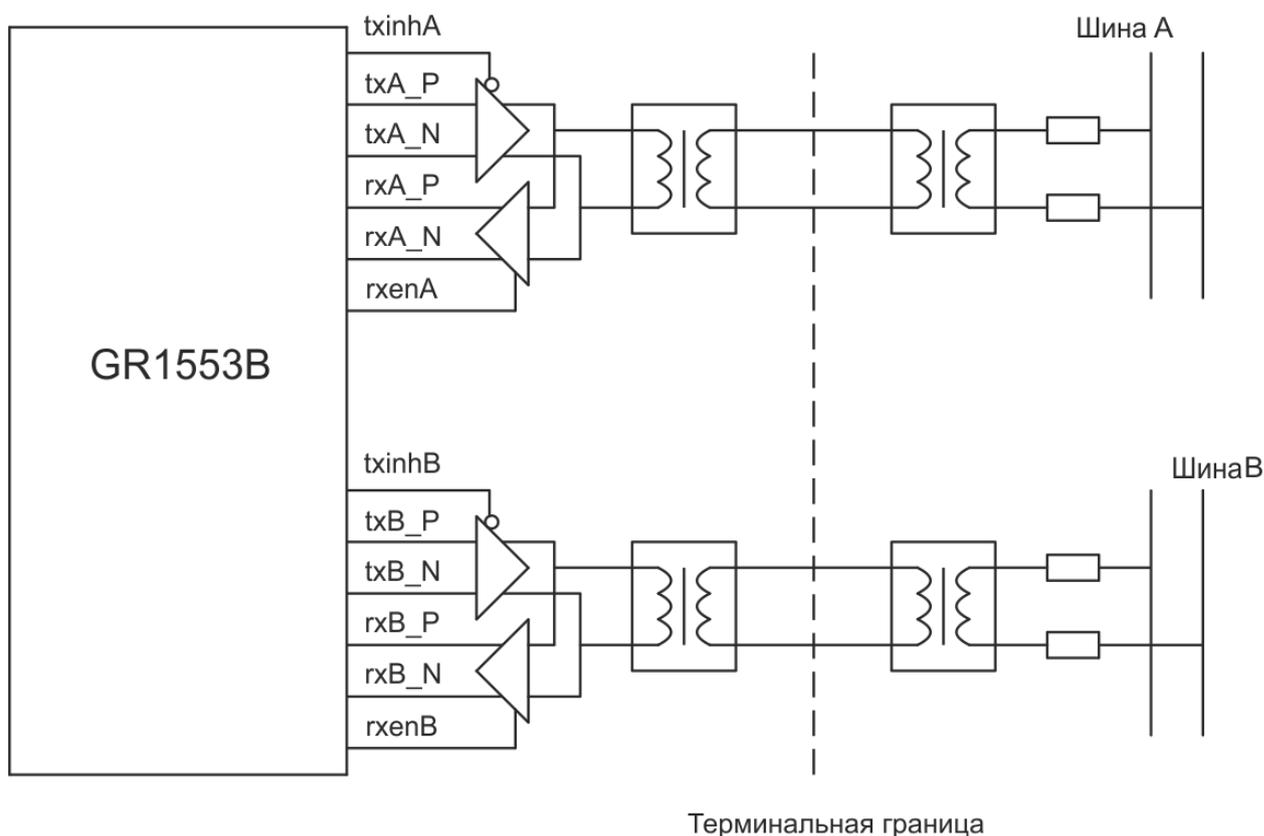


Рисунок 4.16.2 – Интерфейс устройства и шины MIL-STD-1553 (с двойным резервированием, с трансформаторной связью)

4.16.3 Принцип работы

Режимы работы

Устройство содержит три отдельных блока: контроллер шины (ВС), удаленный терминал (РТ) и монитор шины (ВМ) с общим кодом 1553.

Управление режимом работы устройства осуществляется путем запуска и остановки частей ВС/РТ/ВМ через регистры записи. В начале работы с устройством работа блоков не разрешена и устройство не активно на шине 1553 и шине АМВА.

Части устройства ВС и РТ не могут быть одновременно активными на шине 1553. Если ВС запущен или приостановлен, доступ к шине 1553 имеет только ВС (и возможно ВМ); РТ может только получать и отвечать на команды только при полной остановке схем ВС.

Монитор шины только «прослушивает» трафик на шине и поэтому работает независимо от того, разрешены или не разрешены другие части.

Регистр интерфейса

Конфигурация и управление устройством осуществляется через регистры управления, доступ к которым обеспечивается по шине АРВ. Каждая часть – ВС, РТ, ВМ имеет отдельный набор регистров, а также имеется небольшой набор общих регистров.

Некоторые поля регистра управления ВС и РТ защищены «ключом» – полем данного регистра, в которое записывается определенное значение для обеспечения записи в регистр. Пользователи РТ/ВМ используют ключи в целях обеспечения безопасного доступа к регистрам при разрешении ВС или изменении адреса РТ. Если программное

обеспечение построено без знания ключа к определенному регистру, случайное выполнение записи с правильным ключом к регистру управления маловероятно.

Прерывание

Устройство имеет один выход прерывания, который генерируется несколькими разными первичными событиями. События, которые вызывают прерывание, определяются с помощью регистра разрешения маски прерывания.

Кодек MIL-STD-1553

Внутренний кодек устройства получает и передает слова данных по шине 1553, а также генерирует и проверяет шаблоны и четность синхронизации.

Логика проверки «обратной петли» контролирует, чтобы каждое передаваемое слово было «видимо» на входах приема. Если переданное слово не отображается, передатчик останавливается и передает сигнал ошибки, который направляется пользователю.

4.16.4 Работа контроллера шины

Общие сведения

При работе в качестве контроллера шины устройство выступает ведущим на шине MIL-STD-1553, запускает и выполняет передачу.

Этот режим работает на базе запланированного списка (плана) передач. Программное обеспечение устанавливает в памяти последовательность дескрипторов и переходов передач, буферы для отправленных и принятых данных и кольцевой буфер указателей прерывания. При запуске плана (через запись регистра работы ВС) устройство обрабатывает план, выполняет последовательные передачи и записывает статус в план передачи и входящие данные в соответствующие буферы.

Контроль синхронизации

У каждого дескриптора передачи в плане имеется поле «интервал ответа». Если планируемая передача завершается быстрее, чем интервал ответа, устройство останавливает синхронизацию перед подачей новой команды. Это позволяет пользователю точно контролировать синхронизацию сообщения в ходе передачи кадра.

Если передача не вписывается в рамки отведенного интервала ответа, время вычитается из интервала ответа следующей команды. Следующая команда может, в свою очередь, использовать интервал ответа следующей за ней команды и т.д. Устройство может отслеживать до одной секунды заимствованного времени и не вставляет паузы до момента установления положительного баланса, кроме пауз между сообщениями согласно требованиям стандарта.

Для максимально быстрого выполнения плана передач необходимо установить все интервалы ответа в «0». Чтобы сгруппировать передачи, необходимо сдвинуть все интервалы ответа к последней передаче.

План передач можно остановить или перевести в состояние ожидания при соответствующей записи в регистре выполнения ВС. При переводе в состояние ожидания отсчет времени плана по-прежнему будет учитываться, чтобы планируемое время при активизации плана не нарушилось. При остановке плана таймеры сбрасываются.

Если в дескрипторе следующей передачи установлен бит `extsync`, запуск команды начинается с приходом фронта на внешнем входе синхронизации. Таймер планирования и баланс интервала ответа сбрасываются, и запускается команда. Если импульс `sync`

поступает до передачи, он сохраняется, и команда сразу запускается. Активатор памяти очищается при остановке плана (не при переводе в состояние ожидания). Также активатор устанавливается/очищается программным обеспечением через регистр выполнения ВС.

Выбор шины

Каждый дескриптор передачи имеет бит выбора шины, с помощью которого выбирается одна из двух резервных шин («0» – шина А, «1» – шина В) для передачи.

Другим способом управления шиной является регистр перестановки рег-RT, в котором содержится по одному биту для каждого адреса RT. Регистр перестановки шины является опциональным. Программное обеспечение может проверить поля регистра VCFEAT с доступом только для чтения на предмет его наличия в устройстве.

При установке бита в регистре перестановки рег-RT значение бита выбора шины инвертируется для всех передач для соответствующего RT – при сбросе выбирается шина «В», при установке – шина «А». Это позволяет переключить все передачи в один или набор RT через другую шину с единственным регистром записи без возможности изменения дескрипторов.

Аппаратное обеспечение определяет соответствующую шину для использования, выполняя операцию исключающего ИЛИ бита регистра перестановки шины и бита выбора шины. В обычном режиме для каждого RT выбирается один из следующих способов: бит выбора шины всегда сброшен и используется регистр перестановки или бит регистра перестановки всегда сброшен и используется бит выбора шины.

Если регистр перестановки шины используется для выбора шины, бит указателя резервной шины может быть разрешен для автоматического обновления регистра, в зависимости от итога передачи. Если передача на шине А прошла успешно, бит регистра перестановки шины сбрасывается; если передача успешно прошла на шине В, бит регистра перестановки шины устанавливается. Если передача не прошла, значение в регистре перестановки шины меняется на противоположное.

Второй список передачи

Устройство может быть настроено на работу со вторым «асинхронным» списком передачи в ходе выполнения обычного плана. До окончания интервала ответа команды плана устройство проверяет, чтобы интервал ответа следующей асинхронной передачи был меньше, чем остальное время режима ожидания. В этом случае предусмотрена асинхронная команда.

Если асинхронная команда завершается не по плану, время заимствуется из следующей команды в обычном плане. Чтобы не нарушать обычный план, интервал ответа для асинхронных сообщений должен иметь пессимистичное значение.

Исключающий бит в указателе передачи устанавливается, если не требуется выполнять асинхронную команду в режиме ожидания следующей передачи.

Асинхронные сообщения не планируются во время ожидания импульса синхронизации или при переводе графика в состояние ожидания и при истечении текущего интервала ответа, поскольку старт следующей запланированной команды не определен.

Генерация прерывания

Каждая команда в плане передач может генерировать прерывание после завершения соответствующих передач, выполненных с ошибкой или без нее. Недействительные дескрипторы команд всегда генерируют прерывания и останавливают план. Перед генерацией прерывания, активированного передачей, адрес к соответствующему дескриптору записывается в кольцевой буфер запросов на прерывание

BC, при этом кольцевой регистр позиции запросов на прерывание, активированных передачей BC, инкрементируется.

Отдельное прерывание ошибки сигнализирует об ошибках DMA. При возникновении ошибки DMA во время считывания/записи указателей работающий план переводится в состояние ожидания. Ошибки DMA в буферах данных приводят к отказу соответствующей передачи с записью кода ошибки (см. 4.16.4).

Какие из этих прерывающих событий в действительности вызывают запрос на прерывание на шине AMBA, контролируется настройками регистра разрешения запросов на прерывание.

Формат списка передачи

Список передачи BC представляет собой массив дескрипторов передач и переходов, представленных в таблице 4.16.1. Здесь и далее по тексту в таблицах сокращение «R/W» эквивалентно использованию «Считывание/запись». Каждое значение выравнивается по границе 128 бит (16 байт). Два неиспользуемых слова в переходе можно использовать для сохранения арбитражных данных.

Таблица 4.16.1 – Формат дескриптора передачи GR1553B

Смещение	Значение для дескриптора передачи	DMA R/W	Значение для перехода	DMA R/W
0x00	Слово «0» дескриптора передачи (см. таблицу 4.16.2)	R	Условное слово (см. таблицу 4.16.6)	R
0x04	Слово «1» дескриптора передачи (см. таблицу 4.16.3)	R	Адрес команды перехода, выравнивается до 128 бит	R
0x08	Указатель буфера данных, выравнивается до 16 бит. Для буферов записи, если установлен бит 0, полученные данные, не учитываются, и ссылка игнорируется. Это используется для передач из RT в RT, в которых BC не обрабатывает передаваемые данные	R	Не используется	–
0x0C	Итоговое слово, записываемое устройством (см. таблицу 4.16.4)	W	Не используется	–

Структура слов дескриптора передачи показана в таблицах 4.16.2 – 4.16.4.

Таблица 4.16.2 – Слово «0» дескриптора передачи BC GR1553B (смещение 0x00)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	20	19	18	17	16	15	0
0	WTRIG	EXCL	IRQE	IRQN	SUSE	SUSN	RETMD	NRET	STBUS	GAP	–	–	–	–	–	STIME

- 31 Должно быть сброшено для идентификации в качестве дескриптора
- 30 Ожидание внешнего активатора (WTRIG)
- 29 Исключительный интервал ответа (EXCL) – Асинхронные сообщения не запланированы
- 28 Запрос на прерывание после передачи с ошибкой (IRQE)
- 27 Обычный запрос на прерывание (IRQN) – Прерывание после передачи
- 26 Перевод в режим ожидания при ошибке (SUSE) – Переводит план в режим ожидания (или останавливает список асинхронной передачи) при обнаружении ошибки

- 25 Обычный перевод в режим ожидания (SUSN) – Перевод в режим ожидания после передачи
- 24, 23 Режим повторной передачи (RETMD). «00» – повтор на основной шине, «01» – чередующийся повтор на обеих шинах, «10» – повтор сначала на основной шине, затем на альтернативной шине, «11» – зарезервировано, не используется
- 22–20 Количество повторов (NRET) – Количество автоматических повторов на одну шину.
Общее количество повторов (включая первую попытку) равно NRET+1 для RETMD = 00 или $(2 \times (NRET+1))$ для RETMD = 01/10
- 19 Запоминание шины (STBUS) – Если передача прошла успешно и данный бит установлен, шина, в которой передача прошла успешно (0 для шины А, 1 для шины В), запоминается в регистре перестановки шины per-RT. Если передача не прошла и данный бит установлен, в регистр перестановки запоминается альтернативная шина (только при поддержке маски шины per-RT). Для получения дополнительной информации – подробнее см. выше в подпункте «Выбор шины»
- 18 Промежуток между сообщениями (GAP) – Если установлено, после передачи добавляется дополнительное время, соответствующее полю RTTO
- 17, 16 Зарезервировано
- 15–0 Интервал ответа (STIME) – Выделенное время в интервалах по 4 микросекунды. Если планируемая передача завершается раньше, чем это определено значением STIME, устройство приостанавливает работу перед подачей новой команды до исчерпания времени интервала ответа

Таблица 4.16.3 – Слово «1» дескриптора передачи BC GR1553B (смещение 0x04)

31	30	29	26	25	21	20	16	15	11	10	9	5	4	0
DUM	BUS	RTTO	RTAD2	RTSA2	RTAD1	TR	RTSA1	WCMC						

- 31 Ложная передача (DUM) – Если бит установлен, трафик на шине не генерируется и немедленно передается сообщение – «успешное выполнение передачи». Для ложных передач действуют установки EXCL, IRQN, SUSN, STBUS, GAP, STIME; другие биты и ссылка буфера данных игнорируются.
- 30 Выбор шины (BUS) – Шина для передачи; «0» – шина А, «1» – шина В
- 29–26 Тайм-аут RT (RTTO) – Дополнительный тайм-аут RT, превышающий номинальный, в интервалах по 4 микросекунды (0000–14 мкс, 1111 –74 мкс).
Примечание – Это дополнительное время также используется, как дополнительный промежуток между сообщениями, если установлен бит GAP
- 25–21 Адрес второго RT для передачи из RT в RT (RTAD2)
- 20–16 Подадрес второго RT для передачи из RT в RT (RTSA2)
Примечание – Для получения дополнительной информации по установке RTAD1, RTSA1, RTAD2, RTSA2, WCMC, TR для разных типов передач – см. таблицу 4.16.5.
- 15–11 Адрес первого RT (RTAD1)
- 10 Передача/прием (TR)
- 9–5 Подадрес первого RT (RTSA1)
- 4–0 Счетчик слов/код режима (WCMC)
Примечание – Следует отметить, что биты 15–0 соответствуют (первому) слову команды на шине 1553

Таблица 4.16.4 – Итоговое слово дескриптора передачи GR1553B (смещение 0x0C)

31	30	24	23	16	15	8	7	4	3	2	0
0	–	RT2ST		RTST		RETCNT		–	TFRST		

31	Всегда сброшено
30–24	Зарезервировано
23–16	Биты статуса RT 2 (RT2ST) – Биты статуса принимающего RT в передаче из RT в RT, в противном случае сброшено. Набор бит статуса такой же, как и в поле RTST
15–8	Биты статуса RT (RTST) – Биты статуса передающего RT в передаче из RT в RT. 15 – ошибка сообщения, 14 – установка аппаратного бита или зарезервированного бита, 13 – запрос на обслуживание, 12 – прием команды транслирования, 11 – бит занятости, 10 – флаг подсистемы, 9 – прием динамического управления шины, 8 – терминальный флаг
7–4	Счетчик повторов (RETCNT) – Количество выполненных повторов
3	Зарезервировано – Массив маски после считывания для обеспечения согласованности
2–0	Статус передачи (TFRST) – Результат последней попытки: 000 – успешно (или был установлен ложный бит); 001 – RT не ответил (передающий RT в передаче из RT в RT); 010 – принимающий RT в передаче из RT в RT не ответил; 011 – принятое слово статуса RT имеет ошибку сообщения, установлен бит занятости или зарезервированный бит; 100 – ошибка протокола (неверно синхронизированные слова данных, ошибка декодера, неверное количество слов данных); 101 – недействительный указатель передачи; 110 – тайм-аут DMA буфера данных или сообщение об ошибке; 111 – передача прервана из-за ошибки проверки «обратной петли». Примечание – Код ошибки 011 выдается в случае, если количество слов данных совпадает с количеством успешно переданных, в противном случае используется код 100. Код ошибки 011 может быть выдан при правильно выполненной команде «передача последней команды» или «передача последнего слова статуса», поскольку эти команды не сбрасывают слово статуса.

Биты конфигурации передачи BC GR1553B для различных типов передачи показаны в таблице 4.16.5.

Таблица 4.16.5 – Биты конфигурации передачи BC GR1553B для различных типов передачи

Тип передачи	RTAD1 (15:11)	RTSA1 (9:5)	RTAD2 (25:21)	RTSA2 (20:16)	WCMC (4:0)	TR (10)	Направление буфера данных
Данные, из BC в RT	Адрес RT (0-30)	Подадрес RT(1-30)	Безразличное состояние	0	Счетчик слов (от 0 до 32)	0	Считывание (2-64 байта)
Данные, из RT в BC	Адрес RT (0-30)	Подадрес RT(1-30)	Безразличное состояние	0	Счетчик слов (от 0 до 32)	1	Запись (2-64 байта)
Данные, из RT в RT	Адрес Recv-RT (0-30)	Подадрес Recv-RT (1-30)	Адрес Xmit-RT (0-30)	Подадрес Xmit-RT (1-30)	Счетчик слов (от 0 до 32)	0	Запись (2-64 байта)
Режим, нет данных	Адрес RT (0-30)	0 или 31*	Безразличное состояние	Безразличное состояние	Код режима (0-8)	1	Не используется
Режим, из RT в BC	Адрес RT (0-30)	0 или 31*	Безразличное состояние	Безразличное состояние	Код режима (16/18/19)	1	Запись (2 байта)
Режим, из BC в RT	Адрес RT (0-30)	0 или 31*	Безразличное состояние	Безразличное состояние	Код режима (17/20/21)	0	Считывание (2 байта)
Данные широко- вещательные, из BC в RTs	31	Подадрес RTs (1-30)	Безразличное состояние	0	Счетчик слов (от 0 до 32)	0	Считывание (2-64 байта)
Данные широко- вещательные, из RT в RTs	31	Подадрес Recv-RTs (1-30)	Адрес Xmit-RT (0-30)	Подадрес Xmit-RT (1-30)	Счетчик слов (от 0 до 32)	0	Запись (2-64 байта)
Режим широко- вещательный, нет данных	31	0 или 31*	Безразличное состояние	Безразличное состояние	Код режима (1, 3-8)	1	Не используется
Режим широко- вещательный, из BC в RT	31	0 или 31*	Безразличное состояние	Безразличное состояние	Код режима (17/20/21)	0	Считывание (2 байта)

* Согласно стандарту для команд режима можно использовать подадрес 0 или 31.

Слово условного перехода организовано в соответствии с таблицей 4.16.6.

Таблица 4.16.6 – Слово условного перехода GR1553B (смещение 0x00)

31	30	27	26	25	24	23	16	15	8	7	0
1	–	IRQC	ACT	MODE	RT2CC	RTCC	RTCC	STCC			

31 Должно быть установлено для идентификации в качестве перехода
 30–27 Зарезервировано (считывается как 0)
 26 Прерывание при выполненном условии (IRQC)

25	Действие (ACT) – Действие при выполненном условии, «0» – перевод плана в режим ожидания, «1» – команда перехода
24	Логический режим (MODE): «0» – режим «ИЛИ» (любой бит, установленный в RT2CC, RTCC, – установлен в RT2ST, RTST или результат находится в маске STCC). «1» – режим «И» (все биты, установленные в RT2CC, RTCC, установлены в RT2ST, RTST и результат находится в маске STCC)
23–16	Код условия RT 2 (RT2CC) – Маска с битами, соответствующими RT2ST в итоговом слове последней передачи
15–8	Код условия RT (RTCC) – Маска с битами, соответствующими RTST в итоговом слове последней передачи
7–0	Код условия статуса (STCC) – Маска с битами, соответствующими значению статуса последней передачи

Следует отметить, что при установке $MODE = 0$ и $STCC = 0xFF$ создается постоянное истинное условие, а при установке $STCC = 0x00$ создается постоянное ложное условие. Таким образом, $0x800000FF$ может использоваться как признак окончания списка.

4.16.5 Работа удаленного терминала

Общие сведения

При работе в качестве удаленного терминала устройство выступает ведомым устройством на шине MIL-STD-1553, выполняя следующие функции: прослушивает запросы на собственный адрес RT (или передачи транслирования), проверяет допустимость запросов и, в случае действительности, выполняет соответствующую передачу. В случае недействительности устанавливает флаг ошибки сообщения в слове статуса. Действительность контролируется с помощью слова управления подадреса для передачи данных и с помощью регистра управления кода режима.

Для старта RT необходимо инициализировать таблицу подадреса и кольцевой буфер регистрации, а затем записать адрес и бит разрешения RT в регистре конфигурации RT.

Обработка передачи данных

Режим удаленного терминала использует трехуровневую структуру для управления передачей данных посредством прямого доступа к памяти (DMA), рисунок 4.16.3. Верхний уровень – строка таблицы подадресов, в которой каждый подадрес имеет слово управления подадреса, указатели на дескрипторы передачи и дескрипторы приема. Каждый дескриптор, в свою очередь, имеет слово управления/статуса дескриптора, указатель на буфер данных и указатель на следующий дескриптор, формируя связанный список или кольцевую схему структур данных. Буферы данных постоянно хранятся в любом месте памяти с выравниванием до 16 бит.

При получении RT запроса на передачу данных, RT проверяет допустимость запроса в таблице подадреса. В случае допустимости передача выполняется с отправлением или приемом данных посредством DMA в/из соответствующего буфера данных. После передачи данных слово управления/статуса указателя обновляется, приобретая статус успешной или неудачной передачи, и указатель таблицы подадреса изменяется на указатель к следующему дескриптору.

Если разрешена регистрация, регистрационная запись будет помещаться в область кольцевого буфера регистрации. Прерывание запущенной передачи также может быть

разрешено. Для идентификации передачи, вызвавшей прерывание, значение регистра позиции прерывания регистрации события RT («RT event log interrupt position») указывает на соответствующую запись регистрации. Поэтому для разрешения прерываний должна быть разрешена регистрация.

Если запрос допустим, но не может быть выполнен, потому что не готов соответствующий дескриптор или потому что данные не могут быть доступны в течение требуемого времени для ответа, устройство отправляет сигнал о прерывании из-за ошибки доступа к таблице RT и не отвечает на запрос. Дополнительно при данных условиях ошибки автоматически устанавливается бит статуса терминального флага.

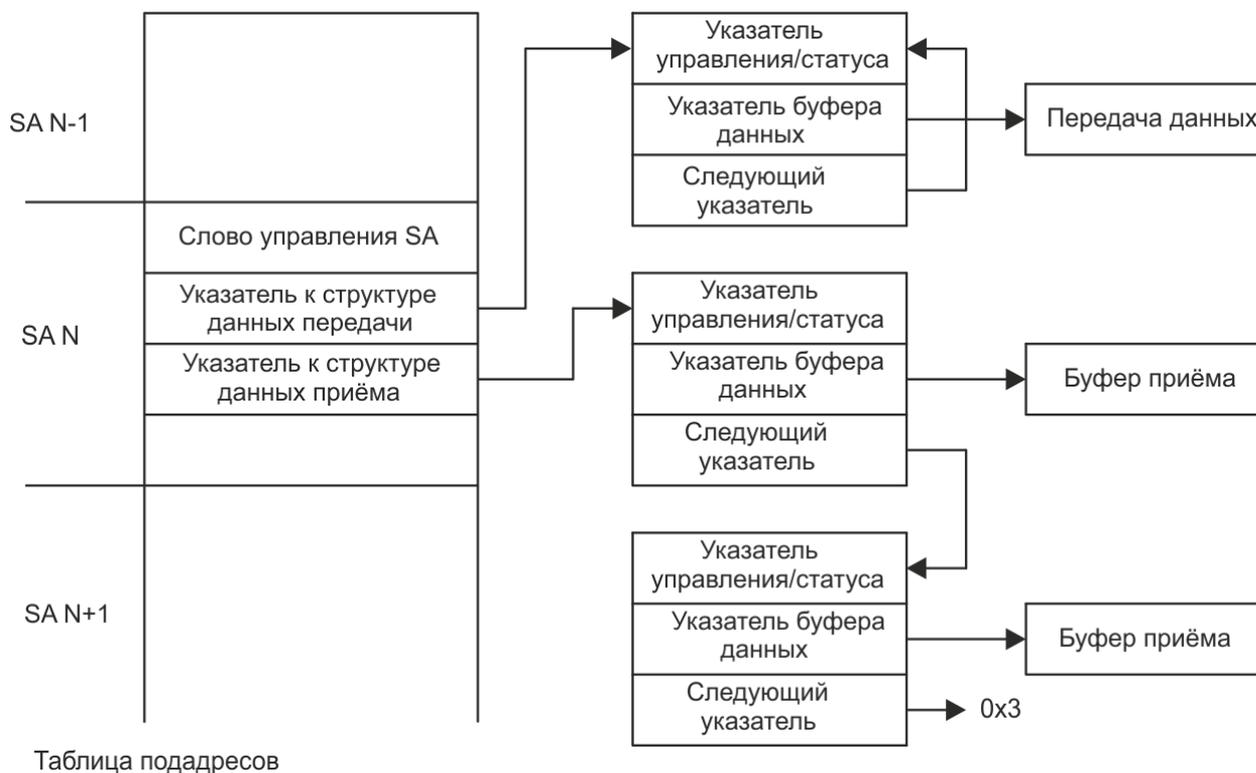


Рисунок 4.16.3 – Пример структуры данных подадреса RT

Коды режимов

Допустимые коды режимов MIL-STD-1553, подлежащих регистрации и генерации прерываний, задаются через регистр управления кодами режима RT. В отношении передачи данных для разрешения прерываний необходимо разрешить регистрацию. Недопустимые коды режимов задаются с помощью тех же полей, что и допустимые, а коды режимов, которые могут выполнять широкоэвещательную трансляцию, имеют два отдельных поля для управления широкоэвещательным и не широкоэвещательным транслированием.

Разные коды режимов и соответствующие действия RT представлены в таблице 4.16.7. Некоторые коды режимов не имеют встроенного действия, поэтому, при необходимости, действие должно быть реализовано через программное обеспечение. В таблице ниже также представлено отношение каждого кода режима к полям регистра управления кодами режимов RT.

Таблица 4.16.7 – Коды режима RT

Код режима		Описание	Встроенное действие при разрешенном коде режима	Регистрация / Запрос на прерывание	Разрешено после сброса	Биты регистра управления
1	2	3	4	5	6	7
0	00000	Динамическое управление шины	Если в регистре статуса шины RT установлен бит DVSA, отправляется ответ принятия динамического управления шины	Есть	Нет	17, 16
1	00001	Синхронизация	Поле времени в регистре синхронизации RT обновлено. Выходной сигнал rtsync выдает логическую «1» длительностью в один цикл AMBA	Есть	Да	3–0
2	00010	Передача слова статуса	Передача статусного слова RT. Всегда разрешено, не может быть зарегистрировано или не разрешено	Нет	Да	–
3	00011	Запуск самопроверки	Нет встроенного действия	Есть	Нет	21–18
4	00100	Отключение передатчика	RT не будет отвечать на команды на другой шине (не на шине, на которой дана команда)	Есть	Да	11–8
5	00101	Отмена отключения передатчика	Удаление действия кода режима отключения передатчика, полученного ранее на той же шине	Есть	Да	11–8
6	00110	Запрещение терминального флага	Маскирование терминального флага отправленных слов статуса RT	Есть	Нет	25–22
7	00111	Отмена запрещения терминального флага	Удаление действия режима блокировки терминального флага	Есть	Нет	25–22

Окончание таблицы 4.16.7

1	2	3	4	5	6	7
8	01000	Сброс удаленного терминала	Сброс сбоеустойчивых таймеров, отключения передатчика, запрещения терминального флага и запрещения статуса. Биты терминального флага и запроса обслуживания в регистре статуса шины RT очищаются. Выходной сигнал extreset выдает логическую «1» длительностью в один цикл AMBA	Есть	Нет	29–26
16	10000	Передача векторного слова	Ответ с помощью векторного слова из регистра слов статуса RT	Есть	Нет	13, 12
17	10001	Синхронизация со словом данных	Обновление полей времени и данных в регистре синхронизации RT. Выходной сигнал rtsync выдает логическую «1» длительностью в один цикл AMBA	Есть	Да	7–4
18	10010	Передача последней команды	Передача последней команды, отправленной в RT. Всегда разрешено, не может быть зарегистрировано или не разрешено	Нет	Да	–
19	10011	Передача слова ВIT	Ответ словом ВIT из регистра слов статуса RT	Есть	Нет	15, 14
20	10100	Отключение выбранного передатчика	Нет встроенного действия	Нет	Нет	–
21	10101	Отмена отключения выбранного передатчика	Нет встроенного действия	Нет	Нет	–

Журнал регистрации событий

Регистрация событий выполняется посредством кольцевой схемы 32-битовых данных в формате, представленном в таблице 4.16.8. Следует обратить внимание на то, что для передачи данных биты (23–0) в журнале регистрации событий аналогичны битам (23–0) в слове статуса указателя.

Таблица 4.16.8 – Формат данных журнала регистрации событий RT GR1553B

31	30	29	28	24	23	10	9	8	3	2	0
IRQSRC	TYPE	SAMC		TIMEL			BC	SZ		TRES	

- 31 Источник запроса на прерывание (IRQSRC) – Установлено, если прерывание вызвала данная передача
- 30, 29 Тип передачи (TYPE): «00» – передача данных, «01» – прием данных, «10» – код режима
- 28–24 Подадрес/код режима (SAMC): Если бит TYPE установлен в 0x0 или в 0x1 – это соответствует подадресу передачи, а если в 0x2 – коду режима
- 23–10 TIMEL – Младшие 14 битов счетчика меток времени

- 9 Широковещательное транслирование (BC) – Бит установлен, если запрос предназначен для широковещательного транслирования
- 8–3 Размер передачи (SZ) – Количество 16-битовых слов (0 – 32)
- 2–0 Результат передачи (TRES):
 «000»: успешная передача;
 «001»: отмененная передача (т.к. была дана новая команда на другой шине);
 «010»: ошибка DMA или тайм-аут памяти;
 «011»: ошибка протокола (ошибочно синхронизированные слова данных или ошибка декодера);
 «100»: бит занятости или бит ошибки сообщения установлен в переданном слове статуса, данные не отправлены;
 «101»: передача прервана из-за ошибки проверки «обратной петли»

Формат таблицы подадреса

Данные таблицы подадреса GR1553B RT, слово управления таблицы подадреса и формат дескриптора RT GR1553B представлены в таблицах 4.16.9 – 4.16.12.

Таблица 4.16.9 – Данные таблицы подадреса GR1553B RT для подадреса N, $0 < N < 31$

Смещение	Значение	DMA R/W
$0x10 \times N + 0x00$	Слово управления подадреса N (см. таблицу 4.16.10)	R
$0x10 \times N + 0x04$	Указатель на дескриптор передачи, выровнено до 16 байт (0x3 обозначает недействительный указатель)	R/W
$0x10 \times N + 0x08$	Указатель на дескриптор приема, выровнено до 16 байт (0x3 обозначает недействительный указатель)	R/W
$0x10 \times N + 0x0C$	Не используется	–

Примечание – Доступ устройства к данным строк таблицы для подадресов кода режима 0 и 31 всегда закрыт.

Таблица 4.16.10 – Слово управления таблицы подадреса RT GR1553B (смещение 0x00)

31	19	18	17	16	15	14	13	12	8	7	6	5	4	0
–	WRAP	IGNDV	BCRXE	RXEN	RXLOG	RXIRQ	RXSZ	TXEN	TXLOG	TXIRQ	TXSZ			

- 31–19 Зарезервировано
- 18 Разрешение автоматического циклического перехода (WRAP) – Разрешает режим проверки для данного подадреса, в котором передатчик отправляет последние принятые данные обратно. Это осуществляется копированием указателя на дескриптор завершенной передачи в адрес указателя на дескриптор передачи после каждой успешной передачи.
 Примечание – Если WRAP = 1, не допускается устанавливать TXSZ > RXSZ, поскольку это может вызвать считывание за пределами буфера
- 17 Игнорирование бита действительности данных (IGNDV) – Если бит установлен, прием передачи продолжается (с перезаписью буфера), если при приеме указателя установлен бит действительности данных, вместо отсутствия ответа на запрос.
 Это может использоваться для кольцевых схем указателей при безразличном состоянии в отношении перезаписи первоначальных данных

- 16 Разрешение приема широковещательных сообщений (BCRXE) – Обеспечивает прием передач широковещательных сообщений в данном подадресе
- 15 Разрешение приема (RXEN) – Обеспечивает прием передач в данном подадресе
- 14 Регистрация приема передач (RXLOG) – Регистрация всех передач в кольцевой схеме журнала событий (используется в случае, если RXEN=1)
- 13 Прерывание при приеме (RXIRQ) – Каждый прием данных вызывает прерывание (в случае, если RXEN, RXLOG=1)
- 12–8 Максимально допустимый размер приема (RXSZ) в данный подадрес в 16-битовых словах (от 0 до 32)
- 7 Разрешение передачи (TXEN) – Обеспечивает передачи из данного подадреса
- 6 Регистрация отправки передач (TXLOG) – Регистрация всех передач в кольцевой схеме журнала регистрации событий (в случае, если TXEN=1)
- 5 Прерывание при передаче (TXIRQ) – Каждая передача данных вызывает прерывание (в случае, если TXEN, TXLOG=1)
- 4–0 Максимально допустимый размер передачи (TXSZ) из данного подадреса – В 16-битовых словах (от 0 до 32)

Таблица 4.16.11 – Формат дескриптора приема/передачи RT GR1553B

Смещение	Значение	DMA R/W
0x00	Слово управления/статуса, см. таблицу 4.16.12	R/W
0x04	Указатель буфера данных, с выравниванием до 16 бит	R
0x08	Ссылка на следующий дескриптор, с выравниванием до 16 бит или 0x0000003 для обозначения окончания списка	R

Таблица 4.16.12 – Слово управления/статуса дескриптора RT GR1553B (смещение 0x00)

31	30	29	26	25	10	9	8	3	2	0
DV	IRQEN	–	TIME			BC	SZ		TRES	

- 31 Действительные данные (DV) – Бит должен быть сброшен программным обеспечением до передачи и устанавливается аппаратно после передачи. Если DV = 1 в текущем дескрипторе приема до начала приема передачи, активируется ошибка таблицы дескрипторов. Это действие можно отменить установкой бита IGNDV в таблице подадреса
- 30 Доминирующее разрешение запроса на прерывание (IRQEN) – Регистрирование и запрос на прерывание после передачи, независимо от установок слова управления подадреса SA. Используется для получения прерывания при приближении к концу списка дескрипторов
- 29–26 Резервировано – Записывается «0» и считывается замаскированным для обеспечения согласованности
- 25–10 Временная метка передачи (TIME) – Устанавливается устройством в значение таймера RT после завершения передачи
- 9 Широковещательный (BC) – Устанавливается устройством в случае, если передача была широковещательной
- 8–3 Размер передачи (SZ) – Количество 16-битовых слов (0–32)

2-0	Результат передачи (TRES): 000: успешная передача; 001: отмененная передача (т.к. была дана новая команда на другой шине); 010: ошибка DMA или тайм-аут памяти; 011: ошибка протокола (ошибочно синхронизированные слова данных или ошибка декодера); 100: бит занятости или бит ошибки сообщения был установлен в переданном слове статуса, данные не отправлены; 101: передача прервана из-за ошибки проверки возврата к началу цикла
-----	---

4.16.6 Работа монитора шины

Общие сведения

Монитор шины (BM) разрешается отдельно или одновременно с BC или RT. BM работает как пассивное устройство регистрации, записывающее полученные данные с дополнительной временной информацией в кольцевой буфер.

Фильтрация

Монитор шины также поддерживает фильтрацию. Это дополнительная опция; наличие данной опции проверяется через программное обеспечение, которое выявляет регистры фильтра BM с возможностью записи.

Фильтрация передач выполняется по адресу RT и подадресу, или коду режима. Условия фильтрации проверяются посредством схемы логического «И». Если все биты трех регистров фильтрации и биты 2, 3 регистра управления установлены, BM записывает все слова, полученные на шине.

Для фильтрации по подадресу/коду режима логика BM отслеживает слова 1553, принадлежащие одному сообщению. Поддерживаются все 10 типов сообщений. При выявлении непредусмотренного слова логика фильтра перезапускается. Слова данных, не принадлежащие никакому сообщению, могут быть зарегистрированы установкой бита в регистре управления.

Логика фильтра может перезапускаться вручную путем установки бита разрешения BM сначала в низкое логическое состояние, а затем опять в высокое логическое состояние. Эта опция позволяет улучшить самотестируемость BM.

Возможности фильтрации можно сконфигурировать извне BM в безопасной области. В этом случае все видимые слова регистрируются, и регистры управления фильтрации становятся предназначенными только для чтения и всегда считываются, как установленные. Однако, можно контролировать регистрацию ошибок манчестерского кода/четности.

Отсутствие обработки ответа

В протоколе MIL-STD-1553 слово команды для кода режима, использующего индикатор «0» или стандартную передачу в подадрес 8, имеет ту же самую структуру, что и допустимое слово статуса. Поэтому при использовании фильтров подадреса или кода режимов может возникнуть неоднозначность, в этом случае RT не отвечает на подадрес. В таком случае BC снова отправляет команду на тот же RT на подадрес 8 или код режима с использованием индикатора 0 на той же шине. В результате слово второй команды интерпретируется как слово статуса и отфильтровывается.

Монитор шины может использовать инструментальный бит или резервные биты для устранения неопределенности, что означает, что этот случай никогда не произойдет,

когда используются подадресы 1–7, 9–30 и индикатор кода режима 31. Также эта ситуация никогда не произойдет в случае, если подадрес/код режима не используются, а используется только адрес RT.

Формат записей регистрирования

Каждая запись регистрирования состоит из двух 32-битовых слов, приведенных в таблицах 4.16.13, 4.16.14.

Таблица 4.16.13 – Слово «0» записи регистрирования данных BM GR1553B (смещение 0x00)

31	30	24	23	0
1	–	TIME		

- 31 Всегда установлено
- 30–24 Резервировано – Маскируется при чтении для обеспечения согласованности
- 23–0 Временная метка передачи (TIME)

Таблица 4.16.14 – Слово «1» записи регистрирования данных BM GR1553B (смещение 0x04)

31	30	20	19	18	17	16	15	0
0	–	BUS	WST	WTR	WD			

- 31 Всегда установлено
- 30–20 Резервировано – Маскируется при чтении для обеспечения согласованности
- 19 Шина приема данных (BUS): «0» – А, «1» – В
- 18, 17 Статус слова (WST): «00» – слово ОК, «01» – ошибка манчестерского кода, «10» – ошибка четности.
- 16 Тип слова (WTR): «0» – данные, «1» – команда/статус
- 15–0 Данные (WD)

4.16.7 Тактирование

Устройство работает в двух тактовых доменах: тактовом домене шины AMBA и тактовом домене кодека 1553, с синхронизацией и взаимодействием между доменами.

Тактирование AMBA должно осуществляться на частоте не менее 10 МГц. Задержка передачи до одного цикла тактирования с одним кодеком (50 мкс) допустима в каждом сигнале, проходящем через тактовую область.

Тактирование домена кодека 1553 осуществляется через отдельный вход (CLK_1553B) тактовым сигналом с фиксированной частотой 20 МГц (см. рисунок 4.16.4).

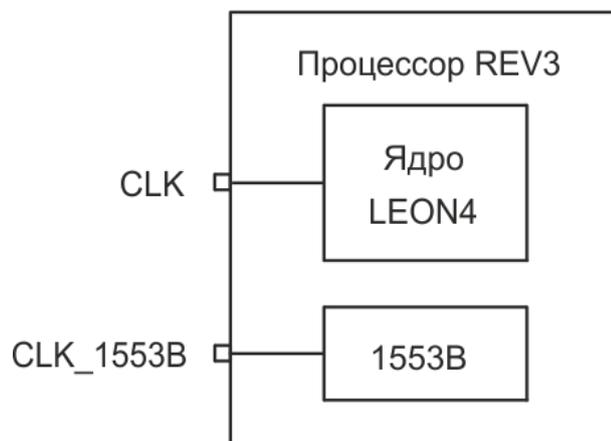


Рисунок 4.16.4– Схема тактирования ядра микропроцессора и интерфейсов Mil-STD-1553B

Назначение сигналов:

CLK – тактовый вход процессора;

CLK_1553B – тактирование интерфейсов Mil-STD-1553B.

4.16.8 Регистры

Программирование устройства осуществляется через регистры, отображаемые в адресуемом пространстве APB. Если RT, BC или BM ядра исключены из конфигурации, соответствующие регистры станут неактивными и будут возвращать нулевое значение при считывании, см. таблицу 4.16.15. Зарезервированные поля регистра должны быть сброшены и замаскированы после считывания.

Перечень регистров интерфейса Mil-STD-1553

Таблица 4.16.15 – Регистры интерфейса MIL-STD-1553

Смещение адреса APB	Регистр	R/W	Значение сброса
0x00	Регистр прерываний	R/W (для сброса должно быть установлено)	0x00000000
0x04	Регистр разрешений запросов на прерывания	R/W	0x00000000
0x08...0x0F	Зарезервировано	–	–
0x10	Регистр аппаратной конфигурации	R (константа)	0x00000000
0x14...0x3F	Зарезервировано	–	–
0x40...0x7F	Область регистров BC (см. таблицу 4.16.16)	–	–
0x80...0xBF	Область регистров RT (см. таблицу 4.16.17)	–	–
0xC0...0xFF	Область регистров BM (см. таблицу 4.16.18)	–	–

Набор регистров контроллера шины

Таблица 4.16.16 – Специальные регистры интерфейса MIL-STD-1553 для BC

Смещение адреса APB	Регистр	R/W	Значение сброса
0x40	Регистр конфигурации и статуса BC	R/W	0xd0000000
0x44	Регистр действий BC	W	–
0x48	Указатель на следующий список передач BC	R/W	0x00000000
0x4C	Указатель на следующий асинхронный список BC	R/W	0x00000000
0x50	Регистр таймера BC	R	0x00000000
0x54	Регистр выхода таймера из режима ожидания BC	R/W	0x00000000
0x58	Кольцевая позиция запроса на прерывание, инициируемого передачей BC	R/W	0x00000000
0x5C	Регистр перестановки шины BC Per-RT	R/W	0x00000000
0x60...0x67	Зарезервировано	–	–
0x68	Указатель текущего положения в списке передач BC	R	0x00000000
0x6C	Указатель текущего положения в асинхронном списке BC	R	0x00000000
0x70...0x7F	Зарезервировано	–	–

Набор регистров удаленного терминала

Таблица 4.16.17 – Специальные регистры интерфейса MIL-STD-1553 для RT

Смещение адреса APB	Регистр	R/W	Значение сброса
0x80	Регистр статуса RT	R	0x80000000
0x84	Регистр конфигурации RT	R/W	0x0000e03e*
0x88	Регистр битов статуса шины RT	R/W	0x00000000
0x8C	Регистр слов статуса RT	R/W	0x00000000
0x90	Регистр синхронизации RT	R	0x00000000
0x94	Базовый адрес таблицы подадреса RT	R/W	0x00000000
0x98	Регистр управления кода режима RT	R/W	0x00000555
0x9C...0xA3	Зарезервировано	–	–
0xA4	Регистр управления временной метки RT	R/W	0x00000000
0xA8	Зарезервировано	–	–
0xAC	Маска журнала регистрации событий RT	R/W	0xffffffff
0xB0	Позиция в журнале регистрации событий RT	R/W	0x00000000
0xB4	Позиция прерывания в журнале регистрации событий RT	R	0x00000000
0xB8...0xBF	Зарезервировано	–	–

* Значение сброса может меняться внешними входными сигналами RTADDR/RTPAR.

Набор регистров монитора шины

Таблица 4.16.18 – Специальные регистры интерфейса MIL-STD-1553 для BM

Смещение адреса APB	Регистр	R/W	Значение сброса
1	2	3	4
0xC0	Регистр статуса BM	R	0x80000000
0xC4	Регистр управления BM	R/W	0x00000000
0xC8	Регистр фильтрации адреса RT BM	R/W	0xffffffff
0xCC	Регистр фильтрации подадреса RT BM	R/W	0xffffffff

Окончание таблицы 4.16.18

1	2	3	4
0xD0	Регистр фильтрации кода режима RT VM	R/W	0xffffffff
0xD4	Начало буфера записей регистрации VM	R/W	0x00000000
0xD8	Конец буфера записей регистрации VM	R/W	0x00000007
0xDC	Позиция в буфере записей регистрации VM	R/W	0x00000000
0xE0	Регистр управления метки времени VM	R/W	0x00000000
0xE4...0xFF	Зарезервировано	–	–

В таблицах 4.16.19 – 4.16.50 представлены регистры, отображаемые в адресуемом пространстве APB.

Регистр прерываний

Таблица 4.16.19 – Регистр запросов на прерывание GR1553B

31	18	17	16	15	11	10	9	8	7	3	2	1	0
–	BMTOF	BMD	–	RTTE	RTD	RTEV	–	BCWK	BCD	BCEV			
0x0000	0	0	0x00	0	0	0	0x00	0	0	0			
r	wc	wc	r	wc	wc	wc	R	wc	wc	wc			

Биты считываются как установленные, если произошло прерывание; для подтверждения приема прерывания нужно записать «1».

- 31–18 Зарезервировано
- 17 Переполнение таймера VM (BMTOF)
- 16 Ошибка DMA VM (BMD)
- 15–11 Зарезервировано
- 10 Ошибка доступа к таблице RT (RTTE)
- 9 Ошибка DMA RT (RTD)
- 8 Прерывание, вызванное передачей RT (RTEV)
- 7–3 Зарезервировано
- 2 Прерывание выхода таймера из режима ожидания, BC (BCWK)
- 1 Ошибка DMA BC (BCD)
- 0 Прерывание, вызванное передачей BC (BCEV)

Регистр разрешений запросов на прерывания

Таблица 4.16.20 – Регистр разрешений запросов на прерывания GR1553B

31	18	17	16	15	11	10	9	8	7	3	2	1	0
–	BMTOE	BMDE	–	RTTEE	RTDE	RTEVE	–	BCWKE	BCDE	BCEVE			
0x0000	0	0	0x00	0	0	0	0x00	0	0	0			
r	rw	rw	r	rw	rw	rw	r	rw	rw	rw			

- 31–18 Зарезервировано
- 17 Разрешение прерывания при переполнении таймера VM (BMTOE)
- 16 Разрешение прерывания при возникновении ошибки DMA VM (BMDE)
- 15–11 Зарезервировано
- 10 Разрешение прерывания при возникновении ошибки доступа к таблице RT (RTTEE)
- 9 Разрешение прерывания при возникновении ошибки DMA RT (RTDE)
- 8 Разрешение прерывания при возникновении события, вызванного передачей RT (RTEVE)

- 7–3 Зарезервировано
- 2 Разрешение прерывания выхода таймера из режима ожидания, BC (BCWKE)
- 1 Разрешение ошибки DMA BC (BCDE)
- 0 Разрешение прерывания, вызванного передачей BC (BCEVE)

Регистр аппаратной конфигурации

Таблица 4.16.21 – Регистр аппаратной конфигурации GR1553B

31	30	12	11	10	9	8	7	0
MOD	–	XKEYS	ENDIAN	SCLK	CCFREQ			
0	0x00000	0	0x0	0	0x00			
r	r	r	r	r	r			

- 31 Модифицировано (MOD) – Зарезервировано для указания того, что устройство модифицировано/настроено произвольно
- 30–12 Зарезервировано
- 11 Установлено, если разрешены ключи безопасности для регистра управления ВМ и для всех полей регистра управления RT
- 10, 9 Порядок байт АНВ – Установлено в 0x0 – первым следует старший байт
- 8 Один тактовый сигнал (SCLK) – Зарезервировано для последующих версий для указания того, что ядро модифицировано для работы с одиночным тактовым сигналом
- 7–0 Частота тактирования кодека (CCFREQ) – Зарезервировано для последующих версий для указания того, что ядро работает с разной частотой тактирования кодека. Значение частоты в МГц, значение 0x0 означает 20 МГц

Описание регистров контроллера шины

Таблица 4.16.22 – Регистр конфигурации и статуса BC GR1553B (BCCS)

31	30	28	27	17	16	15	11	10	9	8	7	3	2	0
BCSUP	BCFEAT	–	BCCHK	ASADL	0	ASST	SCADL	SCST						
1	0x5	0x000	0	0x00	0	0x0	0x0	0x0						
r	r	r	rw	r	r	r	r	r						

- 31 Поддержка BC (BCSUP) – Бит установлен, поскольку устройство поддерживает режим BC
- 30–28 Особенности BC (BCFEAT) – Битовое поле, в котором дается описание дополнительных поддерживаемых возможностей («1» – поддерживается):
 30 – поддержка таймера планировщика BC;
 29 – поддержка прерываний при выходе из режима ожидания планировщика BC (сброшен);
 28 – поддержка регистра перестановки шины BC рег-RT и бита указателя STBUS
- 27–17 Зарезервировано
- 16 Проверка широковещательных сообщений (BCCHK) – Бит для записи. Если установлен, разрешено ожидание и проверка (неожидаемых) ответов на все широковещательные сообщения
- 15–11 Младшие адресные биты асинхронного списка (ASADL) – Биты 8–4 адреса указателя текущей (если ASST=01) или следующей асинхронной команды
- 10 Зарезервировано

- 9, 8 Состояние асинхронного списка (ASST) – Возможные значения поля: «00» – остановлено, «01» – выполнение команды, «10» – ожидание интервала ответа
- 7–3 Младшие адресные биты плана (SCADL) – Биты 8 – 4 адреса дескриптора текущего (если SCST = «001») или следующего плана
- 2–0 Состояние плана (SCST) – Биты сброшены, поскольку план находится в остановленном состоянии

Таблица 4.16.23 – Регистр действий BC GR1553B (BCACT)

31		16	15	10	9	8	7	5	4	3	2	1	0
	BCKEY	–		ASSTP	ASSRT	–		CLRT	SETT	SCSTP	SCSUS	SCSRT	
	–	–		–	–	–		–	–	–	–	–	–
	w	–		w	w	–		w	w	w	w	w	w

- 31–16 Защитный код (BCKEY) – Необходимо записать значение 0x1552, в противном случае запись в регистр будет игнорироваться
- 15–10 Зарезервировано
- 9 Остановка асинхронного плана (ASSTP) – Запись «1» останавливает асинхронный план (после текущей передачи, если выполняется)
- 8 Старт асинхронного плана (ASSRT) – Запись «1» запускает асинхронный план
- 7–5 Зарезервировано
- 4 Сброс внешнего активатора (CLRT) – Запись «1» сбрасывает активатор памяти
- 3 Установка внешнего активатора (SETT) – Запись «1» устанавливает активатор памяти
- 2 Остановка плана (SCSTP) – Запись «1» останавливает план (после текущей передачи, если выполняется)
- 1 Перевод плана в режим ожидания (SCSUS) – Запись «1» переводит план в режим ожидания (после текущей передачи, если выполняется)
- 0 Старт плана (SCSRT) – Запись «1» запускает план

Таблица 4.16.24 – Регистр следующего указателя передач BC GR1553B (BCNP)

31		0
	SCHEDULE TRANSFER LIST POINTER	
	0x00000000	
	rw	

- 31–0 Чтение: Текущая (если SCST=001) или следующая передача для выполнения в стандартном плане.
Запись: Изменение адреса. В рабочем режиме после окончания текущей передачи выполняется переход.

Таблица 4.16.25 – Регистр следующего указателя асинхронного списка BC GR1553B (BCNPA)

31		0
	SCHEDULE TRANSFER LIST POINTER	
	0x00000000	
	rw	

- 31–0 Чтение: Текущая (если ASST = 01) или следующая передача для выполнения в асинхронном плане.
Запись: Изменение адреса. В рабочем режиме после окончания текущей передачи выполняется переход.

Таблица 4.16.26 – Регистр таймера BC GR1553B (BCTMR)

31	24 23	0
–	SCHEDULE TIME (SCTM)	
0x00	0x000000	
r	r	

- 31–24 Зарезервировано
23:0 Истекшее время «плана передач» в микросекундах (только для считывания). Сброшено при остановке плана или при внешней синхронизации.

Приведенный выше регистр реализует дополнительный функционал, см. регистр конфигурации и статуса BC (таблица 4.16.22) поле BCFEAT бит 30.

Таблица 4.16.27 – Регистр указателя позиции кольцевого буфера указателей запросов на прерывание, запущенных передачей BC GR1553B (BCIP)

31	0
Указатель позиции кольцевого буфера указателей запросов на прерывание BC	
0x00000000	
rw	

- 31–0 Указатель текущей позиции в кольцевом буфере указателей запросов на прерывание, инициированных передачей. Биты 1, 0 всегда сброшены (выравнивание до 4 байт).
Циклический переход выполняется на границе 64 байт, поэтому биты 31–6 меняются только пользователем

Таблица 4.16.28 – Регистр перестановки шины BC GR1553B per-RT (BCSW)

31	0
BC PER-RT регистр перестановки шины	
0x00000000	
rw	

- 31–0 Операция «исключающее ИЛИ» будет выполняться между значением выбора шины и битами данной маски, соответствующей адресуемому RT (принимающий RT для передач из RT в RT). Этот регистр обновляется устройством при использовании бита указателя STBUS.

Приведенный выше регистр реализует дополнительный функционал, см. регистр конфигурации и статуса BC поле BCFEAT бит 28. Более подробная информация по использованию данной опции приведена в подпункте «Выбор шины» пункта «4.16.4».

Таблица 4.16.29 – Указатель текущей позиции в списке передач BC GR1553B (BCPP)

31	0
Указатель текущей передачи BC	
0x00000000	
r	

- 31–0 Указатель на дескриптор передачи, соответствующей текущему временному интервалу (только для считывания, допустимо только в рабочем режиме списка передач).
Биты 3–0 всегда сброшены (выравнивание до 128 бит /16 байт)

Таблица 4.16.30 – Указатель текущей позиции в асинхронном списке BC GR1553B (BCPPA)

31	0
BC Указатель текущей асинхронной передачи	
0x00000000	
r	

- 31–0 Указатель на дескриптор передачи, соответствующий текущему временному интервалу асинхронного плана (только для считывания, допустимо только в рабочем режиме асинхронного списка).
Биты 3:0 всегда сброшены (выравнивание до 128 бит/16 байт)

Описание регистров удаленного терминала

Таблица 4.16.31 – Регистр статуса RT GR1553B, только для считывания (RTST)

31	30	4	3	2	1	0
RTSUP	–	ACT	SHDA	SHDB	RUN	
1	0x00000000	0	0	0	0	0
r	r	r	r	r	r	r

- 31 Поддержка RT (RTSUP) – Бит считывается как установленный, если устройство поддерживает режим RT
- 30–4 Зарезервировано
- 3 Активный RT (ACT) – Бит установлен, если RT в данный момент обрабатывает передачу
- 2 Отключение шины A (SHDA) – Бит считывается как установленный, если шина A отключена BC (с помощью команды отключения передатчика на шине B)
- 1 Отключение шины B (SHDB) – Бит считывается как установленный, если шина B отключена BC (с помощью команды отключения передатчика на шине A)
- 0 RT в рабочем режиме (RUN) – Бит считывается как установленный, если RT принимает команды

Таблица 4.16.32 – Регистр конфигурации RT GR1553B (RTCFCG)

31	16	15	14	13	12	7	6	5	1	0
	RTKEY	SYS	SYDS	BRS	–	RTEIS	RTADDR	RTEN		
	0x0000	1	1	1	0x00	0	0x1F	0		
	w	rw	rw	rw	r	r	rw	rw		

- 31–16 Защитный код (RTKEY) – Необходимо записать значение 0x1553 для того, чтобы изменить адрес RT, в противном случае поле адреса не меняется при записи. При считывании данного регистра это поле считывается, как 0x0000. Если разрешены дополнительные защитные ключи (см. регистр конфигурации аппаратного оборудования), младшая половина ключа используется для защиты других полей регистра

- 15 Разрешение сигнала синхронизации (SYS) – Устанавливается для вывода импульса на выход rtsync после приема кода режима синхронизации (без данных)
- 14 Разрешение сигнала синхронизации с данными (SYDS) – Устанавливается для вывода импульса на выход rtsync после получения кода режима синхронизации со словом данных
- 13 Разрешение сигнала сброса шины (BRS) – Устанавливается для выдачи импульса на выход busreset после получения кода режима сброса удаленного терминала
- 12–7 Зарезервировано
- 6 Считывается как «1», если текущий адрес установлен через внешние входы. После установки адреса из программного обеспечения данное поле сбрасывается
- 5–1 Адрес RT (RTADDR)
- 0 Разрешение RT (RTEN) – Устанавливается для разрешения прослушивания запросов

Таблица 4.16.33 – Регистр статуса шины RT GR1553B (RTBST)

31		9	8	7	5	4	3	2	1	0
	–	TFDE	–	SREQ	BUSY	SSF	DBCA	TFLG		
	0x000000	0	0x0	0	0	0	0	0	0	0
	r	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

- 31–9 Зарезервировано
- 8 Автоматически устанавливает терминальный флаг в случае обнаружения ошибок DMA и ошибок таблицы дескрипторов (TFDE)
- 7–5 Зарезервировано
- 4–0 Данные биты отправляются в ответ статуса RT по шине 1553:
- 4 - запрос на обслуживание (SREQ);
- 3 - бит занятости (BUSY).
- Примечание – Если установлен бит занятости, ответ RT содержит только слово статуса, при этом передача не выполняется.
- 2 - флаг подсистемы (SSF);
- 1 - получение динамического управления шиной (DBCA);
- Примечание – Этот бит отправляется только в ответ на код режима динамического управления шиной.
- 0 - терминальный флаг (TFLG).
BC маскирует данный флаг при помощи команды «блокировка терминального флага», если разрешено

Таблица 4.16.34 – Регистр слов статуса RT GR1553B (RTW)

31		16	15	0
	BIT WORD (BITW)		VECTOR WORD (VECW)	
	0x0000		0x0000	
	rw		rw	

- 31–16 Слово BIT – Передается в ответ на команду «передача слова BIT», если разрешено
- 15–0 Векторное слово – Передается в ответ на команду «передача векторного слова», если разрешено

Таблица 4.16.35 – Регистр синхронизации RT GR1553B (RTS)

31	16	15	0
SYNC TIME (SYTM)		SYNC DATA (SYD)	
0x0000		0x0000	
r		r	

- 31–16 Значение таймера RT при последней синхронизации или при команде синхронизации со словом данных, если разрешено
- 15–0 Данные, полученные при последней синхронизации со словом данных, если разрешено

Таблица 4.16.36 – Регистр базового (основного) адреса таблицы подадресов RT GR1553B (RTBA)

31	9	8	0
SUBADDRESS TABLE BASE (SATB)		0	
0x000000		0x00	
rw		r	

- 31–9 Базовый адрес, биты 31–9 для таблицы подадреса
- 8–0 Всегда считываются как сброшенные, при записи – без изменений

Таблица 4.16.37 – Регистр управления кода режима RT GR1553B (RTCM)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
–	RRTB	RRT	ITFB	ITF	ISTB	IST	DBC								
0	0x0	0x0	0x0	0x0	0x0	0x0	0x0								
r	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw								

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TBW	TVW	TSB	TS	SDB	SD	SB	S								
0x0	0x0	0x1	0x1	0x1	0x1	0x1	0x1								
rw															

Для каждого кода режима: «00» – недопустимо, «01» – допустимо, «10» – допустимо, разрешена регистрация, «11» – допустимо, разрешены регистрация и прерывание.

- 31, 30 Зарезервировано
- 29, 28 Сброс широковещательного удаленного терминала (RRTB)
- 27, 26 Сброс удаленного терминала (RRT)
- 25, 24 Запрещение и отмена запрещения широковещательного бита терминального флага (ITFB)
- 23, 22 Запрещение и отмена запрещения терминального флага (ITF)
- 21, 20 Запуск широковещательного самотестирования (ISTB)
- 19, 18 Запуск самотестирования (IST)
- 17, 16 Динамическое управление шины (DBC)
- 15, 14 Передача слова BIT (TBW)
- 13, 12 Передача векторного слова (TVW)
- 11, 10 Широковещательное отключение, отмена отключения передатчика (TSB)
- 9, 8 Отключение, отмена отключения передатчика (TS)
- 7, 6 Широковещательная синхронизация со словом данных (SDB)
- 5, 4 Синхронизация со словом данных (SD)
- 3, 2 Широковещательная синхронизация (SB)

1, 0 Синхронизация (S)

Таблица 4.16.38 – Регистр управления метки времени RT GR1553B (RTTT)

31	16 15	0
TIME RESOLUTION (TRES)		TIME TAG VALUE (TVAL)
0x0		0x0
rw		rw

31–16 Разрешение метки времени (TRES) – Единица времени счетчика меток времени RT в микросекундах, минус 1
 15–0 Значение метки времени (TVAL) – Текущее значение счетчика меток времени в рабочем режиме

Таблица 4.16.39 – Регистр маски журнала регистрации событий RT GR1553B (RTM)

31	21 20	2 1	0
–		EVENT LOG SIZE MASK	
0x7FF		0x7FFF	
r		rw	

31–21 Биты должны быть установлены
 20–2 Маска, определяющая размер и выравнивание кольцевого буфера регистрации событий RT
 1–0 Биты должны быть сброшены

Таблица 4.16.40 – Регистр позиции в журнале регистрации событий RT GR1553B (RTP)

31	0
EVENT LOG WRITE POINTER	
0x00000000	
rw	

31–0 Адрес первой неиспользуемой/наиболее ранней записи буфера регистрации событий, с выравниванием до 32 бит

Таблица 4.16.41 – Регистр позиции прерывания в журнале регистрации событий RT GR1553B (RTIP)

31	0
EVENT LOG IRQ POINTER	
0x00000000	
r	

31–0 Адрес записи регистрации события, соответствующего прерыванию, с выравниванием до 32 бит

Описание регистров монитора шины

Таблица 4.16.42 – Регистр статуса BM GR1553B (BMST)

31	30	29	0
BMSUP	KEYEN	–	
1	*	0	
r	r	r	

- 31 Поддержка ВМ (BMSUP) – Бит считывается как установленный поскольку устройство поддерживает ВМ
- 30 Разрешение ключа (KEYEN) – Бит считывается как установленный, если ВМ подтверждает правильность поля ВМKEY при записи в регистр управления
- 29–0 Зарезервировано

Таблица 4.16.43 – Регистр управления ВМ GR1553B (BMCR)

31		16	15		6	5	4	3	2	1	0
	BMKEY		–		WRSTP	EXST	IMCL	UDWL	MANL	BMEN	
	0x0000		0x000		0	0	0	0	0	0	0
	rw		r		rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

- 31–16 Ключ безопасности – Если разрешено использование ключа безопасности (KEYEN), данное поле должно быть установлено в 0x1543 для успешной записи информации в регистр управления
- 15–6 Зарезервировано
- 5 Остановка при циклическом переходе (WRSTP) – Если данный бит установлен, бит ВМЕН будет сброшен и ВМ остановлен, когда будет осуществлен автоматический перевод позиции буфера регистрации ВМ с последней записи на начальную
- 4 Старт внешней синхронизации (EXST) – Если в бит записывается логическая единица, будет установлен бит ВМЕН и ВМ начнет работать, когда придет внешний импульс синхронизации ВС
- 3 Регистрация недопустимого кода режима (IMCL) – Устанавливается для регистрации недопустимых или зарезервированных кодов режима
- 2 Регистрация неожиданных слов данных (UDWL) – Устанавливается для регистрации слов данных, которые не являются частью какой-либо команды
- 1 Регистрация ошибки манчестерского кода/четности (MANL) – Устанавливается для регистрации ошибок декодирования битов
- 0 Разрешение ВМ (ВМЕН) – Должно быть установлено для разрешения регистрации ВМ

Таблица 4.16.44 – Регистр фильтрации адреса RT ВМ GR1553B (BMMA)

31	30										0
		Регистр маски фильтра адреса									
	1	0x7FFFFFFF									
	rw	rw									

- 31 Разрешение ведения регистрации широковещательных передач
- 30–0 Каждая битовая позиция, установленная в «1», разрешает ведение регистрации передач с соответствующим адресом RT

Таблица 4.16.45 – Регистр фильтрации подадреса RT ВМ GR1553B (BMMSA)

31	30										1	0
		Регистр маски фильтра подадреса										
	1	0x3FFFFFFF										
	rw	rw										

- 31 Разрешение ведения регистрации команд режима на подадресе 31

- 30–1 Каждая битовая позиция, установленная в «1», разрешает запись передач с соответствующим подадресом RT
 0 Разрешение ведения регистрации команд режима на подадресе 0

Таблица 4.16.46 – Регистр фильтрации кода режима RT BM GR1553B (BMFCM)

31		19	18	17	16
	–		STSB	STS	TLC
	0x1FFF		1	1	1
	r		rw	rw	rw

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
TSW	RRTB	RRT	ITFB	ITF	ISTB	IST	DBC	TBW	TVW	TSB	TS	SDB	SD	SB	S
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

Каждый установленный бит разрешает регистрацию кода режима:

- 31–19 Зарезервировано
 18 Отключение широковещательного транслирования передатчика и отмена отключения широковещательного транслирования передатчика (STSB)
 17 Отключение выбранного передатчика и отмена отключения выбранного передатчика (STS)
 16 Передача последней команды (TLC)
 15 Передача слова статуса (TSW)
 14 Сброс широковещательно транслирующего удаленного терминала (RRTB)
 13 Сброс удаленного терминала (RRT)
 12 Запрещение и отмена запрещения терминального флага широковещательного транслирования (ITFB)
 11 Запрещение и отмена запрещения терминального флага (ITF)
 10 Запуск самопроверки широковещательного транслирования (ISTB)
 9 Запуск самопроверки (IST)
 8 Динамическое управление шины (DBC)
 7 Передача слова BIT (TBW)
 6 Передача векторного слова (TVW)
 5 Отключение передатчика, отмена отключения передатчика широковещательного транслирования (TSB)
 4 Отключение передатчика, отмена отключения передатчика (TS)
 3 Синхронизация широковещательного транслирования со словом данных (SDB)
 2 Синхронизация со словом данных (SD)
 1 Синхронизация широковещательного транслирования (SB)
 0 Синхронизация (S)

Таблица 4.16.47 – Начало буфера регистрации BM GR1553B (BMSLB)

31		0
	BM LOG BUFFER START	
	0x00000000	
	rw	

- 31–0 Указатель на младший адрес буфера регистрации BM (с выравнением до 8 байт). Из-за выравнивания биты 2–0 всегда сброшены

Таблица 4.16.48 – Окончание буфера регистрации VM GR1553B (BMELB)

31	22 21	3 2	0
–	BM LOG BUFFER END		1
0x000	0x00000		0x7
r	rw		r

31–0 Указатель на старший адрес буфера записи VM. Устанавливаются только биты 21–3, т.е. буфер не может превышать 4 Мбайт. Считывание битов 31–22 осуществляется так же, как в стартовом адресе буфера. Из-за выравнивания биты 2–0 всегда установлены

Таблица 4.16.49 – Позиция буфера регистрации VM GR1553B (BMPLB)

31	22 21	3 2	0
–	BM LOG BUFFER POSITION		0
0x000	0x00000		0x0
r	rw		r

31–0 Указатель следующей позиции буфера регистрации VM, в которую будет выполняться запись. Устанавливаются только биты 21–3, т. е. буфер не может превышать 4 Мбайт. Считывание битов 31–22 осуществляется так же, как в стартовом адресе буфера. Из-за выравнивания биты 2–0 всегда сброшены

Таблица 4.16.50 – Регистр управления метки времени VM GR1553B (BMTT)

31	24 23	0
TIME TAG RESOLUTION	TIME TAG VALUE	
0x00	0x000000	
rw	rw	

31–24 Разрешение метки времени (TRES) – Единица времени счетчика меток времени VM в микросекундах, минус 1

23–0 Значение метки времени (TVAL) – Текущее значение счетчика меток времени в рабочем режиме

4.17 Интерфейс SpaceWire с поддержкой RMAP

4.17.1 Общие сведения

В составе процессора 1906BM016 имеется четыре модуля SpaceWire (GRSPW2) с базовыми адресами регистров 0x80100500, 0x80100600, 0x80100700, 0x80100800 (в соответствии с пунктом «2.1.4»). В каждый модуль SpaceWire интегрирован блок физического уровня (PHY) с резистором согласования 100 Ом. На рисунке 4.17.1 приведена упрощенная схема, показывающая подключение внутреннего согласующего резистора. Следует обратить внимание на тот факт, что драйверы всех четырех каналов SpaceWire по сбросу находятся в режиме PowerDown. Для перевода их в рабочий режим следует использовать [регистр управления драйверами LVDS контроллера конфигурации](#).

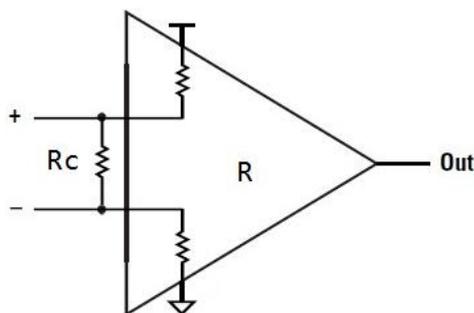


Рисунок 4.17.1 – Упрощенная схема подключения регистра согласования

Устройство SpaceWire обеспечивает интерфейс между шиной АНВ и сетью SpaceWire. Данное устройство реализует стандарт SpaceWire (ECSS-E-ST-50-12C) с расширением идентификации протокола (ECSS-E-ST-50-51C). Дополнительный протокол доступа к удаленному запоминающему устройству (RMAP) реализует стандарт ECSS (ECSS-E-ST-50-52C).

Интерфейс SpaceWire настраивается через регистры, которые доступны через интерфейс APB. Данные передаются через канал DMA (Direct Memory Access), используя ведущий интерфейс АНВ.

Используется три тактовых домена: для интерфейса АНВ (системный тактовый сигнал), для передатчика и для приемника.

Устройство поддерживает только 32-битовые хост-системы с порядком следования «сначала старший байт» с байтовой адресацией. Передача осуществляется по положительному фронту тактового сигнала (Single Data Rate, SDR). Захват данных приёмником производится по обоим фронтам тактового сигнала (Double Data Rate, DDR).

4.17.2 Принцип работы

Общие сведения

Основные подблоки: интерфейс связи, RMAP и интерфейс АМВА. Блок-схема внутренней структуры изображена на рисунке 4.17.2.

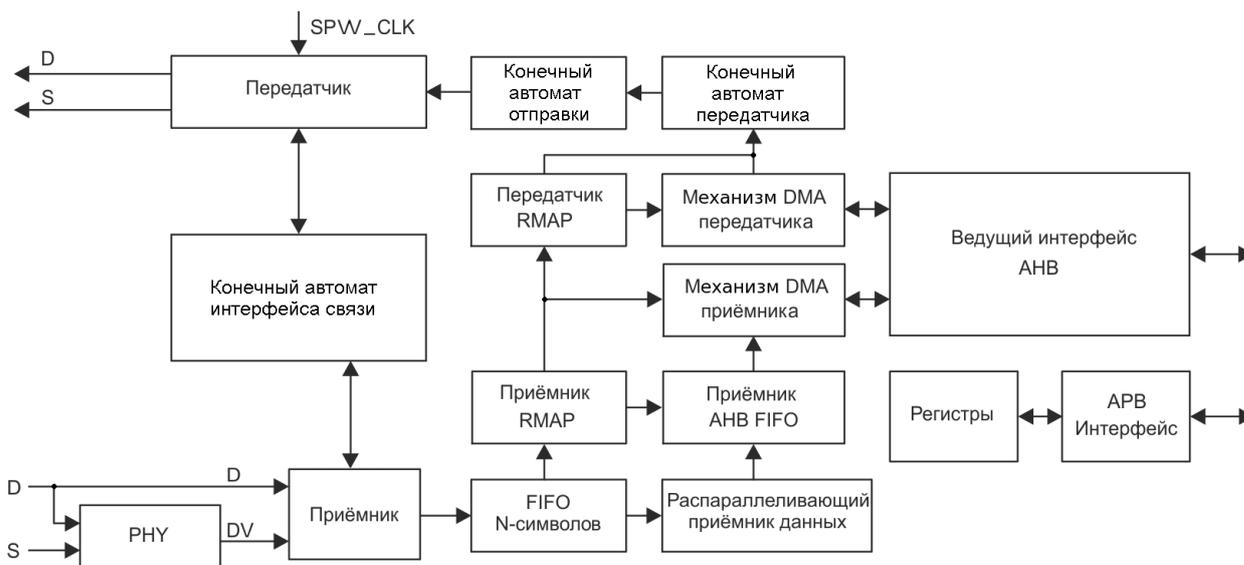


Рисунок 4.17.2 – Блок-схема

Интерфейс связи состоит из приемника, передатчика и конечного автомата (КА) интерфейса связи. Они обеспечивают связь по сети SpaceWire. Блок РНУ представляет собой отдельный модуль, его краткое описание приведено в пункте «4.17.3». Интерфейс AMBA состоит из механизма DMA, интерфейса ведущего устройства АНВ и интерфейса АРВ. Интерфейс связи обеспечивает связь с механизмом DMA через FIFO. Данные буферы используются для передачи N-символов (N-Char, normal-characters, информационные символы) между доменами шины AMBA и SpaceWire в ходе приема и передачи.

RMAP приёмник обрабатывает входящие пакеты вместо механизма DMA, если их содержимое идентифицировано как команды RMAP. Команда RMAP декодируется, и, в случае допустимости, на шине АНВ выполняется соответствующая операция. При запросе ответа передатчик RMAP автоматически возвращает его источнику.

Описание интерфейса связи, механизмов DMA, RMAP и интерфейса AMBA приводится в пунктах 4.17.5, 4.17.6, 4.17.7, 4.17.8 данного РП.

Поддержка протокола

Устройство принимает пакеты только с действительным адресом назначения в первом получаемом байте. Пакеты с другими адресами без каких-либо уведомлений будут проигнорированы (за исключением «неразборчивого» режима, см. заключительный подзаголовок пункта «4.17.5»).

Следующий байт иногда интерпретируется как протокол ID, который описывается ниже. Протокол RMAP (ID=0x1) единственный протокол, манипуляции над которым осуществляются отдельно на аппаратном уровне, тогда как другие пакеты сохраняются через канал DMA. Если RMAP разрешен, все команды RMAP обрабатываются, выполняются и получают ответ автоматически через аппаратные средства RMAP. Иначе команды RMAP сохраняются через канал DMA, таким же образом, как и другие пакеты. Ответы RMAP всегда сохраняются через канал DMA. Более подробная информация о поддержке протокола RMAP находится в пункте «4.17.7». Когда RMAP отключен, нет необходимости включать идентификатор протокола в пакетах и данные могут начинаться непосредственно после адреса.

Все пакеты, поступающие с расширенным протоколом ID (0x00), сохраняются через канал DMA. Это означает, что аппаратные средства RMAP не будут работать, если входящие пакеты RMAP используют расширенную идентификацию протокола. Следует отметить, что пакеты с расширенной идентификацией протокола (ID = 0x000000) не игнорируются устройством. Необходимость игнорирования пакетов определяет пользователь, принимающий данный пакет.

При передаче пакетов поля адреса и идентификации протокола должны быть включены в буферы, где данные извлекаются. Они не добавляются автоматически.

В таблице 4.17.1 представлены типы пакетов, поддерживаемые системой. Также разрешается прием и передача с идентификатором расширенного протокола, но без поддержки расчетов CRC RMAP и целевого RMAP.

Таблица 4.17.1 – Типы пакетов SpaceWire, поддерживаемых GRSPW2

Addr	ProtID	D0	D1	D2	D3	...	Dn-2	Dn-1	EOP
Addr	D0	D1	D2	D3	D4	...	Dm-2	Dm-1	EOP

4.17.3 Интерфейс связи

Интерфейс связи обеспечивает связь по сети SpaceWire и состоит из передатчика, приемника, интерфейсов КА и FIFO.

Конечный автомат интерфейса связи

Конечный автомат (КА) контролирует интерфейс связи (для получения более подробной информации – см. стандарт SpaceWire). Обработка протокола нижнего уровня (сигнальный и символьный уровень стандарта SpaceWire) выполняется передатчиком и приёмником, в то время как КА занимается обработкой уровня обмена.

Интерфейс конечного автомата управляется через [регистр управления](#). Линия связи может быть отключена с помощью бита запрета соединения (LD), который, в зависимости от текущего статуса, либо блокирует интерфейс связи либо принудительно переводит его в состояние сброса после сбоя (ErrorReset). Если соединение разрешено, КА интерфейса связи запускается при условии, что установлен бит старта соединения (LS) или получен NULL-символ и установлен бит автозапуска (AS).

Текущий статус интерфейса связи определяет тип символов, доступных для передачи, который вместе с запросами от хост-интерфейсов определяет, что будет отправлено.

Передача системного времени (тайм-кодов) осуществляется, если КА находится в рабочем режиме (Run) и был получен соответствующий запрос от интерфейса синхронизации (подробнее об этом – в пункте «4.17.4»).

Если интерфейс связи имеет статус соединение (Connecting) или рабочий режим (Run), то разрешена отправка символов управления потоком (FCT). FCT отправляются интерфейсом связи автоматически, когда это возможно. Данные действия производятся на основании текущего свободного места в приёмном буфере N-символов (normal characters, информационных символов) и определенного в стандарте максимального значения счетчика разрешений ожидающих передач данных – 56. Отправка FCT осуществляется до тех пор, пока в FIFO имеется место как минимум под 8 записей (объем FIFO N-символов приемника см. в пункте «4.17.9») и значение счетчика разрешений, ожидающих передачи данных, меньше или равно 48.

N-символы отправляются в рабочем режиме (Run), если они доступны из FIFO передатчика, а также, если доступны разрешения на передачу. NULL-символы отправляются при отсутствии запросов на передачу других символов или если КА имеет статус, который не разрешает выполнения других передач.

Счетчик разрешений на передачу (входящие разрешения на передачу) автоматически увеличивается на 8 при получении FCT и уменьшается на 1 при передаче каждого N-символа. Полученные N-символы сохраняются в FIFO N-символов приёмника для последующей обработки интерфейсом DMA. Полученные коды синхронизации (тайм-коды) обрабатываются интерфейсом синхронизации.

Передатчик

Состояние FSM, счетчики разрешений на передачу, запросы интерфейса синхронизации и интерфейса DMA используются для определения следующего передаваемого символа. Тип символа и сам символ (для N-символов и тайм-кодов) для передачи находятся в передатчике нижнего уровня, который расположен в отдельном тактовом домене.

Это необходимо в связи с тем, что обычно связь SpaceWire запускается с частотой, не соответствующей частоте тактирования системы. В устройстве имеется отдельный тактовый вход, который используется для генерации тактирования передатчика. Поскольку передатчик нередко работает с большой частотой тактирования (более 100 МГц), для минимизации потребления энергии и обеспечения синхронизации вся логика, которая это позволяет, размещена в тактовом домене системы.

Логика передатчика в тактовом домене системы определяет какой символ послать следующим, устанавливает надлежащие управляющие сигналы, а также обеспечивает низкоуровневую передачу – см. рисунок 4.17.3. Передатчик отправляет запрошенные

символы и генерирует соответствующие биты четности и управления. До тех пор, пока передача разрешена, при отсутствии запросов домена хост-системы отправляются NULL. Большинство сигнальных и символьных уровней стандарта SpaceWire обрабатывается в передатчике. Для сигналов данных и строга необходим внешний LVDS драйвер. Выходы сконфигурированы с одинарной скоростью передачи данных (SDR).

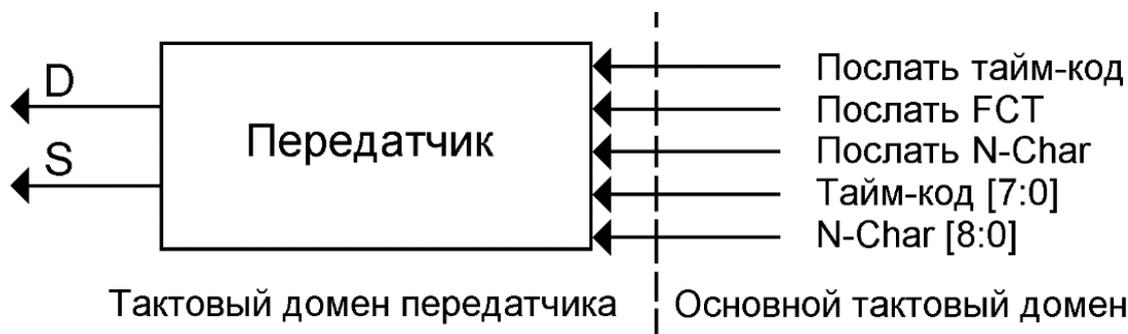


Рисунок 4.17.3 – Схема передатчика с интерфейсом связи

КА передатчика считывает N-символы для передачи из FIFO передатчика. Интерфейс DMA передает сведения о длине пакета, при этом КА передатчика при необходимости добавляет значения EOP/EEP и CRC RMAP. По окончании обработки пакета интерфейс DMA получает соответствующее уведомление и выдается новое значение длины пакета.

Приемник

Приёмник обнаруживает подключения других узлов и получает символы в виде битового потока, восстановленного из сигналов данных и строга модулем РНУ, который представляет их в качестве сигнала данных и сигнала действительности данных. Приёмник и РНУ расположены в отдельном тактовом домене, который работает от тактового сигнала, генерируемого модулем РНУ.

Приёмник включается при выходе интерфейса связи из состояния сброса после сбоя (ErrorReset). После приема NULL-символа приёмник может начать принимать любые символы. Он обнаруживает ошибки по четности, ошибки перехода и ошибки счетчика разрешений на передачу, которые приводят к тому, что интерфейс связи входит в состояние сброса. Рассоединения обрабатываются в интерфейсе связи в тактовом домене передатчика, так как тактирование приёмника при такой ситуации не доступно.

Принятые символы отмечаются как принадлежащие хост-домену, данные представлены в параллельном виде. Интерфейс хост-домена показан на рисунке 4.17.4.

L-символы (L-Char, link-символы, каналные символы) обрабатываются автоматически интерфейсом связи хост-домена, все N-символы сохраняются в FIFO приёмника для последующей обработки. При приеме двух или более последовательных EOP/EEP все, кроме первого из них, отбрасываются.

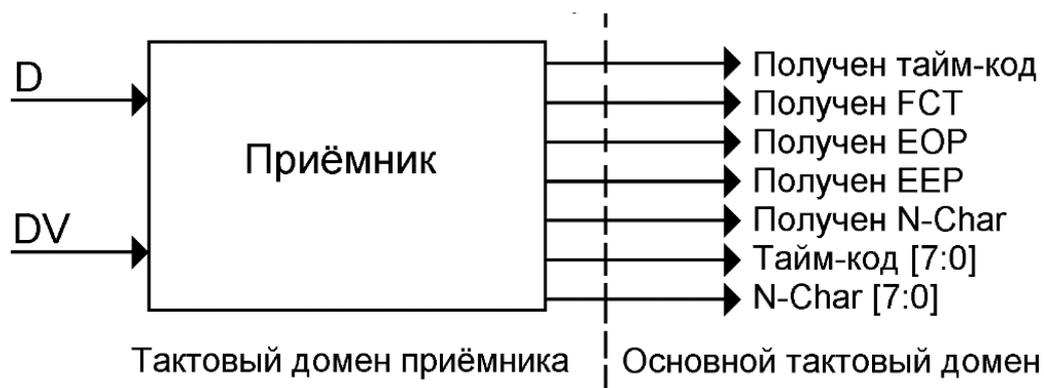


Рисунок 4.17.4 – Схема приемника с интерфейсом связи

Приёмник физического уровня РНУ

Приёмник обеспечивает восстановление входных данных выборкой DDR. Обработка выполняется в блоке физического уровня, и данные передаются в приёмник в виде сигнала данных и сигнала корректности данных.

Установка скорости канала связи

Поле CLKDIVSTART регистра тактового делителя определяет скоростной режим во время инициализации (все состояния вплоть до «соединение» включительно). Этот регистр также используется для вычисления тайм-аута интерфейса FSM (6,4 мкс и 12,8 мкс, как определено в стандарте SpaceWire). Значение поля CLKDIVSTART всегда должно быть установлено так, чтобы во время инициализации выдерживалась частота в 10 МГц. При выполнении данного условия величина тайм-аута рассоединения также будет рассчитана корректно.

Для того, чтобы рассчитать требуемое значение CLKDIVSTART, следует воспользоваться формулой $CLKDIVSTART = (\langle SPW_CLK \text{ в МГц} \rangle / 10) - 1$.

Скорость передачи в рабочем режиме задается с помощью соответствующего коэффициента делителя CLKDIVRUN (поле регистра тактового делителя) и рассчитывается по следующей формуле:

$$\langle \text{Скорость в рабочем режиме в Мбит/с} \rangle = \langle SPW_CLK \text{ в МГц} \rangle / (CLKDIVRUN + 1)$$

Примечание – При подключении к трансиверу Cobham SpaceWire существует ограничение на используемые значения делителя. Все четные значения (кроме 0) будут обеспечивать ту же скорость передачи бит, что и соответствующие им нечетные значения, которые больше на 1.

4.17.4 Распространение системного времени (тайм-кодов)

Тайм-коды являются кодами управления, которые состоят из двух флагов контроля (биты 7:6) и значений системного времени (биты 5:0). Они используются для распространения времени в сети SpaceWire. Текущее значение времени (значение последних полученных или переданных тайм-кодов) и управляющие флаги могут быть прочитаны из регистра системного времени (тайм-кодов).

Прием тайм-кодов

Когда управляющий код принят, а также флаги контроля (биты 7:6) имеют значение «00» или сброшен бит фильтра флагов контроля тайм-кодов (TF) [регистра управления](#), тогда принятый управляющий код считается тайм-кодом.

Если разрешен прием тайм-кодов (бит TF регистра управления установлен в 1), то полученное значение времени сохраняется в поле TIMECN [регистра системного времени \(тайм-кодов\)](#). Если полученное значение времени равно TIMECNT+1 (по модулю 64), тогда тайм-код считается действительным.

Когда принят действительный тайм-код, в дополнение к обновлению значения времени полученные контрольные флаги сохраняются в поле TCTRL. Так же, когда принят действительный тайм-код, устанавливается бит TO [регистра статуса](#) и генерируется прерывание на шине AMBA, если биты разрешения прерываний (IE) и прерывания при получении тайм-кода (TQ) [регистра управления](#) установлены.

Передача тайм-кодов

Для того, чтобы передать тайм-код, требуется установить бит входного отсчета (TI) [регистра управления](#). Когда бит установлен, текущее значение времени (поле TIMECNT [регистра системного времени \(тайм-кодов\)](#)) инкрементируется (по модулю 64) и тайм-код, состоящий из нового значения времени и текущих флагов контроля (поле TC регистра системного времени (тайм-кодов)), отсылается. Бит TI будет оставаться в установленном состоянии до тех пор, пока тайм-код будет передаваться. Данная операция предварительно требует установки бита разрешения передачи тайм-кодов (TT) регистра управления. Если передача тайм-кодов запрещена, то запись в бит TI не возымеет эффекта.

Обратите внимание, что интерфейс связи должен быть в состоянии «Run» для того, чтобы иметь возможность отправить тайм-код.

4.17.5 Приёмный канал DMA

Приёмник механизма DMA управляет приемом данных из сети SpaceWire по каналу DMA.

Сравнение адреса

Путь полученного пакета зависит от его адреса и разрешения/запрещения канала. Когда FIFO N-символов приёмника содержит один или более символов, они считываются с помощью механизма DMA приёмника. Первый символ интерпретируется как логический адрес, пакет будет сохранен с использованием DMA, если его адрес будет соответствовать адресу канала DMA. Указатель на область памяти, в которой сохранен полный пакет, включая адрес и идентификатор протокола, но исключая EOP/EER, и хранится в дескрипторе канала (объяснено позже в этом пункте).

Каждый регистр адреса SpaceWire имеет соответствующий регистр масок. Только биты, содержащие значение 0, в соответствующем регистре масок сравниваются. Таким образом, канал DMA может принять ряд адресов. Для проверки соответствия адреса в канале DMA, если для него не установлен бит отдельной адресации, и для идентификации команд RMAP в приемнике RMAP используется регистр адреса по умолчанию. Если в регистре управления каналом DMA разрешена отдельная адресация, то для сравнения используется пара собственных регистров адреса/маски адреса.

На рисунке [4.17.5](#) показана блок-схема приема пакета.

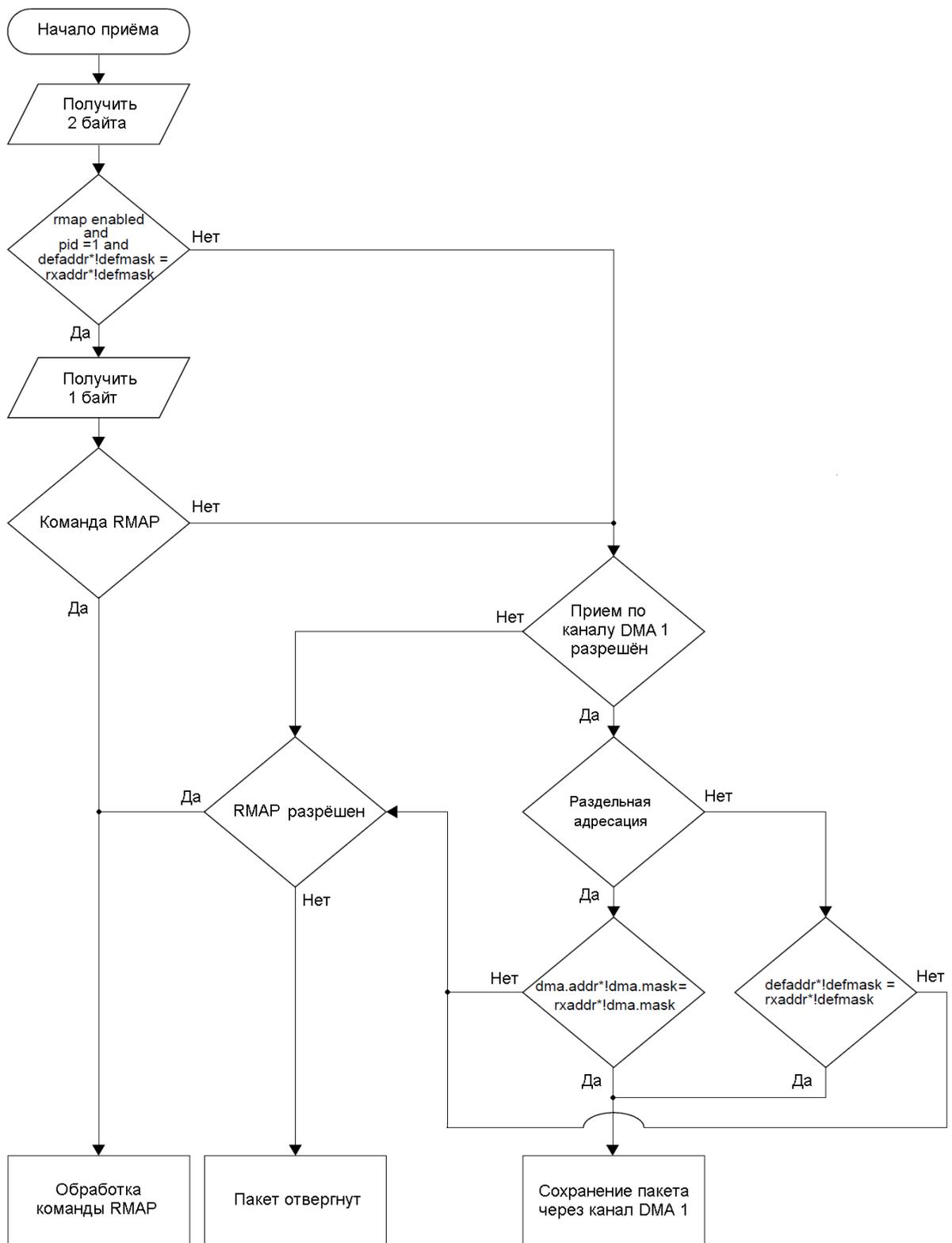


Рисунок 4.17.5 – Блок-схема приёма пакетов

Команда RMAP принимается в обработку, только если значение принятого адреса (включая маску) соответствует значению [регистра адреса по умолчанию](#). В противном случае пакет будет сохранен через канал DMA, если он имеет соответствующий адрес. Если адрес не совпадает ни со значением адреса по умолчанию, ни со значением [регистра адреса канала DMA](#), то пакет будет обрабатываться приемником RMAP (если он разрешен), так как он должен вернуть код ошибки неверного адреса. Пакет сбрасывается

(вплоть до следующего EOP/EEP), только когда адрес не найден и приёмник RMAP не разрешен.

Пакеты, кроме команд RMAP, адрес которых не соответствует ни адресному регистру DMA, ни адресному регистру по умолчанию, будут игнорированы.

По крайней мере два N-символа, отличающихся от EOP/EEP, должны быть получены для сохранения пакета, предназначенного для канала DMA, пока не разрешен «неразборчивый» режим, в котором достаточно одного N-символа. Если это RMAP пакет и RMAP разрешен, необходимо три N-символа, так как старший байт определяет, где обрабатывается пакет. Пакеты меньших размеров игнорируются.

Основные функциональные возможности канала

Работа приёмника базируется на последовательно расположенных в памяти дескрипторах, которые содержат указатели на буферы, в которые должны быть сохранены пакеты. Дескриптор считывается из области дескрипторов канала DMA, и принятый пакет сохраняется в область памяти, указываемую в дескрипторе. В заключении статус сохраняется в текущий дескриптор, и производится автоматический переход к очередному дескриптору. В следующих подпунктах прием через канал DMA будет описан более подробно.

Подготовка устройства для приёма

Перед приемом некоторые регистры должны быть инициализированы. Первоначально, перед отправкой данных, необходимо перевести интерфейс связи в рабочий режим (Run). Канал DMA имеет [регистр максимального размера принимаемого пакета](#), который задает максимальный размер пакета для получения каналом. Большие пакеты усекаются, и данные, превысившие обозначенный предел, сбрасываются. Если это произошло, то данный факт будет отражен в поле статуса дескриптора. Минимальное значение поля максимального размера приемника – 4, при этом значение можно увеличивать с шагом в четыре байта до максимального значения 33 554 428. Если максимальный размер установлен в «0», нормальная работа приемника не гарантируется.

Также должен быть установлен либо [регистр адреса по умолчанию](#), либо [регистр адреса канала DMA](#). Бит разрешения адреса (EN) [регистра управления/статуса канала DMA](#) определяет, какая из пар адрес/маска адреса будет использована для сравнения с адресом принимаемого пакета.

Наконец, таблица дескрипторов и [регистр управления](#) также должны быть инициализированы. Этот процесс описан в двух следующих подпунктах.

Установка адреса таблицы дескрипторов

Устройство считывает дескрипторы из области в памяти, на которую указывает [регистр адреса таблицы дескрипторов приёмника](#). Регистр состоит из поля базового адреса и селектора дескрипторов. Базовый адрес указывает на начало области и должен быть выровнен относительно размера таблицы дескрипторов. Размер этой таблицы в байтах определяется по формуле: $NRXD \times 8$. Поле [NRXD регистра статуса](#) определяет количество записей в таблице, каждый дескриптор занимает 8 байт.

Поле селектора дескрипторов указывает на отдельные дескрипторы и увеличивается на единицу после использования текущего дескриптора. При достижении значением поля верхней границы, он автоматически переводится на начало. Так же подобный переход может быть осуществлен до достижения верхнего предела, путем установки бита перехода на начало в дескрипторе. Идея заключается в том, что поле селектора должно быть инициализировано значением «0» (начало области дескрипторов), но в него может быть записано и другое значение, выровненное до 8 байт для запуска где-

либо в середине области. При достижении селектором верхней границы он все равно будет переходить в начало области дескрипторов.

При необходимости использования новой таблицы дескрипторов в первую очередь следует сбросить бит разрешения приёмника (RE) регистра управления/статуса канала DMA. Если бит RX (осуществляется приём) данного регистра сброшен, то обновление регистра адреса таблицы дескрипторов приёмника безопасно. После завершения обновления и установки бита доступности нового дескриптора приёмника (RD) можно снова установить бит разрешения приёмника (RE).

Разрешение на использование дескрипторов

Как указывалось выше, для обеспечения приема необходимо разрешить использование одного или более дескрипторов. Размер каждого дескриптора – 8 байт (см. в таблицах ниже). Дескрипторы должны быть записаны в область памяти, на которую указывает регистр адреса таблицы дескрипторов приёмника. В случае добавления новых указателей, они должны размещаться после предыдущего, записанного в область. В противном случае они не учитываются.

Активация дескриптора осуществляется путем установки адреса указателя на область памяти, отведенную для сохранения данных, после чего устанавливается бит разрешения на использование (EN). Бит WR устанавливается для сброса поля селектора дескриптора регистра адреса таблицы дескрипторов приёмника после завершения приема по данному дескриптору. Бит IE должен быть установлен, если после завершения приема требуется прерывание. Бит разрешения прерывания (RI) регистра управления/статуса канала DMA так же должен быть установлен для генерации прерывания.

Адрес пакета дескриптора не обязан быть выровнен по границе слова. Любое количество байт может быть получено по любому возможному адресу пакета без какой-либо избыточной перезаписи. Отдельно взятый дескриптор представлен в таблицах 4.17.2 и 4.17.3.

Таблица 4.17.2 – Слово «0» дескриптора приема GRSPW2 (смещение адреса 0x0)

31	30	29	28	27	26	25	24					0
TR	DC	HC	EP	IE	WR	EN	PACKETLENGTH					

- 31 Усечённый (TR) – пакет усечен ввиду превышения заданного максимального размера
- 30 CRC данных (DC) – устанавливается, если обнаружена ошибка CRC данных; в противном случае – сброшено
- 29 CRC заголовка (HC) – устанавливается, если обнаружена ошибка CRC заголовка; в противном случае – сброшено
- 28 Завершение EEP (EP) – данный пакет завершен с символом «пакет завершен с ошибкой» (Error End of Packet)
- 27 Разрешение прерывания (IE) – если установлено, после приема пакета генерируется прерывание, если в регистре управления/статуса канала DMA установлен бит разрешения прерывания при приеме (RI)
- 26 Переход на начало (WR) – если установлено, следующий используемый дескриптор будет первым в таблице дескрипторов (располагаться по базовому адресу). В противном случае указатель на дескриптор увеличивается на 0x08 для обеспечения использования следующего дескриптора, расположенного далее в памяти. При достижении границы таблицы дескрипторов, указанной в предыдущем подпункте, указатель автоматически переходит обратно на базовый адрес

- 25 Разрешение на использование (EN) – устанавливается для активации дескриптора. Это означает, что дескриптор содержит действительные управляющие значения и область памяти, на которую ссылается поле адреса пакета и может использоваться для сохранения пакета
- 24–0 Размер пакета (PACKETLENGTH) – количество байт, принятых в данный буфер. Допустимо после сброса EN GRSPW

Таблица 4.17.3 – Слово «1» дескриптора приема GRSPW2 (смещение адреса 0x4)

31	0
PACKETADDRESS	

- 31–0 Адрес пакета (PACKETADDRESS) – адрес, указывающий на буфер для сохранения принятого пакета

Установка регистра управления DMA

Последний этап для приема пакетов – установка регистра управления: необходимо разрешить приёмник установкой бита RE в [регистре управления/статуса канала DMA](#). Это можно сделать в любой момент: пока бит не установлен, операция не запускается. Бит доступности дескриптора приёмника (RD) также устанавливается для информирования о наличии новых активированных дескрипторов. Это действие всегда должно выполняться после активации дескрипторов; в противном случае система может не обнаружить новые дескрипторы. Остальные дескрипторы могут быть активированы после начала приема при разрешении дескриптора на использование и записи бита RD регистра управления/статуса канала DMA. После установки этих бит приём начинается непосредственно при поступлении данных.

Влияние управляющих бит во время приема

Когда приёмник не разрешен, все пакеты, отправленные в канал DMA, игнорируются. Если приёмник разрешен и адрес попадает в диапазон принимаемых адресов, то осуществляется переход в следующее состояние с проверкой бита доступности дескриптора приёмника (RD). Данный бит указывает на наличие активированных дескрипторов и должен устанавливаться внешним приложением, использующим канал DMA, при каждом разрешении на использование дескрипторов, как обозначено выше. Если бит RD и бит NS [регистре управления/статуса канала DMA](#) сброшены, то принимаемые пакеты игнорируются. Если бит NS установлен, система ожидает установки бита RD и символы остаются в FIFO N-символов в течение этого времени. Если FIFO заполняется, дальнейшая передача N-символов запрещается остановкой передачи FCT.

После установки бита RD считывается следующий дескриптор; если он активирован, пакет принимается в буфер. Если считанный указатель не разрешен, то бит RD сбрасывается, далее в зависимости от значения NS пакет может быть сброшен или оставлен в буфере.

Приёмник можно отключить в любой момент, при этом прием текущего пакета будет завершён. Бит доступности дескриптора приёмника (RD) также может быть сброшен в любой момент. При этом текущие приемы не затрагиваются, но новые дескрипторы не будут считаны до повторной установки данного бита. RD сбрасывается устройством при считывании не активированного дескриптора.

Биты статуса

После завершения приема пакета бит разрешения на использование в текущем дескрипторе сбрасывается, и при сброшенном разрешении биты статуса остаются

действительны, а количество принятых байт указывается в поле размера. Регистр управления/статуса канала DMA содержит бит статуса (PR), который устанавливается при каждом приеме пакета. Также устройство может генерировать прерывание по наступлению данного события.

Расчет CRC RMAP ведется всегда для всех принятых пакетов и всех байтов, кроме EOP/EEP. Пакет всегда рассматривается как возможный пакет RMAP, размер его заголовка определяется третьим байтом, который является полем команды. Рассчитанное значение CRC проверяется после приема заголовка (в соответствии с рассчитанным количеством байтов), и если оно ненулевое, то устанавливается бит HC, указывающий на ошибку CRC заголовка.

Значение CRC не сбрасывается после приема заголовка – расчет продолжается таким же образом до получения полного пакета. После этого, если значение CRC не нулевое, устанавливается бит DC, указывающий на ошибку CRC данных. Это означает, что система может идентифицировать ошибку CRC данных, даже если поле данных было правильным при неправильном CRC заголовка. Однако эти данные не должны использоваться при неверном заголовке, поэтому бит DC в данном случае не важен. При действительном заголовке значение CRC всегда будет нулевым, если расчет с полем данных продолжается и поведение будет таким же, как и при перезапуске расчета CRC.

Если тип принятого пакета не соответствует RMAP, то бит, указывающий на ошибку CRC заголовка, не должен быть использован. Использование бита DC в качестве индикатора корректности данных остается возможным, если полный пакет защищен CRC, рассчитанной в соответствии с методикой CRC RMAP. Это происходит потому, что система не перезапускает расчет после приема заголовка и рассчитывает полный CRC по пакету. Таким образом, используя бит DC, можно проверить пакет любого формата с одним CRC в конце пакета, рассчитанным согласно стандарту RMAP.

Если тип принятого пакета не соответствует RMAP, и в то же время в конце пакета используется любой другой тип CRC, кроме описанного в RMAP, то биты HC и DC должны быть проигнорированы.

Обработка ошибок

Если прием пакета должен быть прерван из-за перегрузки в сети, рекомендуется установить бит запрещения соединения (LD) [регистра управления](#). К сожалению, это приведет к усечению передаваемого пакета, но это единственное безопасное решение, поскольку прием пакета – пассивная операция, зависящая от передатчика на другом конце. Также можно установить бит сброса узла (RS), но это не совсем подходящий путь, так как непереданные символы остаются в узле передатчика. Следующий символ (расположенный где-то в середине пакета) будет интерпретирован как адрес узла, что может привести к тому, что пакет будет сброшен (не со 100 % уверенностью). Обычно это действие выполняется в случае приостановки приема, вызванной тем, что передатчик больше не предоставляет данные. Сброс соединения не устраняет подобную перегруженность.

При возникновении ошибки АНВ в ходе приема текущий пакет сбрасывается вплоть до следующего символа EOP/EEP, после чего активный канал отключается и приёмник переходит в режим ожидания. Для обозначения данного состояния в [регистре управления/статуса канала DMA](#) устанавливается бит RA.

«Неразборчивый» режим

В устройстве поддерживается «неразборчивый» режим, в котором все принятые данные сохраняются в канале DMA, независимо от адреса узла и возможных преждевременных EOP/EEP. Это означает, что все принятые N-символы, исключая EOP/EEP, сохраняются через канал DMA. Тем не менее, проверка на соответствие длины

принимаемой последовательности данных [регистра максимального размера принимаемого пакета](#) остается, при этом пакеты, превышающие указанный граничный размер, отсекаются.

Команды RMAP при разрешенном «неразборчивом» режиме обрабатываются RMAP, если установлен бит RE [регистра управления](#). Если этот бит разрешения RMAP сброшен, команды RMAP также сохраняются в канале DMA.

4.17.6 Передающий канал DMA

Передатчик данных посредством механизма DMA выполняет пересылку данных через канал DMA в сеть SpaceWire.

Базовая функциональность

DMA передатчика считывает данные с шины АНВ и сохраняет их в FIFO передатчика для передачи по сети SpaceWire. Данная функциональность базируется на дескрипторах такого же типа, что и для приёмника; таблица дескрипторов имеет такое же выравнивание по адресу и ограничения по размеру. При активациях новых дескрипторов система считывает их и передает данные предписанного размера.

Подготовка устройства для передачи

Перед передачей должны быть выполнены четыре этапа. Сначала необходимо разрешить и запустить интерфейс связи записью соответствующего значения в [регистр управления](#). После этого адрес таблицы дескрипторов следует записать в [регистр адреса таблицы дескрипторов передатчика](#), при этом в таблице должны быть разрешены на использование один или более дескрипторов. В заключение в [регистр управления/статуса канала DMA](#) следует записать «1» в бит TE – после этого запускается передача. Более подробное описание – в последующих подпунктах.

Разрешение на использование дескрипторов

Устройство считывает дескрипторы из области в памяти, на которую указывает [регистр адреса таблицы дескрипторов передатчика](#). Регистр состоит из поля базового адреса и селектора дескрипторов. Базовый адрес указывает на начало области и должен быть выровнен относительно размера таблицы дескрипторов. Размер этой таблицы в байтах определяется по формуле: $NTXD \times 16$. Поле [NTXD регистра статуса](#) определяет количество записей в таблице, каждый дескриптор занимает 16 байт.

Для передачи пакетов один или несколько дескрипторов должны быть инициализированы в памяти. Для этого следует установить количество байт для передачи и указатель на область данных. Две различных длины и два поля адреса в дескрипторах передатчика используются потому, что указатели на заголовок и данные разнесены. Если длина поля равна нулю, то соответствующая часть пакета будет пропущена, если оба поля равны нулю, то пакет не отправляется. Максимальная длина заголовка – 255 байт, максимальная длина данных 16 Мбайт минус 1 байт. Когда указатель и поле размера установлены, для активации дескриптора необходимо установить бит разрешения на использование дескриптора (EN). Данный бит устанавливается в последнюю очередь. Другие биты управления также должны быть установлены перед активацией дескриптора.

Размер дескриптора передатчика – 16 байт, максимальное количество в одной таблице – 64 (значение поля [NTXD регистра статуса](#)). Различные поля дескриптора и смещение памяти представлены в таблицах ниже.

Бит HC должен быть установлен, если требуется расчет и вставка CRC RMAP в состав заголовка, соответственно бит DC должен быть установлен для проведения аналогичной процедуры для поля данных. CRC заголовка рассчитывается на основе данных, извлеченных по указателю на заголовок (HEADERADDRESS); генерация CRC данных выполняется на основе данных, извлеченных по указателю на данные (DATAADDRESS). CRC добавляется после соответствующего поля. Поле байтов NON-CRC определяет количество байт в начале поля заголовка, которые не будут включены в расчет CRC.

CRC отправляется даже в случае, если соответствующее поле размера равняется нулю. Пакет не отправляется, включая EOP, только если оба поля размера (и заголовка и данных) сброшены.

Запуск передач

Чтобы система запустила передачу, после инициализации дескрипторов в [регистре управления/статуса канала DMA](#) должен быть установлен бит разрешения передачи (TE). Новые дескрипторы можно активировать в таблице уже в процессе работы (при запущенной передаче). При каждом добавлении набора дескрипторов должен быть установлен бит разрешения передачи, т.к. при каждом обнаружении устройством не активированного дескриптора, бит TE сбрасывается. Отдельно взятый дескриптор представлен в таблицах [4.17.4](#) – [4.17.7](#).

Таблица 4.17.4 – Слово «0» дескриптора передатчика GRSPW2 (смещение адреса 0x0)

31		18	17	16	15	14	13	12	11		8	7		0
	–	DC	HC	LE	IE	WR	EN	NONCRCLEN			HEADERLEN			

- 31–18 Зарезервировано
- 17 Добавить CRC данных (DC) – Добавить CRC, рассчитанный согласно спецификации RMAP, после данных, отправленных из области памяти к которой ведет указатель на данные (DATAADDRESS). CRC распространяется на все данные по этому указателю. Нулевой CRC отправляется, если размер поля данных – нулевой
- 16 Добавить CRC заголовка (HC) – Добавить CRC, рассчитанный согласно спецификации RMAP после данных, отправленных из области памяти к которой ведет указатель на заголовок (HEADERADDRESS). CRC распространяется на все данные по этому указателю, за исключением количества байт в начале, в соответствии со значением поля байт Non-CRC. CRC не отправляется, если размер поля заголовка – нулевой
- 15 Ошибка соединения (LE) – Ошибка соединения в ходе передачи пакета
- 14 Разрешение прерывания (IE) – Если установлено, генерируется прерывание после передачи пакета при условии, что бит разрешения прерывания передатчика (RI) регистра управления/статуса канала DMA также установлен
- 13 Переход на начало (WR) – Если установлено, селектор дескриптора сбрасывается, соответственно следующий считанный дескриптор будет первым в таблице дескрипторов (располагаться по базовому адресу). В противном случае, указатель на дескриптор увеличивается на 0x10 для обеспечения использования следующего дескриптора, расположенного далее в памяти

- 12 Разрешение (EN) – Разрешение дескриптора передатчика. Если установлены все поля управления (адреса, размера, перехода на начало и CRC), данный бит следует установить. При установленном бите дескриптор не должен быть изменён во избежание нарушения передачи. SpracWire сбрасывает данный бит после завершения передачи
- 11–8 Байты Non-CRC (NONCRCLLEN) – Устанавливает количество байт в начале заголовка, которые не включены в расчет CRC. Это требуется при использовании путевой адресации, т.к. один или более байтов в начале пакета могут быть отброшены до того как пакет достигнет узла назначения
- 7–0 Размер заголовка (HEADERLEN) – Размер заголовка в байтах. Если сброшено, заголовок пропускается

Таблица 4.17.5 – Слово «1» дескриптора передатчика GRSPW2 (смещение адреса 0x4)

31	0
HEADERADDRESS	

- 31–0 Адрес заголовка (HEADERADDRESS) – Адрес, по которому расположен заголовок пакета. Выравнивание до границы слова не обязательно

Таблица 4.17.6 – Слово «2» дескриптора передатчика GRSPW2 (смещение адреса 0x8)

31	24	23	0
–	DATALEN		

- 31–24 Зарезервировано
- 23–0 Размер данных (DATALEN) – Размер данных пакета. Если сброшено, данные не отправляются. Если размеры данных и заголовка сброшены, пакет не отправляется

Таблица 4.17.7 – Слово «3» дескриптора передатчика GRSPW2 (смещение адреса 0xC)

31	0
DATAADDRESS	

- 31–0 Адрес данных (DATAADDRESS) – Адрес, по которому считываются данные. Выравнивание до границы слова необязательно

Процесс передачи

После установки бита TE регистра управления/статуса канала DMA сразу же начинается считывание дескриптора. Количество обозначенных байтов считывается и передается. После завершения передачи статус записывается в первое слово дескриптора, при этом в регистре управления/статуса канала DMA устанавливается бит пакет отправлен (PS). Если было запрошено прерывание, то оно генерируется. После этого считывается новый дескриптор; если он активирован, запускается новая передача. В противном случае, бит разрешения передачи (TE) сбрасывается (процесс останавливается до повторной установки данного бита).

Регистр адреса таблицы дескрипторов

Внутренний указатель, который используется для хранения текущего положения в таблице дескрипторов, можно считывать и записывать через интерфейс APB. Этот указатель устанавливается в ноль при выполнении сброса и инкрементируется каждый раз при использовании очередного дескриптора. Переход на начало выполняется

автоматически при достижении границы таблицы дескрипторов (см. подпункт «Разрешение на использование дескрипторов») или раньше, если в текущем дескрипторе установлен соответствующий бит.

[Регистр адреса таблицы дескрипторов передатчика](#) может быть обновлен новой таблицей в любое время, если не ведется передача. Передача не является активной, если бит разрешения передачи (TE) равен нулю и полная таблица была отправлена, или если таблица прервана (описано ниже). Если таблица прервана, необходимо подождать сброса бита TE перед тем, как обновлять указатель на таблицу.

Обработка ошибок

Прерванная передача

[Регистр управления/статуса канала DMA](#) содержит бит «прервать передачу» (AT), установка которого вызывает прекращение текущей передачи, при этом пакет усекается и вставляется EEP. Это может потребоваться, если только требуется прерывание пакета в случае перегрузки сети SpaceWire. В случае перегрузки на шине АНВ установка данного бита не улучшит ситуацию (это не является проблемой, поскольку ведомые устройства АНВ имеют максимум 16 состояний ожидания). В случае прерывания пакета в дескрипторе устанавливается бит LE. Бит регистра разрешения передачи (TE) регистра управления/статуса канала DMA также сбрасывается; новые передачи не выполняются до следующего разрешения передатчика.

Ошибка АНВ

При обнаружении ошибки АНВ в ходе передачи активный канал DMA отключается и передатчик переходит в режим ожидания. В [регистр управления/статуса канала DMA](#) устанавливается соответствующий бит, характеризующий ошибку, и если разрешено, генерируется прерывание. Дальнейшая обработка ошибок зависит от статуса передатчика механизма DMA на момент возникновения ошибки АНВ. Если дескриптор был считан, а передача пакета еще не началась, то никаких дополнительных действий больше не требуется.

Если ошибка АНВ возникла в ходе передачи пакета, пакет усекается и вставляется EEP. Если ошибка возникла в ходе записи статуса в дескриптор, пакет успешно передан, но дескриптор не перезаписывается и остается активированным (это также означает, что биты ошибки в дескрипторе не устанавливаются для случая ошибок на шине АНВ).

Пользователь канала должен исправить ошибку АНВ и повторно активировать канал. Другие передачи АНВ из блока (передатчика или приемника), который был задействован в момент обнаружения ошибки АНВ, не выполняются до сброса состояния ошибки и повторного разрешения данного блока.

Ошибка соединения

При обнаружении ошибки связи в ходе передачи оставшаяся часть пакета отбраковывается вплоть до следующего EOP/EEP включительно. После этого статус незамедлительно записывается в дескриптор (бит LE установлен) и указатель на дескриптор инкрементируется. Соединение разрывается при возникновении ошибки соединения, но система автоматически пытается снова восстановить связь при условии, что бит запуска связи (LS) [регистра управления](#) установлен и бит отключения связи (LD) регистра управления сброшен. Если бит LE в [регистре управления/статуса канала DMA](#) установлен, механизм DMA передатчика будет ожидать осуществления перехода в

рабочий режим (Run), после чего немедленно начинается новая передача при условии, что пакеты находятся в режиме ожидания. Если бит LE в регистре управления/статуса канала DMA установлен, то передатчик будет отключен при возникновении ошибки соединения, произошедшей в ходе передачи текущего пакета. В этом случае пакеты не будут передаваться до повторного разрешения передатчика.

4.17.7 RMAP

Протокол удаленного доступа к памяти (RMAP) используется для осуществления доступа к ресурсам в узле через интерфейс SpaceWire. Стандартные операции: считывание и запись в память, регистры и FIFO. В данном пункте приводятся основные принципы работы протокола RMAP и его реализации.

Основные принципы работы протокола

RMAP – это протокол, обеспечивающий удаленный доступ к ресурсам, отображаемым в памяти, через сеть SpaceWire в узле SpaceWire. Ему присвоен идентификатор протокола 0x01. Он обеспечивает три операции: запись, считывание и считывание-модификация-запись. Эти операции являются отложенными, это означает, что источник не будет дожидаться подтверждения или ответа. Это также означает, что в любой момент времени любое количество операций может ожидать выполнения, и что в данном протоколе не реализован режим ожидания. Режим ожидания должен быть реализован в пользовательском приложении, которое посылает команды. У принимающей стороны можно запросить отправку ответа и проверку целостности данных перед выполнением операции. 16 Мбайт минус 1 байт – максимально возможный размер полезной нагрузки данных, поддерживаемый в протоколе. Описание протокола – см. стандарт RMAP (ECSS-E-ST-50-52C).

Реализация

Устройство включает приёмник команд RMAP, который обрабатывает все входящие пакеты с идентификатором протокола PID = 0x01 и полем типа (бит 7 и 6 третьего байта в пакете) равным «01», если адрес попадает в диапазон, задаваемый адресом и маской [регистра адреса по умолчанию](#). При обнаружении такого пакета он не сохраняется через канал DMA, а передается в приёмник RMAP.

Все три команды, определенные в стандарте, реализованы с некоторыми ограничениями. Поддерживаются только 32-разрядные системы с порядком следования «сначала старший байт» (Big-Endian). Это означает, что первый принятый байт в слове – старший значащий байт. Сортировщик команд не принимает пакеты RMAP, имеющие расширенный идентификатор протокола, вместо этого они всегда выгружаются в канал DMA.

Приёмник RMAP обрабатывает команды. Если они корректны и допустимы, то операция выполняется на шине АНВ и формируется ответ. В случае запроса подтверждения передатчик RMAP автоматически отправляет ответ. Передачи RMAP имеют приоритет перед передачами канала DMA.

Имеется доступный для пользователя [регистр ключа получателя RMAP](#), содержание которого сравнивается с содержанием поля ключа получателя во входящих пакетах. В случае несоответствия, если был запрошен ответ, будет отправлен код ошибки 3. Ответы отправляются только в случае, если поле подтверждения установлено.

В случае отказа в ходе выполнения доступа по шине, значение кода ошибки будет равняться 1 (ошибка общего характера). Существует заданный порядок установки кодов ошибок в случае многократных ошибок – см. таблицу [4.17.8](#).

Таблица 4.17.8 – Порядок обнаружения ошибок в случае многократных ошибок в GRSPW2. Наивысший приоритет обнаружения у ошибки под номером 1

Порядок обнаружения	Код ошибки	Ошибка
1	12	Недействительный логический адрес назначения
2	2	Неиспользуемый тип пакета RMAP или код команды
3	3	Недействительный ключ получателя
4	9	Переполнение буфера проверки
5	11	Ошибка размера данных операции считывание-модификация-запись
6	10	Ошибка авторизации запрошенной операции
7*	1	Ошибка общего характера (ошибки на шине АНВ в ходе записей без проверки данных)
8	5/7	Преждевременный EOP/EEP
9	4	Недействительные данные (ошибка CRC)
10	1	Ошибка общего характера (ошибки на шине АНВ в ходе записей с проверкой данных или операции считывание-модификация-запись)
11	7	EEP
12	6	Слишком большой объём данных

* Обнаружение ошибки на шине АНВ до обнаружения преждевременного EOP/EEP или недействительных данных (ошибка CRC) не гарантируется. При длительных операциях доступа обнаружение ошибки на шине АНВ может произойти с некоторой задержкой, поскольку сначала детектируются ошибки преждевременного EOP/EEP или недействительных данных (ошибка CRC).

Доступ на чтение выполняется в процессе работы, т.е. не сохраняется во временном буфере перед передачей. Это означает, что код ошибки 1 не выдается в ответе на операцию считывания, т.к. заголовок уже отправляется, пока данные считываются. В случае возникновения ошибки на шине АНВ пакет усекается и отправляется EEP в качестве окончания.

Ошибки вплоть до недействительных данных (ошибка CRC) включительно (номер 9) проверяются перед командами с проверкой данных. Остальные ошибки не препятствуют выполнению операций с проверкой данных.

Все оговоренные команды, которые приняты, но имеют неподдерживаемый набор опций для данной конкретной реализации, не выполняются; в возможном ответе будет отправлен код ошибки 10.

Команды записи

Команды записи по характеристикам делятся на две подкатегории: с предварительной проверкой данных и без нее. Размер записей с проверкой не должен превышать 4 байта, при этом адрес должен быть выровнен до этого размера. Таким образом, записи размером 1 байт могут производиться в любой адрес, записи размером 2 байта должны быть выровнены до границы полуслова, записи размером 3 байта недопустимы, записи размером 4 байта должны быть выровнены до границы слова. Поскольку для каждой команды записи с проверкой RMAP всегда выполняется только одна операция АНВ, инкрементирующий бит адреса может быть установлен в любое состояние.

Ограничений по записям без проверки нет, если инкрементирующий бит установлен. Если данный бит сброшен, количество байтов должно быть кратно 4, при этом адрес должен быть выровнен до границы слова. Точное количество записанных слов при обнаружении преждевременного EOP/EEP для операций записи без предварительной проверки данных не определено.

Команды считывания

Команды считывания выполняются в процессе работы во время отправки ответа. Таким образом, при возникновении ошибки на шине АНВ пакет будет усечен и завершен символом EEP. Ограничений по инкрементируемому чтению нет; неинкрементируемое чтение имеет такие же ограничения по выравниванию, как записи без проверки. Следует обратить внимание на то, что код ошибки «Отказ в авторизации» отправляется в ответе при обнаружении какого-либо нарушения, даже если поле размера сброшено. Также следует обратить внимание на то, что данные не отправляются в ответе при обнаружении какой-либо ошибки, т.е. если поле статуса отлично от нуля.

Команды считывание-модификация-запись

Поддерживаются все размеры режима считывание-модификация-запись, за исключением 6 байтовых, которые вызывают выполнение трех байтовых операций считывания и записи на шине. Доступ по шине операции считывания-модификации-записи имеет те же ограничения, что и запись с предварительной проверкой данных. Как и в случае с записью с проверкой, бит инкремента может быть установлен в любое состояние, т.к. для каждой команды считывания-модификации-записи выполняется только одна операция на шине АНВ. Детектирование слишком большого объема данных выполняется после доступа по шине, таким образом, данная ошибка не будет препятствовать выполнению операции. Данные в ответе не будут отправлены при обнаружении ошибки, т.е. если поле статуса отлично от нуля.

Управление

Обработчик команд RMAP в основном работает в фоновом режиме без внешнего вмешательства. Однако существуют несколько опций, позволяющих им управлять.

В [регистре управления](#) имеется бит разрешения (RE), который используется для полного отключения обработчика команд RMAP. Если данный бит сброшен, то аппаратная обработка пакетов RMAP не осуществляется, вместо этого все они сохраняются через канал DMA.

Команды RMAP могут выполняться не в порядке их получения, если запрос на считывание данных приходит перед одной или несколькими командами записи. Поскольку обработчик команд сохраняет ответы в буфер, разделенный на части, несколько команд может находиться в процессе обработки, в то время как ещё не оправлен ни один ответ. Данные для ответов на запросы считывания извлекаются из памяти при отправке ответа. Таким образом, записи, полученные после запросов на считывание, могут быть уже выполнены в случае перегрузки передатчика. Чтобы гарантировать отсутствие подобной ситуации, необходимо установить бит запрета буферной схемы RMAP (RD) регистра управления, чтобы обработчик команд использовал только один буфер.

Еще одной опцией управления обработчиком команд RMAP является возможность установки ключа получателя, под который отведен отдельный регистр.

В [таблице 4.17.9](#) представлены варианты обработки различных типов пакета и полей команд RMAP аппаратными средствами GRSPW2.

Таблица 4.17.9 – Обработка различных типов пакета и полей команд RMAP аппаратными средствами GRSPW2

Биты						Команда	Действие
7	6	5	4	3	2		
Зарезервировано	Команда/Ответ	Запись/Считывание	Проверка данных перед записью	Подтверждение	Инкрементация адреса		
1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	–	–	–	–	Ответ	Сохранение через канал DMA
0	1	0	0	0	0	Не используется	Действие отсутствует. Без ответа
0	1	0	0	0	1	Не используется	Действие отсутствует. Без ответа
0	1	0	0	1	0	Считывание одиночного адреса	Обычное выполнение. Адрес выравнивается до границы слова, размер данных должен быть кратным 4 байтам. Отправляется ответ. При нарушении ограничений по выравниванию устанавливается код ошибки 10
0	1	0	0	1	1	Считывание, адрес инкрементируется	Обычное выполнение. Ограничений нет. Отправляется ответ
0	1	0	1	0	0	Не используется	Действие отсутствует. Без ответа
0	1	0	1	0	1	Не используется	Действие отсутствует. Без ответа
0	1	0	1	1	0	Не используется	Действие отсутствует. Отправляется ответ с кодом ошибки 2
0	1	0	1	1	1	Считывание-модификация-запись, адрес инкрементируется	Обычное выполнение. Если размер не соответствует допустимым значениям считывания-модификации-записи, то действие отсутствует, устанавливается код ошибки 11. Если соответствует, то проверяются ограничения по выравниванию. 1 байт может быть считан-модифицирован-записан по любому адрес. 2 байта должны быть выровнены до границы полуслова. 3 байта не допустимы. 4 байта – выравнивание до границы слова. При нарушении данных ограничений действие отсутствует, устанавливается код ошибки 10. При возникновении ошибки на шине АНВ устанавливается код ошибки 1. Отправляется ответ
0	1	1	0	0	0	Запись, одиночный адрес, без проверки до записи, без подтверждения	Обычное выполнение. Адрес выравнивается до слова, размер данных должен быть кратным 4. При нарушении выравнивания действие отсутствует. Без ответа

Продолжение таблицы 4.17.9

1	2	3	4	5	6	7	8
0	1	1	0	0	1	Запись, адрес инкрементируется, без проверки данных перед записью, без подтверждения	Обычное выполнение. Ограничений нет. Без ответа
0	1	1	0	1	0	Запись, одиночный адрес, без проверки данных перед записью, с подтверждением	Обычное выполнение. Адрес выравнивается до границы слова, размер данных должен быть кратным 4. При нарушении выравнивания действие отсутствует, устанавливается код ошибки 10. При возникновении ошибки на шине АНВ устанавливается код ошибки 1. Отправляется ответ
0	1	1	0	1	1	Запись, адрес инкрементируется, без проверки данных перед записью, с подтверждением	Обычное выполнение. Ограничений нет. При возникновении ошибки на шине АНВ устанавливается код ошибки 1. Отправляется ответ
0	1	1	1	0	0	Запись, одиночный адрес, с проверкой данных перед записью, без подтверждения	Обычное выполнение. Размер до 4 байт включительно. В противном случае, действие отсутствует. Ограничения по выравниванию такие же, как для команды считывание-модификация-запись. Без ответа
0	1	1	1	0	1	Запись, адрес инкрементируется, с проверкой данных перед записью, без подтверждения	Обычное выполнение. Размер до 4 байт включительно. В противном случае, действие отсутствует. Ограничения по выравниванию такие же, как для команды считывание-модификация-запись. При нарушении ограничений действие отсутствует. Без ответа
0	1	1	1	1	0	Запись, одиночный адрес, с проверкой данных перед записью, с подтверждением	Обычное выполнение. Размер до 4 байт включительно. В противном случае, действие отсутствует, устанавливается код ошибки 9. Ограничения по выравниванию такие же, как для команды считывание-модификация-запись. При нарушении ограничений действие отсутствует, устанавливается код ошибки 10. При возникновении ошибки на шине АНВ устанавливается код ошибки 1. Отправляется ответ

Окончание таблицы 4.17.9

1	2	3	4	5	6	7	8
0	1	1	1	1	1	Запись, адрес инкрементируется, с проверкой данных перед записью, с подтверждением	Обычное выполнение. Размер до 4 байт включительно. В противном случае, действие отсутствует, устанавливается код ошибки 9. Ограничения по выравниванию такие же, как для команды считывание-модификация-запись. При нарушении ограничений действие отсутствует, устанавливается код ошибки 10. При возникновении ошибки на шине АНВ устанавливается код ошибки 1. Отправляется ответ
1	0	–	–	–	–	Не используется	Сохранение через канал DMA
1	1	–	–	–	–	Не используется	Сохранение через канал DMA

4.17.8 Интерфейс AMBA

Интерфейс AMBA состоит из интерфейса APB, интерфейса ведущего устройства АНВ и FIFO DMA. Интерфейс APB обеспечивает доступ к пользовательским регистрам – подробнее в 4.17.10. Серверы DMA имеют 32-разрядные FIFO, соединенные с интерфейсом ведущего устройства АНВ и используемые при считывании и записи по шине.

Сервер DMA передатчика считывает данные с шины по частям, размер которых в два раза меньше размера FIFO. Запуск разбиения на части всегда выполняется при наполовину заполненном FIFO или если FIFO содержит последние данные пакета. Размер блока, содержащего последние данные, может быть меньше, если пакет имеет нечетное количество частей.

DMA приемника работает аналогично, за исключением того, что устройство проверяет содержимое FIFO (FIFO должно быть наполовину заполнено) и после этого выполняет запись пакета с разбиением на части, размер которых в два раза меньше размера FIFO. Последний пакет может быть меньше по размеру. Интерфейс также обрабатывает байтовый доступ. Байтовые доступы используются для буферов без выравнивания до слова и/или если размер пакета не кратен четырем байтам. При записи начала и конца принятых пакетов может быть от одной до трех одиночных байтовых записей.

Интерфейс ведомого устройства APB

Как указано выше, интерфейс APB обеспечивает доступ к пользовательским регистрам размером 32 бита. Размеры доступов к данному интерфейсу должны быть выровнены до слова. При нарушении данного ограничения результат не определен.

Интерфейс ведущего устройства АНВ

Система содержит один интерфейс ведущего устройства, который используется механизмами DMA передатчика и приемника. Арбитражный алгоритм между каналами выполняется так, что если текущий пользователь отправляет повторный запрос, интерфейс всегда предоставляется. Это не приведет к проблемам «голодания», так как механизмы DMA всегда снимают свои запросы между доступами.

Доступы АНВ могут иметь размер байта, полуслова и слова (HSIZE = 0x000, 0x001, 0x010). Байтовый доступ и доступ полуслова всегда NONSEQ. Однако нужно помнить,

что доступ чтения всегда имеет размер слова ($H_{SIZE} = 0x010$), что может привести к разрушающему считыванию данных.

Размер пакета в два раза меньше размера FIFO АНВ, за исключением последней передачи пакета, который может быть меньше. Меньшие доступы при считывании указателя и записи статуса также выполняются.

Ведущее устройство АНВ также поддерживает неинкрементный доступ, адрес которого неизменен для нескольких последовательных доступов. HTRANS в этом случае всегда NONSEQ, в то время как для инкрементного доступа он будет SEQ после первого доступа. Данная опция включена для поддержки неинкрементного чтения и записи для RMAP.

Если система не использует шину после завершения передачи пакетов, то будет присутствовать один «пустой» цикл ($HTRANS = IDLE$).

Запросы на передачу с типом BUSY не подаются. Поддерживаются ответы ERROR, RETRY и SPLIT.

4.17.9 Аппаратные особенности

Особенности системы тактирования

Модуль приёмника, представленный на рисунке 4.17.2, тактируется от блока GRSPW2_PHY. Внутри данного блока захват данных производится по обоим фронтам тактового сигнала (DDR). В качестве выходных сигналов GRSPW2_PHY выступают двухразрядные векторы данных и корректности данных. Для корректного функционирования удвоенная частота выборки должна быть, по крайней мере, в 1,5 раза больше максимальной скорости передачи бит.

Тактовая частота передатчика генерируется на основе сигнала SPW_CLK с использованием делителя. Отдельный тактовый вход используется для того, чтобы можно было вести передачу на частотах, значительно превышающих системную. Частота передатчика должна составлять 10 МГц при установлении соединения, в рабочем режиме может быть использовано любое значение, превышающее 2 МГц.

Регистр тактового делителя содержит два поля. Одно из них определяет коэффициент деления в процессе инициализации соединения, второе задает тактовую частоту в рабочем режиме. Значение по сбросу для обоих полей – 4, что соответствует делению входной тактовой частоты в 5 раз. Подробная инструкция по выбору значений коэффициентов делителя находится в подпункте «Установка скорости канала связи» пункта «4.17.3 Интерфейс связи».

Поскольку для коэффициентов делителей частоты доступны только целочисленные значения и частота при инициализации должна быть 10 МГц, на тактовый вход передатчика должен поступать сигнал с частотой, кратной 10 МГц. Под хранение значения коэффициентов выделено 8 разрядов, поэтому максимально допустимое значение входной частоты – 2,56 ГГц (важно помнить, что также существует ограничение на соотношение тактовой частоты системы и частоты передатчика SpaceWire).

Таймеры

В устройстве реализовано два таймера: первый для генерации 6,4/12,8 мкс периодов, второй для отслеживания времени до рассоединения.

Тайм-аут интервалы формируются на основе тактирования передатчика, частота которого должна быть, по крайней мере, 10 МГц для обеспечения соблюдения временных интервалов до рассоединения. Используется тот же самый коэффициент делителя, что и в момент инициализации, поэтому для нормального функционирования необходимо определить его корректно.

Синхронизация

Скорости передачи бит приёмника и передатчика могут быть в восемь раз выше, чем основная тактовая частота процессора. Такое соотношение приводится с учетом неустойчивости фазы и искажения сигналов, поэтому соединение может запуститься даже и при большей разнице частот. Однако следует принимать во внимание тот факт, что между частотой выборки и скоростью передачи бит при приёме нет прямой зависимости.

Требования по синхронизации тактирования не единственный фактор, который может препятствовать достижению предельных значений частот, могут присутствовать технологические ограничения.

Конфигурация буферов FIFO

FIFO АНВ приемника состоит из 16 записей разрядностью в 32 бита. Организация используемой памяти 16×32 бит.

FIFO АНВ передатчика состоит из 16 записей разрядностью в 32 бита. Организация используемой памяти 16×32 бит.

FIFO N-символов приемника состоит из 16 записей разрядностью в 9 бит. Организация используемой памяти 16×9 бит.

Используется 2 буфера RMAP, каждый из которых состоит из 32 записей с разрядностью 8 бит. Организация используемой памяти 64×8 бит.

4.17.10 Регистры

Программирование осуществляется через регистры, отображаемые в адресуемом пространстве APB. Список используемых регистров представлен в таблице 4.17.10, детальное описание каждого из них представлено в таблицах 4.17.14 – 4.17.24. Адреса, не представленные в таблице 4.17.10, являются зарезервированными. Чтение из зарезервированной области или отдельного поля регистра всегда возвращает нулевое значение, запись в них игнорируется.

Таблица 4.17.10 – Регистры GRSPW2

Смещение адреса APB	Регистр
0x0	Регистр управления
0x4	Регистр статуса
0x8	Регистр адреса по умолчанию
0xC	Регистр тактового делителя
0x10	Регистр ключа получателя RMAP
0x14	Регистр системного времени (тайм-кодов)
0x18	Зарезервировано
0x20	Регистр управления/статуса канала DMA (канал 1)
0x24	Регистр максимального размера принимаемого пакета (канал 1)
0x28	Регистр адреса таблицы дескрипторов передатчика (канал 1)
0x2C	Регистр адреса таблицы дескрипторов приёмника (канал 1)
0x30	Регистр адреса канала DMA (канал 1)
0x34 – 0x3C	Зарезервировано
0x40 – 0x5C	Регистры канала 2 DMA (Зарезервировано)
0x60 – 0x7C	Регистры канала 3 DMA (Зарезервировано)
0x80 – 0x9C	Регистры канала 4 DMA (Зарезервировано)

Система записи регистров управления представлена в таблице 4.17.11, в таблицах 4.17.12 и 4.17.13 приведены списки возможных состояний ячеек.

Таблица 4.17.11 – Пример организации записи регистра

31	2423	1615	87	0
ПЗ	П2	П1	П0	
Значение по сбросу ПЗ	Значение по сбросу П2	Значение по сбросу П1	Значение по сбросу П0	
Тип поля/байта ПЗ	Тип поля/байта П2	Тип поля/байта П1	Тип поля/байта П0	

- 31–24 Поле 3 (ПЗ) – Описание поля/бита
- 23–16 Поле 2 (П2) – Описание поля/бита
- 15–8 Поле 1 (П1) – Описание поля/бита
- 7–0 Поле 0 (П0) – Описание поля/бита

Таблица 4.17.12 – Список возможных состояний ячеек значения по сбросу

Значение	Описание
0	Значение по сбросу – 0. Используется для отдельных бит
1	Значение по сбросу – 1. Используется для отдельных бит
0xNN	Шестнадцатеричное представление числа. Используется для полей
n/r	Не сбрасывается
*	Особые условия сброса, которые разъяснены в описании соответствующего поля/бита

Таблица 4.17.13 – Список возможных состояний ячеек тип поля/бита

Значение	Описание
r	Только чтение
rw	Чтение/запись
ws	Сброс по записи. Поле доступно для считывания, при записи 1 оно сбрасывается. Запись 0 игнорируется

Регистр управления

Таблица 4.17.14 – Регистр управления GRSPW2

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
RA	RX	RC	NCH	PO	–	ID	–	LE	PS	NP	PNPA	RD	RE		
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0x0	0	0*		
r	r	r	r	r	r	r	r	rw	r	r	r	rw	rw		
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
PE	–	TL	TF	TR	TT	LI	TQ	–	RS	PM	TI	IE	AS	LS	LD
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0*	0	0
r	r	rw	rw	rw	rw	rw	rw	r	rw	rw	rw	rw	rw	rw	rw

- 31 RMAP доступен (RA) – Устанавливается, если доступен обработчик команд RMAP
- 30 Приемнику доступны невыровненные обращения к памяти (RX) – Устанавливается, если доступны невыровненные записи для приемника и он может писать любое количество байт по любому стартовому адресу без записи избыточных байт. Функционал не поддерживается
- 29 CRC RMAP доступен (RC) – Устанавливается, если разрешен CRC RMAP
- 28, 27 Количество каналов DMA (NCH) – Поле хранит число доступных каналов DMA минус один. Только для считывания

26	Количество портов (PO) – Количество доступных портов SpaceWire минус один
25	Зарезервировано
24	Распространение прерываний доступно (ID) – Устанавливается, если доступно распространение прерываний. Функционал не поддерживается
23	Зарезервировано
22	Разрешение режима обратной петли (LE) – Функционал не используется.
21	Выбор порта (PS) – Выбор активного порта, если бит принудительного запрета порта сброшен. «0» выбирает порт, соединенный с данными и стробом с индексом 0. «1» выбирает индекс 1. Функционал доступен только для двухпортовых модулей
20	Принудительный запрет порта (NP) – Не разрешает выбор порта. Если бит установлен, то бит выбора порта не может быть использован для выбора активного порта. Вместо этого он будет автоматически выбран при проверке активности по соответствующим каналам приема. Функционал доступен только для двухпортовых модулей
19, 18	SpaceWire Plug & Play доступен (PNPA) – 0x0 – не поддерживается, 0x1 – поддерживается идентификация устройства, 0x2 – поддерживается идентификация и конфигурация устройства. Функционал не поддерживается
17	Запрет буферной схемы RMAP (RD) – Если бит установлен, используется только один буфер RMAP. Это гарантирует последовательное выполнение всех команд RMAP
16	RMAP разрешен (RE) – Разрешает сортировщик команд RMAP. Значение после сброса: «0» (устанавливается входным сигналом RMAPEN)
15	SpaceWire Plug & Play разрешен (PE) – Разрешение использования Plug & Play. Функционал не поддерживается
14	Зарезервировано
13	Контроль блокировки разрешения передатчика (TL) – Разрешение/запрет на использование функционала регистра управления/статуса DMA по блокировке разрешения передатчика. 0 – запрещено, 1 – разрешено
12	Фильтр флагов контроля тайм-кодов (TF) – Если бит установлен, то достоверными считаются только тайм-коды с контрольными флагами «00». Если бит сброшен, то разрешены любые значения контрольных флагов
11	Прием тайм-кодов разрешен (TR) – Разрешает прием кодов синхронизации
10	Передача тайм-кодов разрешена (TT) – Разрешает передачу кодов синхронизации
9	Прерывание при ошибке связи (LI) – Разрешение/запрет на генерацию прерывания на шине AMBA при возникновении ошибки связи. Важно помнить, что бит IE также должен быть установлен, чтобы значение LI имело какое-либо влияние
8	Прерывание при получении тайм-кода (TQ) – Разрешение/запрет на генерацию прерывания при приеме достоверного кода синхронизации (тайм-кода). Важно помнить, что бит IE также должен быть установлен, чтобы значение TQ имело какое-либо влияние
7	Зарезервировано
6	Сброс (RS) – Полный сброс узла SpaceWire. С самоочисткой
5	«Неразборчивый» режим (PM) – Разрешает «неразборчивый» режим (см. «4.17.5 Приёмный канал DMA» подпункт ««Неразборчивый» режим»)

- 4 Входной отсчет (TI) – Хост-система генерирует входной отсчет при записи «1» в данное поле. Инкрементируется счетчик синхронизации, и передается новое значение после передачи текущего символа. Входной отсчет также генерируется при установке сигнала tick_in
- 3 Разрешение прерывания (IE) – Если установлено, то разрешена генерация прерываний по шине AMBA для событий, которые индивидуально маскируются битами LI и TQ данного регистра
- 2 Автостарт (AS) – Автоматический старт связи при приеме NULL. Значение после сброса: «0» (устанавливается входным сигналом RMAPEN)
- 1 Старт соединения (LS) – Старт связи, т.е. разрешение передачи, перевод из режима готовности в режим запуска
- 0 Запрет соединения (LD) – Кодек SpaceWire не разрешен

Регистр статуса

Таблица 4.17.15 – Регистр статуса GRSPW2

31	28	27	26	25	24	23	21	20	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
–	NRXD	NTXD	LS	–	–	AP	EE	IA	–	PE	DE	ER	CE	TO					
0x0	0x0	0x0	0x0	0x000	0	0	0	0x0	0	0	0	0	0	0					
r	r	r	r	r	r	r	wc	wc	r	wc	wc	wc	wc	wc					

- 31–28 Зарезервировано
- 27, 26 Количество дескрипторов приёмника (NRXD) – Показывает размер таблицы дескрипторов механизма DMA приёмника. «00» = 128, «01» = 256, «10» = 512, «11» = 1024
- 25, 24 Количество дескрипторов передатчика (NTXD) – Показывает размер таблицы дескрипторов механизма DMA передатчика. «00» = 64, «01» = 128, «10» = 256, «11» = 512
- 23–21 Состояние соединения (LS) – Текущее состояние последовательности запуска. 0 = сброс после сбоя (ErrorReset), 1 = ожидание после сбоя (ErrorWait), 2 = готово (Ready), 3 = запущено (Started), 4 = соединение (Connecting), 5 = рабочий режим (Run)
- 20–10 Зарезервировано
- 9 Активный порт (AP) – Показывает активный порт. «0» = Порт 0; «1» = Порт 1, где номер порта ссылается на номер индекса сигналов данных и строба. Функционал доступен только для двухпортовых модулей
- 8 Преждевременный EOP/EEP (EE) – Устанавливается, если пакет с EOP принят после первого байта для non-RMAP пакета и после второго байта для пакета RMAP. Сбрасывается при записи 1. Значение после сброса: «0»
- 7 Недопустимый адрес (IA) – Устанавливается, если пакет принят с недействительным полем адреса назначения, т.е. в случае несоответствия содержимому [регистра адреса по умолчанию](#)
- 6–5 Зарезервировано
- 4 Ошибка паритета (PE) – Возникла ошибка по четности. Сбрасывается при записи 1
- 3 Ошибка рассоединения (DE) – Возникла ошибка при разрыве соединения. Сбрасывается при записи 1
- 2 Ошибка ESC-символа (ER) – Возникла ошибка ESC-символа. Сбрасывается при записи 1

- 1 Ошибка кредитования (CE) – Возникла ошибка при разрешении на передачу. Сбрасывается при записи 1
- 0 Выходной отсчет (TO) – Принято новое значение счетчика времени, сохранено в поле счетчика времени. Сбрасывается при записи 1

Регистр адреса по умолчанию

Таблица 4.17.16 – Регистр адреса по умолчанию GRSPW2

31	16 15	8 7	0
–		DEFMASK	DEFADDR
0x0000		0x00	0xFE
r		rw	rw

- 31–16 Зарезервировано
- 15–8 Маска по умолчанию (DEFMASK) – Используется для идентификации узла в сети SpaceWire. Оба поля адреса – принятый адрес и DEFADDR логически умножаются с инверсией поля DEFMASK перед проверкой адреса
- 7–0 Адрес узла по умолчанию (DEFADDR) – 8-битовый адрес узла, используемый для идентификации узла в сети SpaceWire

Регистр тактового делителя

Таблица 4.17.17 – Регистр тактового делителя GRSPW2

31	16 15	8 7	0
–		CLKDIVSTART	CLKDIVRUN
0x0000		0x04	0x04
r		rw	rw

- 31–16 Зарезервировано
- 15–8 Значение тактового делителя при старте (CLKDIVSTART) – значение, используемое для тактового делителя при запуске линии связи (любое из состояний соединения, кроме рабочего режима). Подробная информация по расчету требуемого значения в пункте «4.17.3». Фактическое значение делителя: значение регистра тактового делителя + 1. Значение после сброса: 4 (устанавливается входным сигналом CLKDIV10)
- 7–0 Значение тактового делителя в рабочем режиме (CLKDIVRUN) – значение, используемое для тактового делителя, когда интерфейс связи находится в рабочем режиме. Фактическое значение делителя: значение регистра тактового делителя + 1. Значение после сброса: 4 (устанавливается входным сигналом CLKDIV10)

Регистр ключа получателя RMAP

Таблица 4.17.18 – Регистр ключа получателя RMAP GRSPW2

31	8 7	0
–		DESTKEY
0x000000		0x00
r		rw

- 31–8 Зарезервировано
- 7–0 Ключ получателя (DESTKEY) – Ключ целевого RMAP

Регистр системного времени (тайм-кодов)

Таблица 4.17.19 – Регистр системного времени (тайм-кодов) GRSPW2

31		8	7	6	5	0
	–	TCTRL		TIMECNT		
	0x000000	0x0		0x00		
	r	rw		rw		

- 31–8
7, 6 Зарезервировано
- 7, 6 Флаги контроля тайм-кодов (TCTRL) – Текущее значение флагов контроля системного времени (тайм-кодов). Они отсылаются в составе тайм-кода при установке бита TI регистра управления. Также данное поле обновляется при каждом получении тайм-кода
- 5–0 Счетчик времени (TIMECNT) – Текущее значение счетчика системного времени. Значение инкрементируется и передается в составе тайм-кода при установке бита TI регистра управления. Также данное поле обновляется при каждом получении тайм-кода. Важно понимать, что при непосредственной записи в данный регистр выставленное значение не будет передано, поскольку перед передачей оно будет инкрементировано

Регистр управления/статуса канала DMA

Таблица 4.17.20 – Регистр управления/статуса канала DMA GRSPW2

31	27	26	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
INTNUM	–	EP	TR	IE	IT	RP	TP	TL	LE	SP	SA	EN	NS	RD	RX	AT	RA	TA	PR	PS	AI	RI	TI	RE	TE		
0x00	0x0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
r	r	wc	wc	rw	rw	wc	wc	wc	rw	rw	rw	rw	rw	rw	r	rw	wc	wc	wc	wc	rw						

- 31–27 Количество прерываний (INTNUM) – Количество прерываний, которые используются данным каналом DMA для отправки кодов-прерываний, маскируемых битами IE и IT данного регистра. Функционал не поддерживается
- 26–24 Зарезервировано
- 23 ЕЕР окончание (EP) – Устанавливается, когда завершающим символом полученного пакета является ЕЕР символ (пакет получен с ошибкой). Сбрасывается при записи 1
- 22 Усеченный (TR) – Устанавливается, когда полученный пакет канала DMA сохраняется не целиком из-за превышения установленной максимальной длины. Сбрасывается при записи 1
- 21 Разрешение передачи кодов-прерывания при ЕЕР (IE) – Если бит установлен, то при получении пакета с завершающим символом ЕЕР будет сгенерирован код-прерывания (также требуется глобальное разрешение на передачу кодов-прерывания). Функционал не поддерживается
- 20 Разрешение передачи кодов-прерывания при усечении пакета (IT) – Если бит установлен, то при получении усеченного пакета будет сгенерирован код-прерывания (также требуется глобальное разрешение на передачу кодов-прерывания). Функционал не поддерживается
- 19 Прерывание при получении пакета (RP) – Бит устанавливается, когда на шине АМВА генерируется прерывание, вызванное получением пакета по соответствующему каналу DMA

- 18 Прерывание при отправке пакета (TP) – Бит устанавливается, когда на шине АМВА генерируется прерывание, вызванное отправкой пакета по соответствующему каналу DMA
- 17 Блокировка разрешения передатчика (TL) – Бит устанавливается, если бит TL Регистр управления установлен, и передатчик соответствующего канала DMA запрещён из-за ошибки соединения (обеспечивается битом LE данного регистра). Пока данный бит установлен, невозможно перезапустить передатчик (т.е. нельзя установить бит TE данного регистра)
- 16 Запрещение работы при ошибке соединения (LE) – Запрет на дальнейшую передачу при возникновении ошибки соединения. До повторного установления бита разрешения передатчика, пакеты передаваться не будут
- 15 Отделять PID (SP) – Удаление PID-байта (второго байта) каждого пакета. Если данный бит установлен, то адресный байт (первый байт) будет также удален, вне зависимости от значения бита SA данного регистра.
- 14 Отделять адрес (SA) – Удаление адресного байта (первого байта) каждого пакета
- 13 Разрешение адреса (EN) – Разрешение отдельного адреса узла для этого канала
- 12 Без вытеснения (NS) – Если бит сброшен, то получаемые пакеты будут отбракованы при отсутствии активированного дескриптора. Если бит установлен, то GRSPW2 будет ожидать активации дескриптора
- 11 Доступен дескриптор приёмника (RD) – Устанавливается для указания GRSPW2 того, что в таблице дескрипторов имеются активированные дескрипторы. Сбрасывается GRSPW2 в случае обнаружения неактивированного дескриптора
- 10 Осуществляется приём (RX) – Устанавливается, если в текущий момент осуществляется приём по данному каналу DMA; в противном случае, бит сброшен
- 9 Прервать передачу (AT) – Установка данного бита прервет текущую передачу пакета и снимет разрешение на передачу. Если на текущий момент передача не производится, то произойдёт только снятие разрешения на передачу. Самоочистка
- 8 Ошибка АНВ при приёме (RA) – Шина АНВ отреагировала ошибкой на попытку доступа при приёме через данный канал DMA. Сбрасывается при записи 1
- 7 Ошибка АНВ при передаче (TA) – Шина АНВ отреагировала ошибкой на попытку доступа при передаче через данный канал DMA. Сбрасывается при записи 1
- 6 Пакет принят (PR) – Этот бит устанавливается каждый раз, когда пакет получен. Сбрасывается при записи «1»
- 5 Пакет отправлен (PS) – Этот бит устанавливается каждый раз, когда пакет отправлен. Сбрасывается при записи «1»
- 4 Прерывание из-за ошибки АНВ (AI) – Если установлено, то при каждом возникновении ошибки на шине АНВ из-за попытки доступа по данному каналу DMA генерируется прерывание
- 3 Прерывание при приеме (RI) – Если установлено, то при наличии установленного бита разрешения прерывания (IE) соответствующего дескриптора при каждом приеме пакета генерируется прерывание. Это происходит вне зависимости от того заканчивается пакет EEP или EOP

- 2 Прерывание при передаче (TI) – Если установлено, то при наличии установленного бита разрешения прерывания (IE) соответствующего дескриптора при каждой передаче пакета генерируется прерывание. Это происходит вне зависимости от того, успешно прошла передача или нет
- 1 Разрешение приёма (RE) – Установка данного бита разрешает прием пакетов по данному каналу
- 0 Разрешение передачи (TE) – Разрешает передачу для соответствующего канала DMA. Запись «1» вызывает процедуру считывания узлом SpaceWire нового дескриптора и попытку отправки пакета адресату. Важно помнить, что бит TE можно установить, только если бит TL данного регистра сброшен. Бит TE автоматически сбрасывается при обнаружении узлом SpaceWire неактивированного дескриптора или если во время передачи пакета произошла ошибка соединения (устанавливается бит LE данного регистра)

Регистр максимального размера принимаемого пакета

Таблица 4.17.21 – Регистр максимального размера принимаемого пакета GRSPW2

31	25 24	2 1	0
–	RXMAXLEN	–	
0x00	n/r	0x0	
r	rw	r	

- 31–25 Зарезервировано
- 24–2 Максимальный размер принимаемого пакета (RXMAXLEN) – Максимальный размер пакета приёмника в байтах. Без сброса
- 1, 0 Зарезервировано

Регистр адреса таблицы дескрипторов передатчика

Таблица 4.17.22 – Регистр адреса таблицы дескрипторов передатчика GRSPW2

31	10* 9*	4 3	0
DESCBASEADDR	DESCSEL	–	
n/r	0x00	0x0	
rw	rw	r	

- 31–10* Базовый адрес таблицы дескрипторов (DESCBASEADDR) – Устанавливает базовый адрес таблицы дескрипторов. Правая граница поля рассчитывается исходя из формулы (10 + значение поля NTXD [регистра статуса](#)). Без сброса
- 9*–4 Селектор дескриптора (DESCSEL) – Смещение в таблице дескрипторов. Показывает текущий используемый узлом SpaceWire дескриптор. Для чтения каждого нового дескриптора селектор увеличивается на 16 (в расчет принимается и зарезервированное поле 3–0) и конечном итоге обнуляется. Левая граница поля рассчитывается исходя из формулы (9 + значение поля NTXD [регистра статуса](#))
- 3–0 Зарезервировано

Регистр адреса таблицы дескрипторов приёмника

Таблица 4.17.23 – Регистр адреса таблицы дескрипторов приёмника GRSPW2

31	10* 9*	3 2	0
DESCBASEADDR		DESCSEL	–
n/r		0x00	0x0
rw		rw	r

- 31–10* Базовый адрес таблицы дескрипторов (DESCBASEADDR) – Устанавливает базовый адрес таблицы дескрипторов. Правая граница поля рассчитывается исходя из формулы (10 + значение поля NRXD [регистра статуса](#)). Без сброса
- 9*–3 Селектор дескриптора (DESCSEL) – Смещение в таблице дескрипторов. Показывает текущий используемый узлом SpaceWire дескриптор. Для чтения каждого нового дескриптора селектор увеличивается на 8 (в расчет принимается и зарезервированное поле 2–0) и в конечном итоге обнуляется. Левая граница поля рассчитывается, исходя из формулы (9 + значение поля NRXD [регистра статуса](#))
- 2–0 Зарезервировано

Регистр адреса канала DMA

Таблица 4.17.24 – Регистр адреса канала DMA GRSPW2

31	16 15	8 7	0
–	MASK	ADDR	
0x0000	n/r	n/r	
r	rw	rw	

- 31–16 Зарезервировано
- 15–8 Маска (MASK) – Используется для идентификации узла в сети SpaceWire. Оба поля адреса – принятый адрес и ADDR логически умножаются с инверсией поля MASK перед проверкой адреса
- 7–0 Адрес (ADDR) – Если установлен бит EN [регистра управления/статуса канала DMA](#), то данный адрес используется для идентификации узла в сети SpaceWire для данного канала DMA

4.17.11 Интерфейс прикладного программирования (API)

Интерфейс прикладного программирования (Application Programming Interface – API) поставляется вместе с GRSPW2. API расположен в директории \$(GRLIB)/software/spw. Это файлы `gmapari.c`, `spwari.c`, `gmapari.h`, `spwari.h`. В `spwari.h` содержатся объявления функций, используемых для настройки GRSPW2 и передачи данных. Соответствующие определения содержатся в `spwari.c`. Файл `gmapari` структурирован таким же образом и содержит функции для построения пакетов RMAP.

Эти функции описаны в этом пункте и могут быть использованы в виде простой отправной точки для разработки драйверов GRSPW2.

Базовый API GRSPW2

Базовый API GRSPW2 основан на структуре `spwvars` (см. таблицы [4.17.25](#), [4.17.26](#)), которая хранит всю информацию для одного модуля GRSPW2. Эта информация включает его адрес на шине AMBA, а также параметры SpaceWire, такие как адрес узла и значения

тактового делителя. Указатель на эту структуру используется в качестве входного параметра для всех функций. Если используется несколько ядер, для каждого модуля GRSPW2 создается и используется отдельная структура, с помощью которой осуществляется доступ к конкретному модулю.

Таблица 4.17.25 – Структура spwvars

Поле	Описание	Диапазон значений
regs	Указатель на структуру, соответствующую набору регистров GRSPW2	–
rmap	Указывает: сконфигурировано ли ядро с RMAP. Значение считывается в результате выполнения spw_init	0 – 1
gxunaligned	Указывает: сконфигурировано ли ядро с поддержкой не выровненных записей для приёмника. Значение считывается в результате выполнения spw_init	0 – 1
rmapcrc	Указывает: сконфигурировано ли ядро с поддержкой RMAP CRC. Значение считывается в результате выполнения spw_init	0 – 1
timetxen	Разрешение на передачу тайм-кодов данным модулем	0 – 1
timerxen	Разрешение на приём тайм-кодов данным модулем	0 – 1
ver	Версия GRSPW. Определяется автоматически в результате выполнения spw_init	–
khz	Значение тактовой частоты процессора. Не используется в GRSPW2	–
dmachan	Количество каналов DMA в данном модуле GRSPW2. Значение устанавливается в результате выполнения spw_init («1» – единственное возможное значение, поскольку реализован только один канал)	1
clkdiv	Значение тактового делителя, используемое модулем в рабочем режиме	0 – 255
clkdivs	Значение тактового делителя для получения требуемой для установления соединения частоты (10 Мбит/с)	0 – 255
timer	Не используется	–
dc	Не используется	–
nodeaddr	Адрес узла по умолчанию и его маска (формат записи соответствует полям регистра адреса по умолчанию), используемый для идентификации в сети SpiceWire	0 – 65535
mask	Не используется	–
destkey	Значение ключа получателя RMAP, используемое ядром	0 – 255
port	Выбор активного порта. Функционал недоступен, поскольку реализован однопортовый модуль GRSPW2	0 – 1
dma	Структура DMA	–

Таблица 4.17.26 – Структура DMA

Поле	Описание	Диапазон значений
nospill	Значение бита без вытеснения (NS) регистра управления/статуса канала DMA	0 – 1
gxmaxlen	Максимальное значение размера буфера приемника канала DMA, минимальный шаг изменения размера – 4 байта (подробное описание см. в «4.17.5 Приёмный канал DMA. Подготовка устройства для приёма»)	0 – 33554432
rxpnt	Порядковый номер текущего дескриптора приёмника	0 – 127
rxchkpnt	Порядковый номер проверяемого дескриптора приёмника	0 – 127
txpnt	Порядковый номер текущего дескриптора передатчика	0 – 63
txchkpnt	Порядковый номер проверяемого дескриптора передатчика	0 – 63
addr	Адрес узла, используемый для идентификации канала DMA в сети SpaceWire, когда установлен бит EN регистра управления/статуса канала DMA. Если бит EN сброшен, используется значение адреса по умолчанию (поле «nodeaddr» структуры «spwvars»)	0 – 255
mask	Маска адреса узла, используемая для идентификации канала DMA в сети SpaceWire, когда установлен бит EN в регистре управления DMA. Если бит EN сброшен, используется значение маски адреса по умолчанию (поле «mask» структуры «spwvars»)	0 – 255
txd	Указатель на структуру txdescriptor. Подробное описание дескриптора передатчика находится в таблицах 4.17.4 – 4.17.7	–
rxd	Указатель на структуру rxdescriptor. Подробное описание дескриптора приёмника находится в таблицах 4.17.2 – 4.17.3	–

В базовом API доступны следующие функции:

```
int spw_setparam( int nodeaddr, int clkdiv, int destkey, int timetxen, int timerxen;
int spwadr, int khz, struct spwvars *spw, int port, int clkdivs).
```

Используется для установки различных параметров экземпляра структуры spwvars. Всегда должна быть выполнена в первую очередь после создания данного экземпляра. Эта функция только инициализирует структуру, она не записывает никаких данных в регистры модуля SpaceWire, доступные по шине APB (см. таблицы 4.17.27, 4.17.28).

Таблица 4.17.27 – Возвращаемые значения функции

Значение	Описание
0	Функция завершена успешно
1	Один или несколько параметров имели некорректное значение

Таблица 4.17.28 – Параметры функции spw_setparam

Параметр	Описание	Допустимый диапазон
nodeaddr	Устанавливает значение адреса по умолчанию узла SpaceWire в структуре spw	0 – 255
clkdiv	Устанавливает значение тактового делителя в рабочем режиме в структуре spw	0 – 255
destkey	Устанавливает значение ключа файла-приемника в структуре spw	0 – 255
timetxen	Устанавливает разрешение на передачу тайм-кодов данным модулем структуры spw	0 – 1
timerxen	Устанавливает разрешение на приём тайм-кодов данным модулем структуры spw	0 – 1
spwadr	Адрес регистров управления на шине APB модуля GRSPW2, который будет передан в структуру spw (инициализирует указатель на структуру spwregs)	0 – $2^{32}-1$
khz	Значение поля должно соответствовать тактовой частоте процессора. Не используется в GRSPW2	–
spw	Указатель на экземпляр структуры spwvars	–
port	Устанавливает активный порт, если бит принудительного запрета порта сброшен. Не используется, поскольку реализован однопортовый модуль GRSPW2	0 – 1
clkdivs	Устанавливает значение тактового делителя для получения требуемой частоты модуля (10 Мбит/с) для процесса установления соединения в сети SpaceWire	0 – 255

```
spw_setparam_dma( int dmachan, int addr, int mask, int nospill, int rxmaxlen,
                 struct spwvars *spw).
```

Используется для установки параметров заданного канала DMA в структуре spwvars. Реализован только один канал DMA, поэтому в качестве первого параметра всегда должен передаваться ноль (соответствует выбору канала 1 DMA), см. таблицы 4.17.29, 4.17.30.

Таблица 4.17.29 – Возвращаемые значения функции

Значение	Описание
0	Функция завершена успешно
1	Один или несколько параметров имели некорректное значение

Таблица 4.17.30 – Параметры функции spw_setparam_dma

Параметр	Описание	Допустимый диапазон
dmachan	Номер канала DMA (реализован один канал)	0
addr	Устанавливает значение поля addr структуры dma для заданного канала	0 – 255
mask	Устанавливает значение поля mask структуры dma для заданного канала	0 – 255
nospill	Устанавливает значение поля nospill структуры dma для заданного канала	0 – 1
rxmaxlen	Устанавливает значение поля rxmaxlen структуры dma для заданного канала	0 – 33554432
spw	Указатель на экземпляр структуры spwvars	–

int spw_init(struct spwvars *spw).

Инициализирует модуль GRSPW2, расположенный по адресу, указанному в spw. Список устанавливаемых регистров: [регистр адреса по умолчанию](#), [регистр ключа получателя RMAP](#), [регистр тактового делителя](#), [регистр максимального размера принимаемого пакета](#), [регистр адреса таблицы дескрипторов передатчика](#), [регистр адреса таблицы дескрипторов приёмника](#), [регистр управления](#) и [регистр управления/статуса канала DMA](#). Все биты устанавливаются в соответствии со значениями структуры spwvars. Если бит регистра нет в структуре, то он будет установлен в 0. Под таблицы дескрипторов выделяются области памяти, выровненные по адресу под размер таблицы (с использованием функции malloc). Очищается [регистр статуса](#) и в заключение выполняется запуск соединения. Частота в рабочем режиме (Run) будет установлена в соответствии со значением поля clkdiv (см. таблицы [4.17.31](#), [4.17.32](#)).

Таблица 4.17.31 – Возвращаемые значения функции spw_init

Значение	Описание
0	Функция завершена успешно
1	Один или несколько параметров были установлены некорректно или канал не удалось инициализировать

Таблица 4.17.32 – Параметры функции spw_init

Параметр	Описание	Допустимый диапазон
spw	Указатель на структуру spwvars, ассоциированную с модулем GRSPW2, который будет инициализирован	–

int wait_running(struct spwvars *spw).

Функция проверяет текущее состояние последовательности запуска канала SpaceWire. Если лимит попыток превышен, а модуль всё ещё не перешёл в рабочий режим, то функция завершается кодом ошибки (см. таблицу [4.17.33](#)).

Таблица 4.17.33 – Возвращаемые значения функции wait_running

Значение	Описание
0	Функция завершена успешно
1	Модуль SpaceWire не перешел в рабочий режим (в состоянии Run)

int set_txdesc(int dmachan, int pnt, struct spwvars *spw).

Устанавливает новый адрес в [регистре адреса таблицы дескрипторов передатчика](#). Данную функцию можно использовать, только если передача неактивна. Также сбрасываются порядковые номера текущего и проверяемого дескрипторов, используемые в функциях spw_tx и spw_checktx. Возвращаемые значения и параметры для spw_txdesc представлены в таблицах [4.17.34](#), [4.17.35](#).

Таблица 4.17.34 – Возвращаемые значения функции set_txdesc

Значение	Описание
0	Функция выполнена успешно
1	Новый адрес записан некорректно

Таблица 4.17.35 – Параметры функции spw_txdesc

Параметр	Описание	Допустимый диапазон
dmachan	Устанавливает номер канала DMA (реализован один канал)	0
pnt	Новый адрес области таблицы дескрипторов	$0 - 2^{32}-1$
spw	Указатель на структуру spwvars, ассоциируемую с целевым модулем GRSPW2	–

int set_rxdesc(int dmachan, int pnt, struct spwvars *spw).

Устанавливает новый адрес в регистре адреса таблицы указателя приемника. Данную функцию можно использовать, если только передача неактивна. Также сбрасываются порядковые номера текущего и проверяемого дескрипторов, используемые в функциях spw_gx и spw_checkgx. Возвращаемые значения и параметры для spw_rxdesc представлены в таблицах 4.17.36 и 4.17.37.

Таблица 4.17.36 – Возвращаемые значения для spw_rxdesc

Значение	Описание
0	Функция выполнена успешно.
1	Новый адрес записан некорректно

Таблица 4.17.37 – Параметры функции spw_rxdesc

Параметр	Описание	Допустимый диапазон
dmachan	Номер канала DMA (реализован один канал)	0
pnt	Новый адрес области таблицы дескрипторов	$0 - 2^{32}-1$
spw	Указатель на структуру spwvars, ассоциируемую с целевым модулем GRSPW2	–

void spw_disable(struct spwvars *spw).

Запрет на использование модуля GRSPW2, функция устанавливает бит запрета соединения (LD) [регистра управления](#) (см. таблицу 4.17.38).

Таблица 4.17.38 – Параметры функции spw_disable

Параметр	Описание	Допустимый диапазон
spw	Указатель на структуру spwvars, ассоциируемую с целевым модулем GRSPW2	–

void spw_enable(struct spwvars *spw).

Разрешение на использование модуля GRSPW2, функция сбрасывает бит запрета соединения (LD) [регистра управления](#) (см. таблицу 4.17.39).

Таблица 4.17.39 – Параметры функции spw_enable

Параметр	Описание	Допустимый диапазон
spw	Указатель на структуру spwvars, ассоциируемую с целевым модулем GRSPW2	–

void spw_start(struct spwvars *spw).

Запуск соединения GRSPW2, функция устанавливает бит старт соединения (LS) регистра управления (см. таблицу 4.17.40).

Таблица 4.17.40 – Параметры для spw_start

Параметр	Описание	Допустимый диапазон
spw	Указатель на структуру spwvars, ассоциируемую с целевым модулем GRSPW2	–

void spw_stop(struct spwvars *spw).

Останавливает GRSPW2, функция сбрасывает бит старт соединения (LS) [регистра управления](#) (см. таблицу 4.17.41).

Таблица 4.17.41 – Параметры функции spw_stop

Параметр	Описание	Допустимый диапазон
spw	Указатель на структуру spwvars, ассоциируемую с целевым модулем GRSPW2	–

int spw_setclockdiv(struct spwvars *spw).

Устанавливает [регистр тактового делителя](#), значения полей берутся из структуры spwvars. Возвращаемые значения и параметры для spw_setclockdiv представлены в таблицах 4.17.42, 4.17.43.

Таблица 4.17.42 – Возвращаемые значения функции spw_setclockdiv

Значение	Описание
0	Функция выполнена успешно
1	Новое значение тактового делителя недопустимо

Таблица 4.17.43 – Параметры функции spw_setclockdiv

Параметр	Описание	Допустимый диапазон
spw	Указатель на структуру spwvars, ассоциируемую с целевым модулем GRSPW2	–

int spw_set_nodeadr(struct spwvars *spw).

Устанавливает [регистр адреса по умолчанию](#) при этом значения полей адреса и маски берутся из структуры spwvars. Возвращаемые значения и параметры для spw_set_nodeadr представлены в таблицах 4.17.44, 4.17.45.

Таблица 4.17.44– Возвращаемые значения функции spw_set_nodeadr

Значение	Описание
0	Функция выполнена успешно
1	Новое значение адреса/маски узла недопустимо

Таблица 4.17.45 – Параметры функции spw_set_nodeadr

Параметр	Описание	Допустимый диапазон
spw	Указатель на структуру spwvars, ассоциируемую с целевым модулем GRSPW2	–

int spw_set_chanadr(int dmachan, struct spwvars *spw).

Устанавливает новое значение отдельного адреса канала DMA. Реализован только один канал DMA, поэтому в качестве первого параметра всегда должен передаваться 0 (см. таблицы 4.17.46, 4.17.47).

Таблица 4.17.46– Возвращаемые значения функции spw_set_chanadr

Значение	Описание
0	Функция выполнена успешно
1	Новое значение отдельного адреса канала DMA недопустимо

Таблица 4.17.47 – Параметры функции spw_set_chanadr

Параметр	Описание	Допустимый диапазон
dmachan	Номер канала DMA (реализован один канал)	0
spw	Указатель на структуру spwvars, ассоциируемую с целевым модулем GRSPW	–

int spw_set_rxmaxlength(int dmachan, struct spwvars *spw).

Устанавливает [регистр максимального размера принимаемого пакета](#), при этом значение rxmaxlen берётся из структуры spwvars. Возвращаемые значения и параметры для spw_set_rxmaxlength представлены в таблицах [4.17.48](#), [4.17.49](#).

Таблица 4.17.48 – Возвращаемые значения функции spw_set_rxmaxlength

Значение	Описание
0	Функция выполнена успешно
1	Новое значение максимального размера принимаемого пакета недопустимо

Таблица 4.17.49 – Параметры функции spw_set_rxmaxlength

Параметр	Описание	Допустимый диапазон
dmachan	Номер канала DMA (реализован один канал)	0
spw	Указатель на структуру spwvars, ассоциируемую с целевым модулем GRSPW2	–

int spw_tx(int dmachan, int hcrc, int dcrc, int skipcrcsize, int hsize, char *hbuf, int dsize, char *dbuf, struct spwvars *spw).

Передает пакет. Могут использоваться отдельные буферы заголовка и данных. GSPW2 вставляет контрольные суммы CRC, рассчитанные согласно спецификации RMAP, после полей данных и/или заголовка, если dcrc и/или hcrc установлены в единицу. Данная функция только устанавливает дескриптор и иницирует передачу. Для того чтобы проверить, был ли передан пакет, следует использовать функцию spw_checktx. Указатель на запись таблицы дескрипторов хранится в структуре spwvars, он используется для отслеживания следующей позиции в таблице. Инкрементируется каждый раз, когда функция возвращает «0». Возвращаемые значения и параметры для spw_tx представлены в таблицах [4.17.50](#), [4.17.51](#).

Таблица 4.17.50 – Возвращаемые значения функции spw_tx

Значение	Описание
0	Функция выполнена успешно
1	Не установлен бит разрешения (EN) в текущем дескрипторе передающего канала DMA
2	Недопустимое значение количества байт в начале пакета, которые будут исключены из расчета CRC
3	Некорректно заданы параметры hcrc или dcrc
4	Не определен один или оба указателя на буферы заголовка и данных
5	Недопустимый размер заголовка в байтах
6	Недопустимый размер поля данных в байтах

Таблица 4.17.51 – Параметры функции spw_tx

Параметр	Описание	Допустимый диапазон
dmachan	Номер канала DMA (реализован один канал)	0
hcrc	Добавить CRC RMAP после поля заголовка	0 – 1
dcrc	Добавить CRC RMAP после поля данных	0 – 1
skipcrcsize	Определяет количество байт в начале пакета, которые будут исключены из расчета CRC	0 – 15
hsize	Размер заголовка в байтах	0 – 255
hbuf	Указатель на данные заголовка	–
dsize	Размер поля данных в байтах	0 – 2 ²⁴ –1
dbuf	Указатель на область данных	–
spw	Указатель на структуру spwvars, ассоциированную с целевым модулем GRSPW2, который будет осуществлять передачу пакета	–

int spw_rx(int dmachan, char *buf, struct spwvars *spw).

Устанавливает разрешение на исполнение дескриптора приёмника. Пакет будет сохранен в буфере «buf». Для проверки корректности приёма пакета должна быть использована функция spw_checkrx. Указатель «rxpnt» во вложенной структуре dma структуры spwvars используется для отслеживания следующей позиции в таблице дескрипторов. Он автоматически инкрементируется каждый раз, когда функция возвращает значение «0». Возвращаемые значения и параметры для spw_rx представлены в таблицах 4.17.52 и 4.17.53.

Таблица 4.17.52 – Возвращаемые значения функции spw_rx

Значение	Описание
0	Функция выполнена успешно
1	Свободные указатели для приема отсутствуют

Таблица 4.17.53 – Параметры функции spw_rx

Параметр	Описание	Допустимый диапазон
dmachan	Номер канала DMA (реализован один канал)	0
buf	Указатель на область данных	–
spw	Указатель на структуру spwvars, ассоциированную с целевым модулем GRSPW2, который будет осуществлять приём пакета	–

int spw_checkrx(int dmachan, int *size, struct rxstatus *rxs, struct spwvars *spw).

Проверяет, был ли осуществлен прием пакета, возвращаемые значения функции отображены в таблице 4.17.54. После приема пакета размер в байтах сохраняется в соответствии с параметром размера; статус – в структуре rxs. Указатель «rxchkpnt» во вложенной структуре dma структуры spwvars используется для отслеживания положения дескриптора в таблице дескрипторов, который должен быть опрошен. Он автоматически инкрементируется каждый раз, когда функция возвращает ненулевое значение. Параметры для spw_checkrx представлены в таблицах 4.17.55 и 4.17.56.

Таблица 4.17.54 – Возвращаемые значения функции spw_checkrx

Значение	Описание
0	Пакет не был принят
1	Пакет был принят

Таблица 4.17.55 – Параметры функции spw_checktx

Параметр	Описание	Допустимый диапазон
dmachan	Номер канала DMA (реализован один канал)	0
size	Если пакет был принят, то переменная содержит количество принятых байт	–
gxs	Если пакет был принят, то в данную структуру сохраняется информация о статусе пакета	–
spw	Указатель на структуру spwvars, ассоциированную с целевым модулем GRSPW2, который должен быть опрошен	–

Таблица 4.17.56 – Структура gxstatus

Поле	Описание	Допустимый диапазон
truncated	Пакет был усечён	0 – 1
dcrcerr	Установлен бит ошибки CRC данных. Указывает на состояние ошибки в случае, если принятый пакет – пакет RMAP	0 – 1
hcrcerr	Установлен бит ошибки CRC заголовка. Указывает на состояние ошибки в случае, если принятый пакет – пакет RMAP	0 – 1
eer	Пакет завершен с ЕЕР	0 – 1

int spw_checktx(int dmachan, struct spwvars *spw).

Проверяет была ли осуществлена передача пакета. Указатель «txchkpnt» во вложенной структуре dma структуры spwvars используется для отслеживания положения дескриптора в таблице дескрипторов, который должен быть опрошен. Он автоматически инкрементируется каждый раз, когда функция возвращает ненулевое значение. Возвращаемые значения и параметры для spw_checktx представлены в таблицах [4.17.57](#) и [4.17.58](#).

Таблица 4.17.57 – Возвращаемые значения функции spw_checktx

Значение	Описание
0	Пакет не был передан
1	Пакет был передан корректно
2	Пакет был передан некорректно

Таблица 4.17.58 – Параметры функции spw_checktx

Параметр	Описание	Допустимый диапазон
dmachan	Номер канала DMA (реализован один канал)	0
spw	Указатель на структуру spwvars, ассоциированную с целевым модулем GRSPW2	–

void send_time(struct spwvars *spw).

Послать новый тайм-код. Увеличивает счетчик системного времени в GRSPW2 и передает данное значение в сеть SpaceWire. Параметры для send_time представлены в таблице [4.17.59](#).

Таблица 4.17.59 – Параметры для времени отправки

Параметр	Описание	Допустимый диапазон
spw	Указатель на структуру spwvars, ассоциированную с целевым модулем GRSPW2	–

`int send_time_exp(int ctrl, int time, struct spwvars *spw).`

Послать заданный тайм-код. Флаги контроля и предварительно декрементированное (по модулю 64) значение счетчика времени записываются в регистр системного времени (тайм-кодов), затем выполняются действия, аналогичные `send_time`. Возвращаемые значения и параметры функции `send_time_exp` представлены в таблицах [4.17.60](#), [4.17.61](#).

Таблица 4.17.60 – Параметры функции `send_time_exp`

Параметр	Описание	Допустимый диапазон
<code>ctrl</code>	Значение флагов контроля тайм-кодов	
<code>time</code>	Посылаемое значение счетчика системного времени	0 – 63
<code>spw</code>	Указатель на структуру <code>spwvars</code> , ассоциированную с целевым модулем <code>GRSPW2</code>	–

Таблица 4.17.61 – Возвращаемые значения функции `send_time_exp`

Значение	Описание
0	Тайм-код был передан
-1	Передаваемое значение функции не попадает в разрешенный диапазон

`int check_time(struct spwvars *spw).`

Проверяет был ли получен тайм-код. Функция возвращает значение бита входного отсчета (ТО) [регистра статуса](#), после чего сбрасывает данный бит. Возвращаемые значения и параметры для `check_time` представлены в таблицах [4.17.62](#), [4.17.63](#).

Таблица 4.17.62 – Возвращаемые значения функции `check_time`

Значение	Описание
0	Код синхронизации не принят
1	Принято новое значение счетчика времени

Таблица 4.17.63 – Параметры функции `check_time`

Параметр	Описание	Допустимый диапазон
<code>spw</code>	Указатель на структуру <code>spwvars</code> , ассоциированную с модулем <code>GRSPW2</code> , который должен быть опрошен	–

`int get_time(struct spwvars *spw).`

Возвращает текущее значение счетчика времени (см. таблицу [4.17.64](#)). Параметры для `get_time` представлены в таблице [4.17.65](#).

Таблица 4.17.64 – Возвращаемые значения функции `get_time`

Значение	Описание
0 – 63	Текущее значение счетчика времени

Таблица 4.17.65 – Параметры функции `get_time`

Параметр	Описание	Допустимый диапазон
<code>spw</code>	Указатель на структуру <code>spwvars</code> , ассоциированную с модулем <code>GRSPW2</code> , который должен быть опрошен	–

`int get_time_ctrl(struct spwvars *spw).`

Возвращает текущее значение флагов контроля тайм-кода, записанных в [регистр системного времени \(тайм-кодов\) GRSPW2](#). Возвращаемые значения и параметры для `check_time` представлены в таблицах [4.17.66](#), [4.17.67](#).

Таблица 4.17.66 – Возвращаемые значения функции `get_time_ctrl`

Значение	Описание
0 – 3	Возвращает текущее значение флагов контроля тайм-кодов

Таблица 4.17.67 – Параметры функции `get_time_ctrl`

Параметр	Описание	Допустимый диапазон
<code>spw</code>	Указатель на структуру <code>spwvars</code> , ассоциированную с модулем <code>GRSPW2</code> , который должен быть опрошен	–

`void spw_reset(struct spwvars *spw).`

Сбрасывает `GRSPW2`. Параметры для `spw_reset` представлены в таблице [4.17.68](#).

Таблица 4.17.68 – Параметры функции `spw_reset`

Параметр	Описание	Допустимый диапазон
<code>spw</code>	Указатель на структуру <code>spwvars</code> , ассоциированную с модулем <code>GRSPW2</code> , который должен быть сброшен	–

`void spw_rmapen(struct spwvars *spw).`

Разрешение на использование аппаратного сортировщика команд `RMAP`. Параметры для `spw_rmapen` представлены в таблице [4.17.69](#).

Таблица 4.17.69 – Параметры функции `spw_rmapen`

Параметр	Описание	Допустимый диапазон
<code>spw</code>	Указатель на структуру <code>spwvars</code> , ассоциированную с целевым модулем <code>GRSPW2</code>	–

`void spw_rmapdis(struct spwvars *spw).`

Запрет на использование аппаратного сортировщика команд `RMAP`. Параметры для `spw_rmapdis` представлены в таблице [4.17.70](#).

Таблица 4.17.70 – Параметры функции `spw_rmapdis`

Параметр	Описание	Допустимый диапазон
<code>spw</code>	Указатель на структуру <code>spwvars</code> , ассоциированную с целевым модулем <code>GRSPW2</code>	–

`int spw_setdestkey(struct spwvars *spw).`

Устанавливает ключ получателя `RMAP GRSPW2`. Возвращаемые значения и параметры для `spw_setdestkey` представлены в таблицах [4.17.71](#) и [4.17.72](#).

Таблица 4.17.71 – Возвращаемые значения функции `spw_setdestkey`

Значение	Описание
0	Функция выполнена успешно
1	Некорректное значение параметра ключа получателя в структуре <code>spwvars</code>

Таблица 4.17.72 – Параметры функции spw_setdestkey

Параметр	Описание	Допустимый диапазон
spw	Указатель на структуру spwvars, ассоциированную с целевым модулем GRSPW2	–

void spw_setsepadr(int dmachan, struct spwvars *spw).

Разрешает использование отдельного адреса узла для данного канала DMA (см. таблицу 4.17.73).

Таблица 4.17.73 – Параметры функции spw_setsepadr

Параметр	Описание	Допустимый диапазон
dmachan	Номер канала DMA (реализован один канал)	0
spw	Указатель на структуру spwvars, ассоциированную с целевым модулем GRSPW2	–

void spw_disablesepadr(int dmachan, struct spwvars *spw).

Запрещает использование отдельного адреса узла для данного канала DMA (см. таблицу 4.17.74).

Таблица 4.17.74 – Параметры функции spw_disablesepadr

Параметр	Описание	Допустимый диапазон
dmachan	Номер канала DMA (реализован один канал)	0
spw	Указатель на структуру spwvars, ассоциированную с целевым модулем GRSPW2	–

void spw_enablerx(int dmachan, struct spwvars *spw).

Разрешить прием пакетов по данному каналу DMA (см. таблицу 4.17.75).

Таблица 4.17.75 – Параметры функции spw_enablerx

Параметр	Описание	Допустимый диапазон
dmachan	Номер канала DMA (реализован один канал)	0
spw	Указатель на структуру spwvars, ассоциированную с целевым модулем GRSPW2	–

void spw_disablerx(int dmachan, struct spwvars *spw).

Запретить прием пакетов по заданному каналу DMA (см. таблицу 4.17.76).

Таблица 4.17.76 – Параметры функции spw_disablerx

Параметр	Описание	Допустимый диапазон
dmachan	Номер канала DMA (реализован один канал)	0
spw	Указатель на структуру spwvars, ассоциированную с целевым модулем GRSPW2	–

void spw_disable_promiscuous(struct spwvars *spw).

Отключение «неразборчивого» режима (см. таблицу 4.17.77).

Таблица 4.17.77 – Параметры функции spw_disable_promiscuous

Параметр	Описание	Допустимый диапазон
spw	Указатель на структуру spwvars, ассоциированную с целевым модулем GRSPW2	–

void spw_enable_promiscuous(struct spwvars *spw).

Включение «неразборчивого» режима (см. таблицу 4.17.78).

Таблица 4.17.78 – Параметры функции spw_enable_promiscuous

Параметр	Описание	Допустимый диапазон
spw	Указатель на структуру spwvars, ассоциированную с целевым модулем GRSPW2	–

API RMAP GRSPW2

API RMAP содержит только одну функцию, используемую для создания заголовков RMAP.

int build_rmap_hdr(struct rmap_pkt *pkt, char *hdr, int *size).

Создает заголовки RMAP в буфере, указанном в hdr. Возвращаемые значения и параметры для build_rmap_hdr представлены в таблицах 4.17.79 – 4.17.81. Данные заголовка берутся из структуры rmap_pkt.

Таблица 4.17.79 – Возвращаемые значения для build_rmap_hdr

Значение	Описание
0	Функция выполнена успешно
1	Значения type или verify структуры rmap_pkt не попадают в разрешенный диапазон
2	Значение ack структуры rmap_pkt не попадает в разрешенный диапазон
3	Значение incr структуры rmap_pkt не попадает в разрешенный диапазон
4	Значение dstspalen структуры rmap_pkt не попадает в разрешенный диапазон
5	Значение srcspalen структуры rmap_pkt не попадает в разрешенный диапазон
6	Значение destkey структуры rmap_pkt не попадает в разрешенный диапазон
7	Значение destaddr структуры rmap_pkt не попадает в разрешенный диапазон
9	Значение srcaddr структуры rmap_pkt не попадает в разрешенный диапазон
10	Значение tid структуры rmap_pkt не попадает в разрешенный диапазон
11	Значение len структуры rmap_pkt не попадает в разрешенный диапазон
12	Значение status структуры rmap_pkt не попадает в разрешенный диапазон

Таблица 4.17.80 – Параметры для build_rmap_hdr

Параметр	Описание	Допустимый диапазон
pkt	Указатель на структуру rmap_pkt, которая содержит данные для создания заголовка	–
hdr	Указатель на буфер, в котором заголовок будет создан	–
size	После создания заголовка переменная будет содержать его размер	–

Таблица 4.17.81 – Поля структуры `map_pkt`

Поле	Описание	Допустимый диапазон
<code>type</code>	Выбор типа создаваемого пакета	<code>writcmd</code> , <code>readcmd</code> , <code>rmwcmd</code> , <code>writerep</code> , <code>readrep</code> , <code>rmwrep</code>
<code>verify</code>	Осуществлять ли проверку данных перед записью	<code>yes</code> , <code>no</code>
<code>ack</code>	Отправлять ли подтверждение	<code>yes</code> , <code>no</code>
<code>incr</code>	Должен ли адрес быть инкрементирован	<code>yes</code> , <code>no</code>
<code>destaddr</code>	Устанавливает адрес получателя	0 – 255
<code>destkey</code>	Устанавливает ключ получателя	0 – 255
<code>srcaddr</code>	Устанавливает адрес источника	0 – 255
<code>tid</code>	Устанавливает поле идентификатора передачи	0 – 65 535
<code>addr</code>	Устанавливает адрес выполняемой операции. Поле расширенного адреса всегда сброшено	0 – $2^{32}-1$
<code>len</code>	Количество байт для записи, считывания или операции считывания-модификации-записи	0 – $2^{24}-1$
<code>status</code>	Устанавливает поле статуса	0 – 11
<code>dstspalen</code>	Количество байт адреса пути от отправителя, которые будут вставлены перед адресом получателя	0 – 228
<code>dstspa</code>	Указатель на область памяти, в которой хранятся байты адреса пути от отправителя	–
<code>srcspalen</code>	Количество байт адреса пути от отправителя, которые будут вставлены в команду. В ответе эти байты вставляются перед адресом возврата	0 – 12
<code>srcspa</code>	Указатель на область памяти, в которой хранятся байты адреса пути от отправителя	–

4.18 Интерфейс Ethernet с поддержкой EDCL

4.18.1 Общие сведения

Контроллер доступа к среде в сетях Ethernet от Cobham Gaisler (GRETH) обеспечивает интерфейс между шиной АНВ AMBA и сетью Ethernet, см. рисунок 4.18.1. Он поддерживает скорость 10/100 Мбит/с в полнодуплексном и полудуплексном режимах. Интерфейс AMBA состоит из интерфейса APB, обеспечивающего конфигурацию и управление интерфейса ведущего устройства АНВ, обрабатывающего поток данных. Поток данных обрабатывается через каналы DMA. И передатчики и приемник имеют по одному механизму DMA. Оба этих механизма используют общий интерфейс ведущего устройства АНВ. Для подключения к внешнему PHY используется независимый от среды интерфейс (МИ). GRETH также предоставляет служебный канал (МИ) интерфейса МИ, который используется для конфигурации PHY.

Также обеспечена поддержка протокола линии связи отладки Ethernet (EDCL). Для удаленной отладки используется протокол, основанный на UDP/IP.

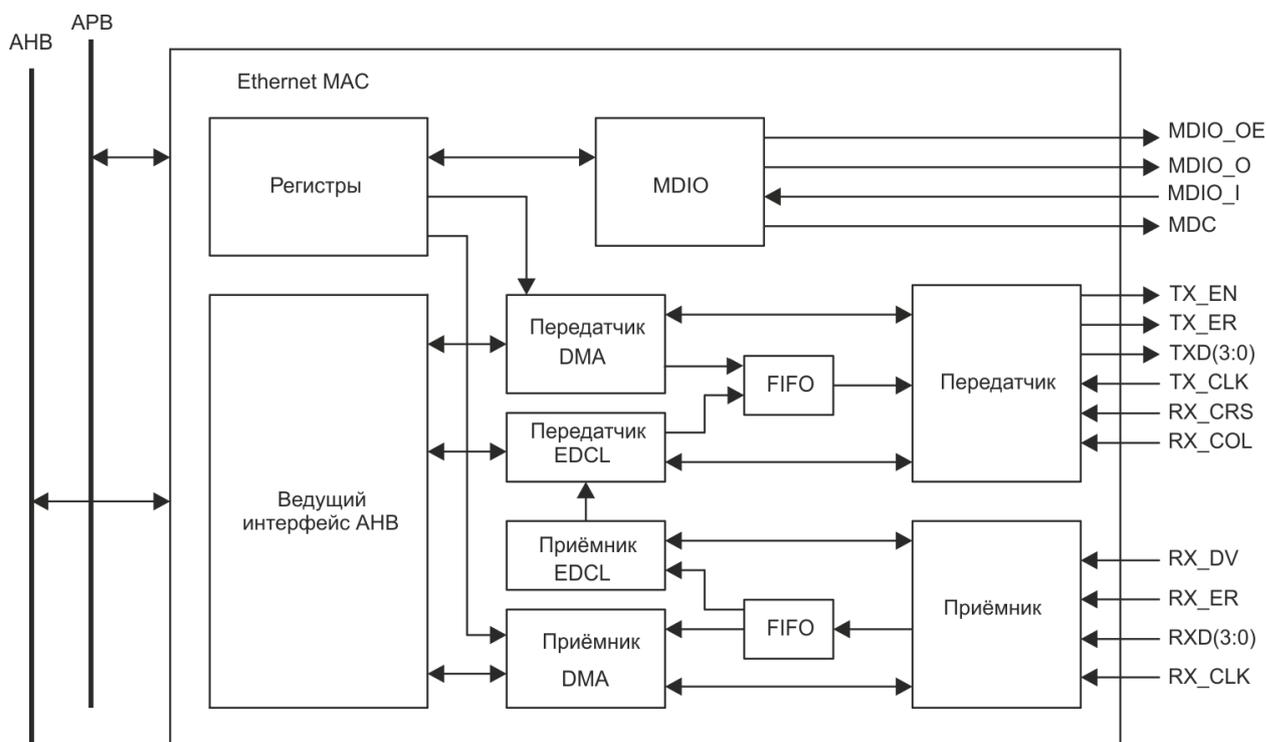


Рисунок 4.18.1 – Блок-схема внутренней структуры GRETH

4.18.2 Принцип работы

Общие сведения о системе

GRETH состоит из трех функциональных блоков: каналов DMA, интерфейса MDIO и линии связи отладки Ethernet (EDCL).

Основой функционирования контроллера являются каналы DMA, которые используются для передачи данных между шиной АНВ и сетью Ethernet. Приемник и передатчик имеют по отдельному каналу DMA. Работа каналов DMA управляется через регистры, доступ к которым осуществляется через интерфейс APB.

Интерфейс MDIO (служебный канал) используется для получения доступа к регистрам конфигурации и статуса в одном или более PHY, соединенных с MAC. Работа данного интерфейса также управляется через интерфейс APB.

EDCL обеспечивает доступ к операциям чтения и записи по шине АНВ через Ethernet. EDCL использует протоколы UDP, IP, ARP вместе с протоколом уровня клиентского приложения. EDCL не содержит регистры с пользовательским доступом и всегда работает параллельно с каналами DMA.

Независимый от среды интерфейс (МИ) используется для связи с PHY. Передатчик Ethernet пересылает все данные из домена АНВ по сети Ethernet через интерфейс МИ. Приемник Ethernet управляет на хранение все данные из сети Ethernet по шине АНВ. Оба эти интерфейса при передаче потоков данных используют FIFO.

Каналы DMA и EDCL используют общий приемник и передатчик Ethernet.

Поддержка протокола

GRETH реализован в соответствии со стандартом IEEE 802.3-2002. Дополнительный подуровень управления не поддерживается. Это означает, что пакеты программ с типом 0x8808 (только определяемые на данный момент пакеты программ управления) не учитываются.

Тактирование

GRETH имеет три домена тактирования: тактирование АНВ, тактирование приемника Ethernet и тактирование передатчика Ethernet. Сигналы тактирования передатчика и приемника Ethernet генерируются внешним PHY Ethernet и подаются на вход контроллера через интерфейс МП. Эти три домена тактирования не связаны друг с другом; все сигналы, пересекающие области тактирования, полностью синхронизированы в устройстве.

Поддерживаются режимы работы 10/100 Мбит/с в дуплексном и полудуплексном режимах. Минимальное тактирование АНВ для функционирования в 10 мегабитном режиме составляет 2,5 МГц, в 100 мегабитном – 25 МГц. Использование частот АНВ ниже заявленных приведет к чрезмерной потере пакетов.

4.18.3 Интерфейс Tx DMA

Интерфейс DMA передатчика используется для передачи данных по сети Ethernet. Передача выполняется с помощью указателей, расположенных в памяти.

Установка дескриптора

Отдельно взятый дескриптор представлен в таблицах 4.18.1 и 4.18.2. Количество отправляемых байт должно быть установлено в поле размера; поле адреса должно указывать на данные. Адрес должен быть выровнен по границе слова (4 байта). Если бит разрешения прерывания (IE) установлен, прерывание генерируется после отправки пакета (помимо этого требуется, чтобы в регистре управления также был установлен бит прерывания передатчика (TI)). Прерывание генерируется независимо от того, успешно ли передан пакет. Также до выполнения передачи должен быть установлен бит перехода на новую запись (WR) – см. ниже в данном пункте.

Таблица 4.18.1 – Слово «0» дескриптора передачи GRETH (смещение адреса 0x0)

31		16	15	14	13	12	11	10		0
	–				AL	UE	IE	WR	EN	LENGTH

31–16	Зарезервировано
15	Ошибка предельного значения попыток (AL) – Пакет не передан, потому что достигнуто максимальное количество попыток
14	Ошибка недостаточного наполнения FIFO (UE) – Пакет неправильно передан из-за ошибки, связанной с недостаточным наполнением FIFO
13	Разрешение прерывания (IE) – Разрешает прерывания. Прерывание генерируется после отправки пакета с данным дескриптором при условии, что в регистре управления установлен бит разрешения прерывания передатчика. Прерывание генерируется независимо от того, успешно ли передан пакет или с ошибкой
12	Переход на новую запись (WR) – Установка бита обнуляет указатель дескриптора после того, как этот дескриптор был использован. Если этот бит сброшен, то указатель будет увеличен на 8. Указатель автоматически обнуляется при достижении граничного значения в 1 Кбайт таблицы дескрипторов
11	Разрешение (EN) – Установка этого бита приведет к активации дескриптора. Должен устанавливаться в последнюю очередь после всех полей дескриптора
10–0	LENGTH – Количество передаваемых байт

Таблица 4.18.2 – Слово «1» дескриптора передачи GRETH (смещение адреса 0x4)

31		2	1	0
ADDRESS				–

31–2 Адрес (ADDRESS) – Указатель на область буфера, из которой загружаются данные пакета
1, 0 Зарезервировано

Для активации дескриптора должен быть установлен бит разрешения (EN), после чего данный идентификатор не следует изменять до сброса бита разрешения, производимого контроллером GRETH.

Запуск передачи

Активации дескриптора недостаточно для запуска передачи. Сначала необходимо в GRETH поместить указатель на область памяти, содержащую дескрипторы. Это выполняется в регистре указателя дескриптора передатчика (см. «4.18.9 Регистры»). Адрес должен быть выровнен до 1 Кбайта. Биты 31–10 содержат базовый адрес области дескриптора, в то время, как биты (9–3) формируют указатель на отдельный дескриптор. Первый дескриптор должен размещаться в базовом адресе; после использования в GRETH поле указателя увеличивается на 8, чтобы указывать на следующий дескриптор. Указатель автоматически обнуляется при достижении граничного значения в 1 Кбайт (использование дескриптора со смещением адреса 0x3F8). Бит WR может быть установлен для перевода указателя на базовый адрес до достижения границы в 1 Кбайт.

Поле указателя для максимальной гибкости также может быть перезаписано, но при записи в регистр указателя дескриптора необходимо соблюдать осторожность. Он не должен изменяться пользователем в процессе передачи.

Последний шаг для активации передачи – установить бит разрешения передачи (TE) в регистре управления, при этом GRETH сообщает, что в таблице дескрипторов имеются другие активные дескрипторы. Этот бит должен быть всегда установлен при активации новых дескрипторов, даже если передача уже выполняется. Активация дескриптора всегда должна быть выполнена перед установкой бита разрешения передачи.

Обработка дескриптора после передачи

После окончания передачи пакета статус записывается в первое слово в соответствующем дескрипторе. Бит ошибки, связанной с неполной загрузкой (UE), устанавливается, если FIFO стало пустым до того, как пакет был полностью передан. Бит ошибки предельного значения попыток (AL) устанавливается, если количество конфликтных ситуаций превысило максимально допустимое значение. Пакет будет передан успешно, только если оба бита сброшены. Другие биты в первом слове дескриптора сбрасываются после завершения передачи, в то время как второе слово остается без изменений.

Бит разрешения должен использоваться как индикатор возможности использовать дескриптор снова, что происходит, когда он был сброшен контроллером GRETH. В регистре статуса GRETH имеется три бита, которые содержат статус передачи. Бит ошибки передатчика (TE) устанавливается, если передача завершена с ошибкой (когда, по крайней мере, установлен один из этих двух битов статуса в указателе передачи). Бит прерывания передатчика (TI) устанавливается, если передача завершена успешно.

Бит ошибки АНВ передатчика (ТА) устанавливается при обнаружении ошибки АНВ при считывании дескриптора или пакетных данных. Любые активные передачи

останавливаются, и передатчик отключается. Передача может быть вновь активирована установкой регистра разрешения передачи.

Установка данных для передачи

Данные для передачи должны быть размещены по адресу, на который указывает поле адреса дескриптора. GRETH не добавляет Ethernet-адрес и поле типа, поэтому они должны быть сохранены в буфере данных. 4-байтовый CRC Ethernet автоматически добавляется в конце каждого пакета. Каждый дескриптор соответствует отдельному пакету Ethernet. Если поле размера в дескрипторе больше 1514 байт, пакет не будет отправлен.

4.18.4 Интерфейс Rx DMA

Интерфейс DMA приемника используется для получения данных из сети Ethernet. Прием выполняется с помощью дескрипторов, расположенных в памяти.

Установка дескрипторов

Отдельно взятый дескриптор представлен в таблицах 4.18.3 и 4.18.4. Поле адреса должно указывать на буфер с выравниванием по границе слова (4 байта), в котором сохраняются полученные данные. GRETH сохраняет в буфере не более 1514 байт (соответственно максимальная длина поля данных принимаемого кадра Ethernet II / IEEE 802.3 составляет 1500 байт). Если бит разрешения прерывания (IE) установлен, прерывание генерируется после того, как полученный пакет размещен в буфере (помимо этого требуется, чтобы в регистре управления также был установлен бит прерывания приемника (RI)). Прерывание генерируется независимо от того, успешно ли получен пакет. Также до активации дескриптора должен быть установлен бит перехода на новую запись (WR) – см. ниже в данном пункте.

Таблица 4.18.3 – Слово «0» дескриптора приема GRETH (смещение адреса 0x0)

31	27	26	25	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	0
–	MC	–		LE	OE	CE	FT	AE	IE	WR	EN			LENGTH

- 31–27 Зарезервировано
- 26 Групповая передача (MC) – Если данный бит установлен, то адрес назначения пакета является широковещательным (не передается). Данный функционал не поддерживается
- 25–19 Зарезервировано
- 18 Ошибка размера (LE) – Поле размера/типа пакета не соответствует фактическому количеству полученных байтов
- 17 Ошибка переполнения (OE) – Кадр получен некорректно в связи с переполнением FIFO
- 16 Ошибка CRC (CE) – В данном кадре обнаружена ошибка CRC
- 15 Слишком большой кадр (FT) – Получен кадр, превышающий максимально допустимый размер. Превышающая часть отсекается
- 14 Ошибка выравнивания (AE) – Получено нечетное количество полубайт
- 13 Разрешение прерывания (IE) – Разрешает прерывания. Прерывание генерируется после приема пакета с данным дескриптором при условии, что в регистр управления установлен бит разрешения прерывания приемника. Прерывание генерируется независимо от того, успешно ли принят пакет или с ошибкой

- 12 Переход на новую запись (WR) – Установка бита обнуляет указатель дескриптора после того, как этот дескриптор был использован. Если этот бит сброшен, то указатель будет увеличен на 8. Указатель автоматически обнуляется при достижении граничного значения в 1 Кбайт таблицы дескрипторов
- 11 Разрешение (EN) – Установка этого бита приведет к активации дескриптора. Должен устанавливаться в последнюю очередь после всех полей дескриптора
- 10–0 LENGTH – Количество принятых байт данного дескриптора

Таблица 4.18.4 – Слово «1» дескриптора приема GRETH (смещение адреса 0x4)

31		2 1 0
	ADDRESS	–

- 31–2 Адрес (ADDRESS) – Указатель на область буфера, в которую загружаются данные пакета
- 1, 0 Зарезервировано

Запуск приема

Активации дескриптора недостаточно для запуска приема. Сначала необходимо в GRETH установить указатель на область памяти, содержащую дескрипторы. Это выполняется в регистре указателя дескриптора приемника (см. «4.18.9 Регистры»). Адрес должен быть выровнен до 1 Кбайта. Биты 31–10 содержат базовый адрес области дескриптора, в то время как биты 9–3 формируют указатель на отдельный дескриптор. Первый дескриптор должен размещаться в базовом адресе; после использования в GRETH поле указателя увеличивается на 8, чтобы указывать на следующий дескриптор. Указатель автоматически обнуляется по достижении граничного значения в 1 Кбайт (использование дескриптора со смещением адреса 0x3F8). Бит WR в дескрипторах устанавливается для обнуления указателей по достижению границы в 1 Кбайт.

В поле указателя для максимальной гибкости также может быть перезапись, но при записи в регистр указателя дескриптора необходимо соблюдать осторожность. Он не должен изменяться пользователем в процессе приема.

Последний шаг для активации приема – установить бит разрешения приема (RE) в регистре управления. При этом GRETH считывает первый дескриптор и ожидает входящий пакет.

Обработка дескриптора после приема

GRETH указывает на завершение приема сбросом бита активации дескриптора (EN). Другие биты управления (WR, IE) также сбрасываются. Количество полученных байт указано в поле размера. Сохраняемые части Ethernet кадра – адрес назначения, исходный адрес, поля типа и данных. Биты 17–14 в первом слове указателя являются битами статуса, указывающими на различные ошибки приема. Все четыре бита оказываются сброшенными после приема без ошибок. Описание битов статуса приводится в таблице 4.18.3.

Получаемые пакеты, размер которых меньше минимального размера Ethernet в 64 байта, не рассматриваются как принятые и не учитываются. Текущий дескриптор приемника остается без изменений до первого приема пакета с размером соответствующим требованиям. Бит TS регистра статуса устанавливается при каждой регистрации подобного события.

Если пакет получен с адресом, не принятым MAC, устанавливается бит регистра статуса IA.

Если пакеты превышают максимальный размер, устанавливается бит FT в дескрипторе приема. Поле размера не всегда содержит корректное значение полученных байт. Подсчет прекращается после записи в память слова, содержащего последний байт, не превышающий максимального размера.

Адресное слово дескриптора контроллер GRETH оставляет в неизменном виде.

Прием с ошибками АНВ

Если во время считывания дескриптора или сохранения данных происходит ошибка АНВ, в регистре статуса устанавливается бит ошибки АНВ приемника (RA), при этом приемник отключается. Текущий прием прерывается. Повторная активация приема может быть выполнена с помощью установки бита разрешения приема (RE) в регистре управления.

Прием MAC-адреса

Устройство принимает пакеты либо с индивидуальным адресом, установленным в регистрах MAC-адреса, либо с ширококвещательным адресом. Многоадресная рассылка, при которой используется хеш-функция для фильтрации полученных пакетов, не поддерживается.

4.18.5 Интерфейс MDIO

Интерфейс MDIO обеспечивает доступ к регистру конфигурации и статуса РНУ через двухпроводной интерфейс, который входит в интерфейс МП. GRETH обеспечивает полную поддержку интерфейса MDIO.

Служебный канал (MI) содержит следующие управляющие сигналы:

Management Data Clock (EMDC) – тактовая частота для последовательного канала данных MDIO, которая вычисляется по формуле:

$$\frac{clk}{2 \times (mdcscaler + 1)}$$

где mdcscaler равно 50;

clk – тактовая частота процессора.

Management Data (EMDIO) – двунаправленный последовательный канал связи с РНУ.

Interrupt Line (EMDINTN) – линия прерывания, активный уровень – «0».

Интерфейс MDIO позволяет адресовать до 32 независимых РНУ, содержащих до 32-х 16-битовых регистров (7 обязательных по стандарту IEEE 802.3и и дополнительные, расширяющие функционал, если реализованы). Чтобы осуществить считывание регистра РНУ, следует поместить в регистр управления MDIO адрес РНУ, адрес требуемого регистра и установить бит «Чтение» (RD). При этом устанавливается бит занятости. При завершении операции этот бит автоматически сбрасывается. Если операция прошла успешно, бит «Ошибка соединения» (LF) будет находиться в состоянии сброса, при этом поле данных содержит считанные данные. Если операция прошла неудачно, то устанавливается бит «Ошибка соединения» (LF), при этом поле данных не определено.

Чтобы инициировать операцию записи, следует поместить в [регистр управления MDIO](#) 16 бит данных, адрес РНУ, адрес требуемого регистра и установить бит «Запись» (WR). После завершения записи происходит автоматический сброс бита занятости. Если

операция прошла успешно, бит «Ошибка соединения» (LF) будет находиться в состоянии сброса.

Прерывания PNY

Контроллер также поддерживает прерывания изменения статуса PNY. Чувствительный к уровню сигнал прерывания может быть подключен к входу прерывания интерфейса Ethernet (EMDINTN). Бит изменения статуса PNY в регистре статуса устанавливается при каждом обнаружении события этого сигнала. Если бит разрешения прерывания статуса PNY установлен во время события, контроллер генерирует прерывание на шине АНВ.

4.18.6 Линия связи отладки Ethernet (EDCL)

EDCL обеспечивает доступ к встроенной шине АНВ через Ethernet. EDCL использует протоколы UDP, IP и ARP вместе с протоколом уровня клиентского приложения. Протокол уровня клиентского приложения использует алгоритм автоматического запроса повторной передачи (ARQ) для обеспечения надежной передачи инструкций АНВ. Через эту линию связи могут быть осуществлены операции чтения и записи по любому адресу на шине АНВ.

Принцип работы

EDCL получает пакеты параллельно с приемником MAC канала DMA. EDCL использует отдельный MAC-адрес, который используется для различения пакетов EDCL и пакетов MAC, доставленных по каналу DMA. EDCL также имеет собственный IP-адрес. Так как пакеты ARP используют широковещательный адрес Ethernet, IP-адрес должен использоваться для отличия пакетов ARP EDCL и пакетов, проходящих через канал DMA. Пакеты EDCL не обрабатываются каналом DMA приема.

Если после проверки пакеты признаны корректными, то выполняется операция на шине АНВ. Операция выполняется с помощью того же интерфейса ведущего устройства АНВ, который используется механизмами DMA. Ответы автоматически отправляются передатчиком EDCL после завершения операции. Используется общий передатчик Ethernet и механизма DMA передатчика, при этом EDCL имеет более высокий приоритет.

Протоколы EDCL

EDCL принимает кадры Ethernet, содержащие IP или ARP пакеты данных. ARP-пакеты обрабатываются согласно спецификации протокола без исключений.

Пакеты IP переносят фактические команды АНВ. EDCL требует кадр Ethernet, содержащий IP, UDP и части уровня специального приложения EDCL. В таблице 4.18.5 представлен пакет IP, требуемый EDCL. Содержание различных заголовков протокола – см. соответствующую литературу TCP/IP.

Таблица 4.18.5 – Пакет IP, требуемый EDCL

Заголовок Ethernet	Заголовок IP	Заголовок UDP	Смещение 2 байта	Слово управления 4 байта	Адрес 4 байта	Данные 0–242 4-байтовые слова	CRC Ethernet

Для успешного соединения с EDCL требуется следующее: корректный MAC-адрес назначения, установленный с помощью параметров настройки, поле типа Ethernet, содержащее 0x0806 (ARP) или 0x0800 (IP). IP-адрес сравнивается со значением,

определенным параметрами настройки для обеспечения соответствия. Контрольная сумма заголовка IP и идентификационные поля не проверяются. Существует несколько ограничений для полей заголовка IP. Версия должна занимать четыре байта, размер заголовка должен быть 5 байт (без опций). Поле протокола должно всегда быть 0x11 с указанием пакета UDP. Размер и контрольная сумма – единственные поля IP с возможностью изменений для ответа.

EDCL предусматривает только один канал связи одновременно, поэтому проверять номер порта UDP не требуется. В ответе и в поле источника, и в поле назначения указывается исходный номер порта источника. Контрольная сумма UDP не используется, поле контрольной суммы в ответах обнулено.

Поле данных UDP содержит поля протокола приложения EDCL. В таблице 4.18.6 представлены поля протокола приложения (исключая поле данных) в пакетах, полученных EDCL.

Таблица 4.18.6 – Поля уровня приложения EDCL в кадрах приема

16 бит Смещение	14 бит Порядковый номер	1 бит RD/WR – чтение/запись	10 бит Размер	7 бит Не используется
--------------------	----------------------------	--------------------------------	------------------	--------------------------

16-битовое смещение используется для выравнивания до слова остальных данных уровня приложения в памяти, может содержать любое значение. Поле RD/WR (чтение/записи) определяет, какая операция должна быть выполнена: чтение (0) или запись (1). Поле размера содержит количество байт для считывания или записи. Если RD/WR установлено, поле данных, указанное в таблице 4.18.6, содержит данные для записи. Если RD/WR сброшено, поле данных не содержит полученных пакетов.

В таблице 4.18.7 представлены поля уровня приложения ответов EDCL. Поле размера для запросов записи в ответах всегда сброшено. Для запросов чтения оно содержит количество байт данных, содержащихся в поле данных.

Таблица 4.18.7 – Поля уровня приложения EDCL в кадрах передачи

16 бит Смещение	14 бит Порядковый номер	1 бит ACK/NAK	10 бит Размер	7 бит Не используется
--------------------	----------------------------	------------------	------------------	--------------------------

EDCL реализует алгоритм Go-Back-N, обеспечивающий надежность передач. 14-битовый порядковый номер в полученных пакетах проверяется на совпадение со значением внутреннего счетчика. Если они не совпадают, то операция не выполняется и в кадре ответа бит ACK/NAK устанавливается. Кадр ответа содержит внутреннее значение счетчика в поле порядкового номера. Если порядковые номера совпадают, то операция выполняется, внутреннее значение счетчика сохраняется в поле порядкового номера, в ответном кадре бит ACK/NAK сбрасывается и внутренний счетчик инкрементируется. Поле размера всегда сброшено для кадров ACK/NAK = 1. Неиспользуемое поле не проверяется и копируется в ответ. Таким образом, поле может быть установлено для содержания, например, дополнительных битов идентификатора, в случае необходимости.

Адресные установки IP и Ethernet EDCL

EDCL имеет фиксированный MAC-адрес – 02:00:ee:00:00:07 (см. таблицы 4.18.18 и 4.18.19). IP-адрес EDCL можно изменять программным способом (см. таблицу 4.18.17), значение по сбросу – 192.168.0.51.

Размер буфера EDCL

EDCL имеет выделенную внутреннюю буферную память, в которой сохраняются полученные пакеты во время обработки, таблица 4.18.8. Попытка отправки большего

числа пакетов, чем количество буферов пакетов до получения ответа, приведет к сбросу пакетов. В случае отправки пакетов, превышающих максимально допустимый размер, дальнейшее поведение контроллера не определено.

Таблица 4.18.8 – Размер буфера EDCL

Общий размер буфера (Кбайты)	Количество буферов пакетов	Размер буфера пакетов (байты)	Максимальная полезная нагрузка данных (байты)
2	4	512	456

4.18.7 Независимый от среды интерфейс (МИ)

Для работы с подуровнем MAC и физическим уровнем контроллер GRETH использует независимый от среды интерфейс (МИ), который определен в стандарте IEEE 802.3u. Интерфейс Ethernet реализован согласно настоящей спецификации. Он использует 16 управляющих сигналов.

Канал передачи данных (МИ) включает в себя:

Transmit Data (ETX_D(3–0)) – группа параллельных сигналов данных, которые поступают на выход из MAC;

Transmit Enable (ETX_EN) – выход разрешение передачи. MAC устанавливает данный сигнал, когда установлены достоверные данные на TXD;

Transmit Error (ETX_ER) – выходной сигнал, который сообщает о том, что в передаваемом потоке данных произошла ошибка;

Transmit Clock (ETX_CLK) – внешний тактовый сигнал передатчика MAC.

Канал приема данных (МИ) включает в себя:

Receive Data (ERX_D(3–0)) – группа параллельных сигналов данных, которые поступают на вход MAC;

Receive Data Valid (ERX_DV) – вход достоверности принимаемых данных;

Receive Error (ERX_ER) – вход ошибки приема;

Receive Clock (ERX_CLK) – внешний тактовый сигнал приемника MAC;

Collision Detected (ERX_COL) – сигнализирует о коллизии на линии;

Carrier Sense (ERX_CRS) – вход обнаружения несущей.

4.18.8 Программные драйверы

Драйверы MAC GRETH предусмотрены для следующих операционных систем: RTEMS, eCos, uClinux и Linux, начиная с версии 2.6. С текущей версией драйвера на исходном языке, интегрированной в ядро Linux, можно ознакомиться, перейдя по ссылке <https://github.com/torvalds/linux/tree/master/drivers/net/ethernet/aeroflex>.

4.18.9 Регистры

Программирование ядра осуществляется через регистры, отображаемые в адресуемом пространстве APB, см. таблицы 4.18.9 – 4.18.19.

Таблица 4.18.9 – Регистры GRETH

Смещение адреса APB	Регистр
0x0	Регистр управления
0x4	Регистр статуса/источника прерывания
0x8	Регистр старших значащих бит MAC-адреса
0xC	Регистр младших значащих бит MAC-адреса
0x10	Регистр статуса/управления MDIO
0x14	Регистр указателя на дескриптор передачи
0x18	Регистр указателя на дескриптор приема
0x1C	Регистр IP адреса EDCL
0x20 – 0x24	Зарезервировано (групповая адресация не поддерживается)
0x28	Регистр старших значащих бит MAC-адреса EDCL
0x2C	Регистр младших значащих бит MAC-адреса EDCL

Регистр управления

Таблица 4.18.10 – Регистр управления GRETH

31	30	28	27	26	25	24	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
EA	BS	–	MA	MC	–	ED	RD	DD	ME	PI	–	SP	RS	PM	FD	RI	TI	RE	TE			

31	Доступна EDCL (EA) – Бит установлен, если доступна EDCL
30–28	Размер буфера EDCL (BS) – Показывает объем памяти, используемый для буферов EDCL. 0 = 1 Кбайт, 1 = 2 Кбайта, 6 = 64 Кбайта
27	Зарезервировано
26	Доступны прерывания MDIO (MA) – Бит установлен, если ядро поддерживает прерывания mdio. Только для считывания
25	Доступна групповая адресация (MC) – Установлен, если ядро поддерживает прием группового адреса. Только для считывания
24–15	Зарезервировано
14	EDCL не разрешена (ED) – Устанавливается для снятия разрешения EDCL и сбрасывается для разрешения. Данный функционал не поддерживается
13	Разрешение отладки ОЗУ (RD) – Устанавливается для разрешения режима отладки ОЗУ. Значение после сброса: «0». Режим не доступен
12	Запрещение обнаружения дуплексного режима (DD) – Отключение конечного автомата (FSM) детектирования скорости/дуплекса EDCL. Если FSM не завершает обнаружение, интерфейс MDIO блокируется в режиме занятости. Если программному обеспечению требуется доступ к MDIO, FSM можно отключить; как только бит занятости будет сброшен, интерфейс MDIO будет доступен. Следует обратить внимание на то, что FSM не может быть повторно активирован
11	Разрешение групповой адресации (ME) – Разрешение приема групповых адресов. Значение после сброса: «0»
10	Разрешение прерывания при изменении статуса PHY (PI) – Разрешает генерацию прерывания при обнаружении изменения статуса PHY
9, 8	Зарезервировано
7	Скорость (SP) – Устанавливает текущий скоростной режим. Если бит сброшен – 10 Мбит, если установлен – 100 Мбит. Не используется интерфейсом MII, данный бит актуален для GRETH с интерфейсом RMII. Значение по умолчанию автоматически считывается из PHY после сброса. Значение после сброса: «1»

- 6 Сброс (RS) – Если установлено, контроллер GRETH возвращается к настройкам по умолчанию. Автоматически сбрасывается по завершении. До тех пор пока бит не сброшен, интерфейс подчиненного устройства должен использоваться только для опроса данного бита
- 5 «Неразборчивый» режим (PM) – Если бит установлен, GRETH работает в «неразборчивом» режиме, что означает, что GRETH принимает все пакеты независимо от адреса назначения. Значение после сброса: «0»
- 4 Полный дуплекс (FD) – Если бит установлен, GRETH работает в полнодуплексном режиме, в противном случае – в полудуплексе. Значение после сброса: «0»
- 3 Прерывание приемника (RI) – Разрешение прерываний приемника. Прерывание генерируется при приеме пакета, если бит установлен. Прерывание генерируется независимо от того, успешно получен пакет или с ошибкой. Значение после сброса: «0»
- 2 Прерывание передатчика (TI) – Разрешение прерываний передатчика. Прерывание генерируется при передаче пакета, если бит установлен. Прерывание генерируется независимо от того, успешно передан пакет или с ошибкой. Значение после сброса: «0»
- 1 Разрешение приема (RE) – Бит должен быть установлен каждый раз, когда активируют новые дескрипторы. Если этот бит установлен, GRETH считывает новые дескрипторы и при обнаружении неразрешенного дескриптора GRETH останавливает работу, пока вновь не будет установлен RE. Этот бит должен быть установлен после активации новых дескрипторов. Значение после сброса: «0»
- 0 Разрешение передачи (TE) – Бит должен быть установлен каждый раз, когда активируют новые дескрипторы. До тех пор, пока этот бит установлен, GRETH считывает новые дескрипторы. При обнаружении неразрешенного идентификатора контроллер останавливает работу, пока вновь не будет установлен TE. Этот бит должен быть установлен после активации новых дескрипторов. Значение после сброса: «0»

Регистр статуса/источника прерывания

Таблица 4.18.11 – Регистр статуса/источника прерывания GRETH

31		9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
	–			PS	IA	TS	TA	RA	TI	RI	TE	RE

- 31–9 Зарезервировано
- 8 Изменение статуса PHY (PS) – Устанавливается при обнаружении изменения статуса PHY
- 7 Недопустимый адрес (IA) – Получен пакет с адресом, не принятым MAC. Сбрасывается записью логической «1». Значение после сброса: «0»
- 6 Слишком короткий (TS) – Получен пакет меньше минимального размера. Сбрасывается записью логической «1». Значение после сброса: «0»
- 5 Ошибка АНВ передатчика (TA) – Обнаружена ошибка АНВ в механизме DMA передатчика. Очищается записью логической «1». Без сброса
- 4 Ошибка АНВ приемника (RA) – Обнаружена ошибка АНВ в механизме DMA приемника. Очищается записью логической «1». Без сброса
- 3 Прерывание передатчика (TI) – Пакет передан без ошибок. Очищается записью логической «1». Без сброса
- 2 Прерывание приема (RI) – Пакет принят без ошибок. Очищается записью логической «1». Без сброса

- 1 Ошибка передатчика (TE) – Пакет передан с ошибкой. Очищается записью логической «1». Без сброса
- 0 Ошибка приемника (RE) – Пакет принят с ошибкой. Очищается записью логической «1». Без сброса

Регистр старших значащих бит MAC-адреса

Таблица 4.18.12 – Регистр старших значащих бит MAC-адреса GRETH

31	16 15	0
–		Биты [47:32] MAC адреса

- 31–16 Зарезервировано
- 15–0 Два старших значащих байта MAC-адреса. Без сброса

Регистр младших значащих бит MAC-адреса

Таблица 4.18.13 – Регистр младших значащих бит MAC-адреса GRETH

31	0
Биты [31:0] MAC адреса	

- 31–0 Четыре младших значащих байта MAC-адреса. Без сброса

Регистр статуса/управления MDIO

Таблица 4.18.14 – Регистр статуса/управления MDIO GRETH

31	16 15	11 10	6 5	4	3	2	1	0
DATA	PHYADDR	REGADDR	–	BU	LF	RD	WR	

- 31–16 Данные (DATA) – Содержит данные, считанные в ходе операции чтения, и данные для передачи. Значение после сброса: 0x0000
- 15–11 Адрес PHY (PHYADDR) – Поле содержит адрес PHY, доступ к которому открывается в ходе операции записи или операции считывания. Значение после сброса: «00001»
- 10–6 Адрес регистра (REGADDR) – Поле содержит адрес регистра, доступ к которому открывается в ходе операции записи или операции считывания. Значение после сброса: «00000»
- 5, 4 Зарезервировано
- 3 Занято (BU) – В ходе операции этот бит устанавливается. После завершения операции и при неактивности линии управления этот бит сбрасывается. Значение после сброса: «0»
- 2 Ошибка соединения (LF) – После завершения операции (BUSY = 0) этот бит устанавливается, если не обнаружено функциональное соединение. Значение после сброса: «1»
- 1 Чтение (RD) – Запускает операцию чтения через интерфейс управления. Данные сохраняются в поле данных. Значение после сброса: «0»
- 0 Запись (WR) – Запускает операцию записи через интерфейс управления. Данные берутся из поля данных. Значение после сброса: «0»

Регистр указателя на дескриптор передачи

Таблица 4.18.15 – Регистр указателя на дескриптор передачи GRETH

31	10 9	3 2	0
BASEADDR		DESCPNT	–

- 31–10 Базовый адрес строки таблицы указателя передатчика (BASEADDR) – Базовый адрес таблицы дескрипторов передатчика. Без сброса
- 9–3 Указатель на дескриптор (DESCPNT) – Указатель на отдельный дескриптор. Автоматически инкрементируется через Ethernet MAC
- 2–0 Зарезервировано

Регистр указателя на дескриптор приема

Таблица 4.18.16 – Регистр указателя на дескриптор приема GRETH

31		10 9		3 2	0
	BASEADDR		DESCPNT		–

- 31–10 Базовый адрес строки таблицы указателя приемника (BASEADDR). Без сброса
- 9–3 Указатель на дескриптор (DESCPNT) – Указатель на отдельный дескриптор. Автоматически инкрементируется через Ethernet MAC
- 2–0 Зарезервировано

Регистр IP адреса EDCL

Таблица 4.18.17 – Регистр IP адреса EDCL GRETH

31		0
	EDCL IP адрес	

- 31–0 IP-адрес EDCL. Значение после сброса – 0xC0A80033

Регистр старших значащих бит MAC-адреса EDCL

Таблица 4.18.18 – Регистр старших значащих бит MAC-адреса EDCL GRETH

31		16 15		0
	–		Биты 47:32 EDCL MAC-адреса	

- 31–16 Зарезервировано
- 15–0 Два старших значащих байта MAC-адреса EDCL.
Аппаратно запрограммированное значение – 0x0200

Регистр младших значащих бит MAC-адреса EDCL

Таблица 4.18.19 – Регистр младших значащих бит MAC-адреса EDCL GRETH

31		0
	Биты 31:0 EDCL MAC-адреса	

- 31–0 4 младших значащих байта MAC-адреса EDCL.
Аппаратно запрограммированное значение – 0xEE000007

4.19 Интерфейс CAN

4.19.1 Общие сведения

В состав микропроцессора входят два интерфейса CAN. Базовые адреса интерфейсов указаны в таблице 2.1.2.

Интерфейс CAN обеспечивает мост между АНВ АМБА и регистрами двух ядер CAN. Интерфейс подчиненного устройства АНВ отображается в области ввода-вывода АНВ. Сигнал прерывания блока CAN выставляется на шину прерывания АНВ.

Блок-схема представлена на рисунке 4.19.1.

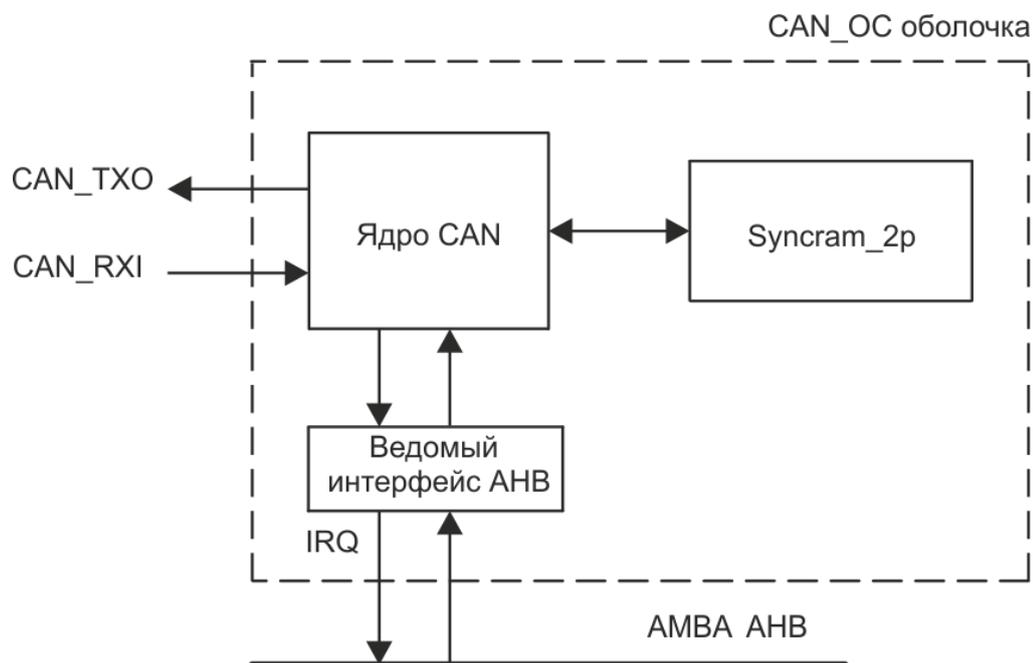


Рисунок 4.19.1 – Блок-схема ядра CAN

4.19.2 Общие сведения о контроллере интерфейса CAN

Контроллер CAN базируется на основе Philips SJA1000 и имеет совместимую карту регистров с несколькими исключениями. Он также поддерживает режимы BasicCAN (аналогичный PCA82C200) и PeliCAN. В режиме PeliCAN поддерживаются расширенные возможности протокола CAN 2.0B. Выбор режима работы осуществляется через [регистр тактового предделителя](#).

В этом документе представлены регистры и описаны их функциональные возможности. Техническое описание Philips SJA1000 можно использовать в качестве справочного материала.

Карта регистров и функциональные возможности этих двух режимов работы отличаются. Описание режимов BasicCAN и PeliCAN приводится ниже. Типовые регистры (тактовый предделитель и синхронизация шины) описаны в отдельной главе. Карты регистров могут быть разными в зависимости от того, находится ли устройство в рабочем режиме или в режиме сброса. При сбросе устройство запускается в режиме сброса, ожидая задачу конфигурации. Для входа в рабочий режим необходимо сбросить бит запроса сброса в регистре управления. Чтобы повторно войти в режим сброса, необходимо опять установить этот бит в высокое логическое состояние.

4.19.3 Интерфейс АНВ

Размер всех регистров – 1 байт, при этом адреса, фигурирующие в описании интерфейса, байтовые. Байтовое чтение и запись используются при взаимодействии через интерфейс с устройством. Байт чтения дублируется на всех байтовых линиях шины АНВ.

Данные передаются в обратном порядке – «сначала старший бит». Нумерация битов в описании интерфейса: бит 7 – старший значащий бит, бит 0 – младший значащий бит.

4.19.4 Режим BasicCAN

Карта регистров BasicCAN

Карта регистров BasicCAN представлена в таблице 4.19.1.

Таблица 4.19.1 – Размещение адреса BasicCAN

Адрес	Рабочий режим		Режим сброса	
	Чтение	Запись	Чтение	Запись
0	Управление	Управление	Управление	Управление
1	(0xFF)	Команда	(0xFF)	Команда
2	Статус	–	Статус	–
3	Прерывание	–	Прерывание	–
4	(0xFF)	–	Код приема	Код приема
5	(0xFF)	–	Маска приема	Маска приема
6	(0xFF)	–	Синхронизация шины 0	Синхронизация шины 0
7	(0xFF)	–	Синхронизация шины 1	Синхронизация шины 1
8	(0x00)	–	(0x00)	–
9	(0x00)	–	(0x00)	–
10	TX id1	TX id1	(0xFF)	–
11	TX id2, rtr, dlc	TX id2, rtr, dlc	(0xFF)	–
12	Байт данных TX 1	Байт данных TX 1	(0xFF)	–
13	Байт данных TX 2	Байт данных TX 2	(0xFF)	–
14	Байт данных TX 3	Байт данных TX 3	(0xFF)	–
15	Байт данных TX 4	Байт данных TX 4	(0xFF)	–
16	Байт данных TX 5	Байт данных TX 5	(0xFF)	–
17	Байт данных TX 6	Байт данных TX 6	(0xFF)	–
18	Байт данных TX 7	Байт данных TX 7	(0xFF)	–
19	Байт данных TX 8	Байт данных TX 8	(0xFF)	–
20	RX id1	–	RX id1	–
21	RX id2, rtr, dlc	–	RX id2, rtr, dlc	–
22	Байт данных RX 1	–	Байт данных RX 1	–
23	Байт данных RX 2	–	Байт данных RX 2	–
24	Байт данных RX 3	–	Байт данных RX 3	–
25	Байт данных RX 4	–	Байт данных RX 4	–
26	Байт данных RX 5	–	Байт данных RX 5	–
27	Байт данных RX 6	–	Байт данных RX 6	–
28	Байт данных RX 7	–	Байт данных RX 7	–
29	Байт данных RX 8	–	Байт данных RX 8	–
30	(0x00)	–	(0x00)	–
31	Тактовый предделитель	Тактовый предделитель	Тактовый предделитель	Тактовый предделитель

Регистр управления

Регистр управления содержит биты разрешения прерывания, а также бит запроса сброса, согласно таблице 4.19.2.

Таблица 4.19.2 – Интерпретирование бита в регистре управления (CR) (адрес 0)

Бит	Название	Описание
CR.7	–	Зарезервировано
CR.6	–	Зарезервировано
CR.5	–	Зарезервировано
CR.4	Разрешение прерывания при переполнении	1 – разрешено, 0 – не разрешено
CR.3	Разрешение прерывания при обнаружении ошибки	1 – разрешено, 0 – не разрешено
CR.2	Разрешение прерывания при передаче данных	1 – разрешено, 0 – не разрешено
CR.1	Разрешение прерывания при приеме данных	1 – разрешено, 0 – не разрешено
CR.0	Запрос сброса	При записи 1 в этом бите прерывается текущая передача данных и схема входит в режим сброса. Запись 0 возвращает схему в рабочий режим

Регистр команд

Запись «1» в соответствующем бите этого регистра запускает действие, поддерживаемое устройством, согласно таблице 4.19.3.

Таблица 4.19.3 – Интерпретирование бита в регистре команд (CMR) (адрес 1)

Бит	Название	Описание
CMR.7	–	Зарезервировано
CMR.6	–	Зарезервировано
CMR.5	–	Зарезервировано
CMR.4	–	Не используется
CMR.3	Сброс переполнения данных	Сбрасывает бит статуса переполнения данных
CMR.2	Очищение буфера приема	Очищает текущий буфер приема для приема новых данных
CMR.1	Прерывание передачи	Запрещает выполнение еще не начавшейся передачи
CMR.0	Запрос передачи	Начинает передачу сообщения в буфере TX

Передача запускается при записи «1» в CMR.0. Запрет выполнения передачи разрешен при записи «1» в CMR.1 при условии, что передача еще не началась. Если передача началась, она не прерывается, когда устанавливается CMR.1, но если произойдет ошибка, повторной передачи не будет. Подача команды «Очищение буфера приема» должна производиться после считывания содержимого буфера приема, чтобы освободить память.

Если в очереди FIFO другое сообщение, генерируется новое прерывание при получении данных (если разрешено), при этом снова устанавливается бит статуса буфера приема. Для сброса бита статуса переполнения данных необходимо сделать запись «1» в CMR.3.

Регистр статуса

Регистр статуса используется только для считывания данных и отображает текущий статус устройства в соответствии с таблицей 4.19.4.

Таблица 4.19.4 – Интерпретирование бита в регистре статуса (SR) (адрес 2)

Бит	Название	Описание
SR.7	Статус шины	«1», если блок работает с отключенной шиной и не участвует в работе шины
SR.6	Статус ошибки	По крайней мере показания одного счетчика ошибок достигли или превысили предельное значение CPU (96)
SR.5	Статус передачи	«1» при передаче сообщения
SR.4	Статус приема	«1» при получении сообщения
SR.3	Передача окончена	«1» указывает, что последнее сообщение успешно передано
SR.2	Статус буфера передачи	«1» означает, что CPU может записывать в буфер передачи
SR.1	Статус переполнения данных	«1», если сообщение было потеряно в связи с отсутствием места в FIFO
SR.0	Статус буфера приема	«1», если имеется сообщение в приемнике FIFO

Статус буфера приема сбрасывается при подаче команды очищения буфера приема и устанавливается в высокое логическое состояние, если в FIFO имеется несколько сообщений. Статус переполнения данных сигнализирует о том, что сообщение, которое было принято, не поместилось в FIFO, потому что недостаточно места.

Примечание – Этот бит отличается от SJA1000 и устанавливается после считывания FIFO.

Если статус буфера передачи в высоком логическом состоянии, CPU может сделать запись в буфер передачи. В процессе выполнения передачи буфер заблокирован и этот бит сброшен. Бит окончания передачи при подаче запроса передачи сбрасывается и не устанавливается до тех пор, пока сообщение не будет успешно передано.

Регистр прерывания

Регистр прерывания сигнализирует CPU о причине прерывания. Биты прерывания устанавливаются только при установке в регистр управления соответствующего бита разрешения прерывания согласно таблице 4.19.5.

Таблица 4.19.5 – Интерпретирование бита в регистре прерывания (IR) (адрес 3)

Бит	Название	Описание
IR.7	–	Зарезервировано
IR.6	–	Зарезервировано
IR.5	–	Зарезервировано
IR.4	–	Не используется
IR.3	Прерывание при переполнении данных	Устанавливается при установке SR.1
IR.2	Прерывание при ошибке	Устанавливается при изменении статуса ошибки или статуса шины
IR.1	Прерывание при передаче	Устанавливается при освобождении буфера передачи (бит статуса 0 → 1)
IR.0	Прерывание при приеме	Этот бит установлен, если в FIFO имеется несколько сообщений

Этот регистр сбрасывается при чтении, за исключением IR.0. Следует обратить внимание на то, что этот регистр отличается от SJA1000, в котором все биты сбрасываются при чтении в режиме BasicCAN. Ядро сбрасывает бит прерывания приема при подаче команды «очищение буфера приема» (как в режиме PeliCAN).

Также следует обратить внимание на то, что биты IR.5 – IR.7 считываются как установленные, а бит IR.4 – как сброшенный.

Буфер передачи

В таблице 4.19.6 показана топология буфера передачи. В BasicCAN можно передавать и принимать только стандартные кадровые сообщения (сообщения EFF на шине игнорируются).

Таблица 4.19.6 – Топология буфера передачи

Адрес	Имя	Биты							
		7	6	5	4	3	2	1	0
10	Бит ID 1	ID.10	ID.9	ID.8	ID.7	ID.6	ID.5	ID.4	ID.3
11	Бит ID 2	ID.2	ID.1	ID.0	RTR	DLC.3	DLC.2	DLC.1	DLC.0
12	Данные TX 1	Бит TX 1							
13	Данные TX 2	Бит TX 2							
14	Данные TX 3	Бит TX 3							
15	Данные TX 4	Бит TX 4							
16	Данные TX 5	Бит TX 5							
17	Данные TX 6	Бит TX 6							
18	Данные TX 7	Бит TX 7							
19	Данные TX 8	Бит TX 8							

Если бит RTR установлен, байты данных не отправляются, но DLC остается в кадре данных и требует определения, согласно соответствующему кадру. Следует обратить внимание на то, что определить DLC, превышающий 8 байтов можно, но делать этого не следует во избежание несогласованности. Если $DLC > 8$, можно отправить только 8 байтов.

Буфер приема

Буфер приема с адресом 20 – 29 является видимой частью 64-байтового FIFO RX. Его топология идентична топологии буфера передачи.

Входной полосовой фильтр

Сообщения могут отфильтровываться по имени, используя код приема и регистры маски приема. Верхние 8 бит в 11-битовом имени сравниваются с битами в регистре кода приема, причем сравниваются только сброшенные в регистре маски приема биты. Если обнаружено соответствие, сообщение сохраняется в FIFO.

4.19.5 Режим PeliCAN

Карта регистров PeliCAN

Размещение адреса PeliCAN показано в таблице 4.19.7.

Таблица 4.19.7 – Размещение адреса PeliCAN

№	Рабочий режим				Режим сброса	
	Чтение		Запись		Чтение	Запись
0	Режим		Режим		Режим	Режим
1	(0x00)		Команда		(0x00)	Команда
2	Статус		–		Статус	–
3	Прерывание		–		Прерывание	–
4	Разрешение прерывания		Разрешение прерывания		Разрешение прерывания	Разрешение прерывания
5	Зарезервировано (0x00)		–		Зарезервировано (0x00)	–
6	Синхронизация шины 0		–		Синхронизация шины 0	Синхронизация шины 0
7	Синхронизация шины 1		–		Синхронизация шины 1	Синхронизация шины 1
8	(0x00)		–		(0x00)	–
9	(0x00)		–		(0x00)	–
10	Зарезервировано (0x00)		–		Зарезервировано (0x00)	–
11	Сбор данных о потерянном арбитраже		–		Сбор данных о потерянном арбитраже	–
12	Сбор данных о коде ошибки		–		Сбор данных о коде ошибки	–
13	Предельное значение ошибок		–		Предельное значение ошибок	Предельное значение ошибок
14	Счетчик ошибок RX		–		Счетчик ошибок RX	Счетчик ошибок RX
15	Счетчик ошибок TX		–		Счетчик ошибок TX	Счетчик ошибок TX
16	RX FI SFF	RX FI EFF	TX FI SFF	TX FI EFF	Код приема 0	Код приема 0
17	RX ID 1	RX ID 1	TX ID 1	TX ID 1	Код приема 1	Код приема 1
18	RX ID 2	RX ID 2	TX ID 2	TX ID 2	Код приема 2	Код приема 2
19	Данные RX 1	RX ID 3	Данные TX 1	TX ID 3	Код приема 3	Код приема 3
20	Данные RX 2	RX ID 4	Данные TX 2	TX ID 4	Маска приема 0	Маска приема 0
21	Данные RX 3	Данные RX 1	Данные TX 3	Данные TX 1	Маска приема 1	Маска приема 1
22	Данные RX 4	Данные RX 2	Данные TX 4	Данные TX 2	Маска приема 2	Маска приема 2
23	Данные RX 5	Данные RX 3	Данные TX 5	Данные TX 3	Маска приема 3	Маска приема 3
24	Данные RX 6	Данные RX 4	Данные TX 6	Данные TX 4	Зарезервировано (0x00)	–
25	Данные RX 7	Данные RX 5	Данные TX 7	Данные TX 5	Зарезервировано (0x00)	–
26	Данные RX 8	Данные RX 6	Данные TX 8	Данные TX 6	Зарезервировано (0x00)	–
27	FIFO	Данные RX 7	–	Данные TX 7	Зарезервировано (0x00)	–
28	FIFO	Данные RX 8	–	Данные TX 8	Зарезервировано (0x00)	–
29	Счетчик сообщений RX		–		Счетчик сообщений RX	–
30	(0x00)		–		(0x00)	–
31	Тактовый предделитель		Тактовый предделитель		Тактовый предделитель	Тактовый предделитель

Буферы передачи и приема имеют разную топологию, в зависимости от того, что передается/принимается: формат стандартного кадра (SFF) или формат расширенного кадра (EFF). См. пункт ниже.

Регистр режимов

Интерпретирование бита в регистре режимов (MOD) показано в таблице 4.19.8.

Таблица 4.19.8 – Интерпретирование бита в регистре режимов (MOD) (адрес 0)

Бит	Имя	Описание
MOD.7	–	Зарезервировано
MOD.6	–	Зарезервировано
MOD.5	–	Зарезервировано
MOD.4	–	Не используется (режим ожидания в SJA1000)
MOD.3	Режим фильтра приема	1 – режим одинарного фильтра, 0 – режим двойного фильтра
MOD.2	Режим самотестирования	Если установлен, контроллер – в режиме самотестирования
MOD.1	Режим прослушивания	Если установлен, контроллер – в режиме прослушивания
MOD.0	Режим сброса	При записи 1 в этом бите прерывается текущая передача данных, и разрешен режим сброса. Запись 0 возвращает в рабочий режим

Запись в MOD.1 – MOD.3 можно сделать при условии нахождения в режиме сброса.

В режиме ожидания устройство не отправляет подтверждения. Следует обратить внимание на то, что в отличие от SJA1000, устройство продолжает работу при обнаружении ошибок – передача активных ошибочных кадров не прекращается!

В режиме самотестирования устройство может успешно завершить передачу без получения подтверждения, если дана команда запроса самоприема. Следует обратить внимание на то, что устройство должно быть подключено к действующей шине, в режиме обратной петли не выполняются подключения устройств внутри микропроцессора.

Регистр команд

Запись «1» в соответствующем бите данного регистра запускает действие, поддерживаемое устройством. Интерпретирование бита в регистре команд (CMR) показано в таблице 4.19.9.

Таблица 4.19.9 – Интерпретирование бита в регистре команд (CMR) (адрес 1)

Бит	Имя	Описание
CMR.7	–	Зарезервировано
CMR.6	–	Зарезервировано
CMR.5	–	Зарезервировано
CMR.4	Запрос самоприема	Передает и одновременно получает сообщения
CMR.3	Переполнение со сбросом данных	Сбрасывает бит статуса переполнения данных
CMR.2	Очищение буфера приема	Очищает текущий буфер приема для приема новых данных
CMR.1	Запрет передачи	Запрещает выполнение еще не начавшейся передачи
CMR.0	Запрос передачи	Начинает передачу сообщения в буфере TX

Передача запускается при записи «1» в CMR.0. Запрет выполнения разрешен при записи 1 в CMR.1 при условии, что передача еще не началась. Одновременная установка CMR.0 и CMR.1 обеспечивает так называемую передачу одиночного кадра, т.е. устройство не будет повторно передавать сообщение, если передача не удалась в первый раз.

Подача команды «Очищение буфера приема» должна производиться после считывания содержания буфера приема, чтобы освободить память. Если в очереди FIFO другое сообщение, генерируется новое прерывание при получении данных (если разрешено), при этом снова устанавливается бит статуса буфера приема.

Бит запроса самоприема и режим самотестирования обеспечивает самотестирование устройства без участия других устройств на шине. Сообщение одновременно передается и принимается, при этом генерируется прерывание при приеме и при передаче.

Регистр статуса

Регистр статуса используется только для считывания данных и отображает текущий статус устройства, как показано в таблице 4.19.10.

Таблица 4.19.10 – Интерпретирование бита в регистре статуса (SR) (адрес 2)

Бит	Название	Описание
SR.7	Статус шины	«1», если устройство работает с отключенной шиной и не участвует в работе шины
SR.6	Статус ошибки	По крайней мере, показания одного счетчика ошибок достигли или превысили предельное значение
SR.5	Статус передачи	«1» во время передачи сообщения
SR.4	Статус приема	«1» во время получения сообщения
SR.3	Передача окончена	«1» указывает, что последнее сообщение успешно передано
SR.2	Статус буфера передачи	«1» означает, что CPU может записывать в буфер передачи
SR.1	Статус переполнения данных	«1», если сообщение было потеряно в связи с отсутствием места в FIFO
SR.0	Статус буфера приема	«1», если имеется сообщение в приемнике FIFO

Бит статуса буфера приема сбрасывается, если в FIFO нет сообщений. Статус переполнения данных сигнализирует о том, что сообщение, которое было принято, не поместилось в FIFO, потому что недостаточно места.

Примечание – Этот бит отличается от SJA1000 и устанавливается после считывания FIFO.

Если статус буфера передачи в высоком логическом состоянии, CPU может сделать запись в буфере передачи. В процессе выполнения передачи буфер заблокирован, и этот бит сброшен.

Бит окончания передачи при подаче запроса передачи или запроса самоприема сбрасывается и не устанавливается до тех пор, пока сообщение не будет успешно передано.

Регистр прерывания

Регистр прерывания сигнализирует CPU о причине прерывания. Биты прерывания устанавливаются только при установке в регистр разрешения прерывания соответствующего бита разрешения прерывания, как показано в таблице 4.19.11.

Таблица 4.19.11 – Интерпретирование бита в регистре прерывания (IR) (адрес 3)

Бит	Название	Описание
IR.7	Прерывание при ошибке шины	Устанавливается при обнаружении ошибки на шине
IR.6	Прерывание при потере приоритета	Устанавливается, если устройство потеряло приоритет
IR.5	Прерывание при прекращении работы из-за обнаружения ошибки	Устанавливается, если устройство прекращает работу при обнаружении ошибки
IR.4	–	Не используется (прерывание при выходе из режима ожидания SJA1000)
IR.3	Прерывание при переполнении данных	Устанавливается при установке бита статуса переполнения данных
IR.2	Прерывание при ошибке	Устанавливается при изменении статуса ошибки или статуса шины
IR.1	Прерывание при передаче	Устанавливается при освобождении буфера передачи
IR.0	Прерывание при приеме	Этот бит установлен, если в FIFO имеются сообщения

Этот регистр сбрасывается при чтении с исключительным состоянием IR.0, то есть при отсутствии сообщений в FIFO.

Регистр разрешения прерывания

В регистре разрешения прерывания могут быть разрешены/не разрешены отдельные источники прерывания. Если они разрешены, в регистре прерывания можно установить соответствующий бит, при этом генерируется прерывание, как показано в таблице 4.19.12.

Таблица 4.19.12 – Интерпретирование бита в регистре разрешения прерывания (IER) (адрес 4)

Бит	Название	Описание
IR.7	Прерывание при ошибке шины	«1» – разрешено, «0» – не разрешено
IR.6	Прерывание при потере арбитража	«1» – разрешено, «0» – не разрешено
IR.5	Прерывание при прекращении работы из-за обнаружения ошибки	«1» – разрешено, «0» – не разрешено
IR.4	–	Не используется (прерывание при выходе из режима ожидания SJA1000)
IR.3	Прерывание при переполнении данных	«1» – разрешено, «0» – не разрешено
IR.2	Прерывание при ошибке	«1» – разрешено, «0» – не разрешено
IR.1	Прерывание при передаче	«1» – разрешено, «0» – не разрешено
IR.0	Прерывание при приеме	«1» – разрешено, «0» – не разрешено

Регистр сбора данных о потерянном приоритете

Интерпретирование бита в регистре сбора данных о потерянном приоритете (ALC) показано в таблице 4.19.13.

Таблица 4.19.13 – Интерпретирование бита в регистре сбора данных о потерянном приоритете (ALC) (адрес 11)

Бит	Название	Описание
ALC.7 – 5	–	Зарезервировано
ALC.4 – 0	Номер бита	Бит, в котором произошла потеря приоритета

Если устройство теряет приоритет, позиция двоичного разряда последовательности данных процессора записывается в регистр сбора данных о потерянном приоритете. Регистр не меняет содержимое до окончания считывания.

Регистр захвата кода ошибки

Интерпретирование бита в регистре захвата кода ошибки (ECC) показано в таблице 4.19.14.

Таблица 4.19.14 – Интерпретирование бита в регистре захвата кода ошибки (ECC) (адрес 12)

Бит	Название	Описание
ECC.7–6	Код ошибки	Номер кода ошибки
ECC.5	Направление	1 – ошибка при приеме, 0 – ошибка при передаче
ECC.4–0	Сегмент	В какой части кадра произошла ошибка

В случае ошибки шины регистр захвата кода ошибки устанавливается в зависимости от ошибки (при передаче или при приеме) и в зависимости от части кадра, в которой произошла ошибка. Как и регистр ALC, регистр ECC не меняет значение до его считывания. В таблице 4.19.15 приводится интерпретирование битов 7 – 6 ECC.

Таблица 4.19.15 – Интерпретирование кода ошибки

ECC.7–6	Описание
0	Ошибка бита
1	Ошибка формы
2	Ошибка содержимого
3	Другое

Интерпретирование битов 4 – 0 регистра ECC приведено в таблице 4.19.16.

Таблица 4.19.16 – Интерпретирование битов 4 – 0 ECC

ECC.4–0	Описание
1	2
0x03	Начало кадра
0x02	ID.28 – ID.21
0x06	ID.20 – ID.18
0x04	Бит SRTR
0x05	Бит IDE
0x07	ID.17 – ID.13
0x0F	ID.12 – ID.5
0x0E	ID.4 – ID.0
0x0C	Бит RTR
0x0D	Зарезервированный бит 1
0x09	Зарезервированный бит 0
0x0B	Код длины данных

Окончание таблицы 4.19.16

1	2
0x0A	Поле данных
0x08	Последовательность CRC
0x18	Пределитель CRC
0x19	Слот подтверждения
0x1B	Пределитель подтверждения
0x1A	Окончание кадра
0x12	Перерыв
0x11	Активный флаг ошибки
0x16	Пассивный флаг ошибки
0x13	Доминирующие биты допустимости
0x17	Пределитель ошибки
0x1C	Флаг переполнения

Регистр ограничений ошибок и предупреждений

Этот регистр обеспечивает установку ограничений количества ошибок и предупреждений CPU. По умолчанию предельное значение – 96. Выполнять запись в регистр можно только в режиме сброса.

Регистр счетчика ошибок RX (адрес 14)

Этот регистр показывает значение счетчика ошибок RX. Выполнять запись в регистр можно только в режиме сброса. При отключении шины значение счетчика сбрасывается в «0».

Регистр счетчика ошибок TX (адрес 15)

Этот регистр показывает значение счетчика ошибок TX. Выполнять запись в регистр можно только в режиме сброса. Если происходит отключение шины, этот регистр инициализируется как протокол обратного счета, который определяет 128 событий сигнала вне шины, и статус отключения от шины может быть прочитан из этого регистра. CPU может вызвать отключение шины с помощью записи 0xFF в этот регистр. Следует обратить внимание на то, что в отличие от SJA1000, устройство сразу сигнализирует об отключении шины, а не после включения рабочего режима. Восстановление отключенной шины начинается при включении рабочего режима после записи 0xFF в этот регистр в режиме сброса.

Буфер передачи

Буфер передачи используется только для записи данных и закреплен за адресом 16 – 28. Чтение данных из этой области возможно после их преобразования в буфере приема, описание которого приводится в следующем пункте. Топология буфера передачи зависит от того, что передается: стандартный кадр (SFF) или расширенный кадр (EFF), как показано в таблице [4.19.17](#).

Таблица 4.19.17 – Топология буфера передачи

№	Запись (SFF)	Запись (EFF)
16	Информация о кадре TX	Информация о кадре TX
17	TX ID 1	TX ID 1
18	TX ID 2	TX ID 2
19	Данные TX 1	TX ID 3
20	Данные TX 2	TX ID 4
21	Данные TX 3	Данные TX 1
22	Данные TX 4	Данные TX 2
23	Данные TX 5	Данные TX 3
24	Данные TX 6	Данные TX 4
25	Данные TX 7	Данные TX 5
26	Данные TX 8	Данные TX 6
27	–	Данные TX 7
28	–	Данные TX 8

Информация о кадре TX (топология этого поля одинакова для кадров SFF и EFF) показана в таблице 4.19.18.

Таблица 4.19.18 – Информация о кадре TX (адрес 16)

Бит 7	Бит 6	Бит 5	Бит 4	Бит 3	Бит 2	Бит 1	Бит 0
FF	RTR	–	–	DLC.3	DLC.2	DLC.1	DLC.0

Бит 7 – FF выбирает формат кадра, т.е. интерпретирование его как расширенный или стандартный кадр. 1 = EFF, 0 = SFF.

Бит 6 – RTR должен быть установлен для кадра запроса удаленной передачи.

Биты 5, 4 – безразличное состояние.

Биты (3 – 0) – DLC определяет код длины данных, присваивая значение от 0 до 8. Если значение превышает 8, передаются 8 байтов.

Идентификатор TX 1 (это поле одинаково для кадров SFF и EFF), как показано в таблице 4.19.19.

Таблица 4.19.19 – Идентификатор TX 1 (адрес 17)

Бит 7	Бит 6	Бит 5	Бит 4	Бит 3	Бит 2	Бит 1	Бит 0
ID.28	ID.27	ID.26	ID.25	ID.24	ID.23	ID.22	ID.21

Биты (7 – 0) – Верхние 8 битов идентификатора.

В таблице 4.19.20 представлен идентификатор TX 2, кадр SFF.

Таблица 4.19.20 – Идентификатор TX 2 (адрес 18)

Бит 7	Бит 6	Бит 5	Бит 4	Бит 3	Бит 2	Бит 1	Бит 0
ID.20	ID.19	ID.18	–	–	–	–	–

Биты (7 – 5) – Нижние 3 бита идентификатора SFF.

Биты (4 – 0) – безразличное состояние.

В таблице 4.19.21 представлен идентификатор TX 2, кадр EFF

Таблица 4.19.21 – Идентификатор TX 2 (адрес 18)

Бит 7	Бит 6	Бит 5	Бит 4	Бит 3	Бит 2	Бит 1	Бит 0
ID.20	ID.19	ID.18	ID.17	ID.16	ID.15	ID.14	ID.13

Биты (7 – 0) – Биты (20 – 13) 29-битового идентификатора EFF.

В таблице 4.19.22 представлен идентификатор TX 3, кадр EFF.

Таблица 4.19.22 – Идентификатор TX 3 (адрес 19)

Бит 7	Бит 6	Бит 5	Бит 4	Бит 3	Бит 2	Бит 1	Бит 0
ID.12	ID.11	ID.10	ID.9	ID.8	ID.7	ID.6	ID.5

Биты (7 – 0) – Биты (12 – 5) 29-битового идентификатора EFF.

В таблице 4.19.23 представлен идентификатор TX 4, кадр EFF.

Таблица 4.19.23 – Идентификатор TX 4 (адрес 20)

Бит 7	Бит 6	Бит 5	Бит 4	Бит 3	Бит 2	Бит 1	Бит 0
ID.4	ID.3	ID.2	ID.1	ID.0	–	–	–

Биты (7 – 3) – Биты (4 – 0) 29-битового идентификатора EFF.

Буфер приема

Для кадров SFF поле данных расположено в адресе 19–26 и для кадров EFF – в адресе 21–28, как показано в таблице 4.19.24.

Таблица 4.19.24 – Поле данных для кадров SFF и EFF

№	Чтение (SFF)	Чтение (EFF)
16	Информация о кадре RX	Информация о кадре RX
17	RX ID 1	RX ID 1
18	RX ID 2	RX ID 2
19	Данные RX 1	RX ID 3
20	Данные RX 2	RX ID 4
21	Данные RX 3	Данные RX 1
22	Данные RX 4	Данные RX 2
23	Данные RX 5	Данные RX 3
24	Данные RX 6	Данные RX 4
25	Данные RX 7	Данные RX 5
26	Данные RX 8	Данные RX 6
27	FI RX следующего сообщения в FIFO	Данные RX 7
28	ID1 RX следующего сообщения в FIFO	Данные RX 8

В таблице 4.19.25 дана информация о кадре RX (топология этого поля одинакова для кадров SFF и EFF).

Таблица 4.19.25 – Информация о кадре RX (адрес 16)

Бит 7	Бит 6	Бит 5	Бит 4	Бит 3	Бит 2	Бит 1	Бит 0
FF	RTR	0	0	DLC.3	DLC.2	DLC.1	DLC.0

Бит 7 – Формат кадра принятого сообщения. 1 = EFF, 0 = SFF.

Бит 6 – «1» в случае кадра RTR.

Биты (5, 4) – Всегда «0».

Биты (3 – 0) – DLC определяет код длины данных.

Идентификатор RX 1 (это поле одинаково для кадров SFF и EFF), как показано в таблице 4.19.26.

Таблица 4.19.26 – Идентификатор RX 1 (адрес 17)

Бит 7	Бит 6	Бит 5	Бит 4	Бит 3	Бит 2	Бит 1	Бит 0
ID.28	ID.27	ID.26	ID.25	ID.24	ID.23	ID.22	ID.21

Биты (7 – 0) – Старшие 8 бит идентификатора.

В таблице 4.19.27 представлен идентификатор RX 2, кадр SFF.

Таблица 4.19.27 – Идентификатор RX 2 (адрес 18)

Бит 7	Бит 6	Бит 5	Бит 4	Бит 3	Бит 2	Бит 1	Бит 0
ID.20	ID.19	ID.18	RTR	0	0	0	0

Биты (7 – 5) – Нижние 3 бита идентификатора SFF.

Бит 4 – «1» в случае кадра RTR.

Биты (3 – 0) – Всегда «0».

В таблице 4.19.28 представлен идентификатор RX 2, кадр EFF.

Таблица 4.19.28 – Идентификатор RX 2 (адрес 18)

Бит 7	Бит 6	Бит 5	Бит 4	Бит 3	Бит 2	Бит 1	Бит 0
ID.20	ID.19	ID.18	ID.17	ID.16	ID.15	ID.14	ID.13

Биты (7 – 0) – Биты (20–13) 29-битового идентификатора EFF.

В таблице 4.19.29 представлен идентификатор RX 3, кадр EFF.

Таблица 4.19.29 – Идентификатор RX 3 (адрес 19)

Бит 7	Бит 6	Бит 5	Бит 4	Бит 3	Бит 2	Бит 1	Бит 0
ID.12	ID.11	ID.10	ID.9	ID.8	ID.7	ID.6	ID.5

Биты (7 – 0) – Биты (12 – 5) 29-битового идентификатора EFF.

В таблице 4.19.30 представлен идентификатор RX 4, кадр EFF.

Таблица 4.19.30 – Идентификатор RX 4 (адрес 20)

Бит 7	Бит 6	Бит 5	Бит 4	Бит 3	Бит 2	Бит 1	Бит 0
ID.4	ID.3	ID.2	ID.1	ID.0	RTR	0	0

Биты (7 – 3) – Биты (4–0) 29-битового идентификатора EFF.

Бит 2 – «1» в случае кадра RTR.

Биты (1, 0) – безразличное состояние.

Входной полосовой фильтр

Входной полосовой фильтр может использоваться для фильтрации сообщений, не удовлетворяющих определенным требованиям. Если сообщение отфильтровывается, оно не помещается в FIFO приема и CPU его не обрабатывает.

Существует два разных режима фильтрации: одноступенчатого и двойного фильтра. Выбор фильтра задается битом 3 в регистре режимов. В режиме одинарного фильтра используется только один 4-байтовый фильтр. В режиме двойного фильтра используются два простых фильтра, и если один из них сигнализирует о соответствии, сообщение принимается. Каждый фильтр состоит из двух частей: код приема и маска приема. Регистры кодов используются для определения конкретного набора для соответствия, а регистры масок определяют биты с безразличным состоянием. Всего для входного полосового фильтра используются восемь регистров, как показано в таблице 4.19.31. Следует обратить внимание на то, что в них чтение/запись выполняется только в режиме сброса.

Таблица 4.19.31 – Регистры входного полосового фильтра

Адрес	Описание
16	Код приема 0 (ACR0)
17	Код приема 1 (ACR1)
18	Код приема 2 (ACR2)
19	Код приема 3 (ACR3)
20	Маска приема 0 (AMR0)
21	Маска приема 1 (AMR1)
22	Маска приема 2 (AMR2)
23	Маска приема 3 (AMR3)

Режим одинарного фильтра, стандартный кадр

При приеме стандартного кадра в режиме одинарного фильтра регистры ACR(0–3) сравниваются с входящим сообщением следующим образом:

- ACR0.7–0 и ACR1.7–5 сравниваются с ID.28–18;
- ACR1.4 сравнивается с битом RTR;
- ACR1.3–0 не используются;
- ACR2 и ACR3 сравниваются с байтами данных 1 и 2.

Соответствующие биты в регистрах AMR выбирают, имеет ли значение результат сравнения. Если в регистре масок бит установлен, то результат сравнения не имеет значения.

Режим одинарного фильтра, расширенный кадр

При приеме расширенного кадра в режиме одинарного фильтра регистры ACR(0–3) сравниваются с входящим сообщением следующим образом:

- ACR0.7–0 и ACR1.7–0 сравниваются с ID.28–13;
- ACR2.7–0 и ACR3.7–3 сравниваются с ID.12–0;
- ACR3.2 сравнивается с битом RTR;
- ACR3.1–0 не используются.

Соответствующие биты в регистрах AMR выбирают, имеет ли значение результат сравнения. Если в регистре масок бит установлен, то результат сравнения не имеет значения.

Режим двойного фильтра, стандартный кадр

При приеме стандартного кадра в режиме двойного фильтра регистры ACR(0–3) сравниваются с входящим сообщением следующим образом:

Фильтр 1

ACR0.7–0 и ACR1.7–5 сравниваются с ID.28–18;

ACR1.4 сравнивается с битом RTR;

ACR1.3–0 сравниваются со старшей тетрадой байта данных 1;

ACR3.3–0 сравниваются с младшей тетрадой байта данных 1.

Фильтр 2

ACR2.7–0 и ACR3.7–5 сравниваются с ID.28–18;

ACR3.4 сравнивается с битом RTR.

Соответствующие биты в регистрах AMR выбирают, имеет ли значение результат сравнения. Если в регистре масок бит установлен, то результат сравнения не имеет значения.

Режим двойного фильтра, расширенный кадр

При приеме расширенного кадра в режиме двойного фильтра регистры ACR0–3 сравниваются с входящим сообщением следующим образом:

Фильтр 1

ACR0.7–0 и ACR1.7–0 сравниваются с ID.28–13;

Фильтр 2

ACR2.7–0 и ACR3.7–0 сравниваются с ID.28–13.

Соответствующие биты в регистрах AMR выбирают, имеет ли значение результат сравнения. Если в регистре масок бит установлен, то результат сравнения не имеет значения.

Счетчик сообщений RX

Регистр счетчика сообщения RX по адресу 29 содержит количество сообщений, которые в настоящее время хранятся в FIFO приема. Старшие три бита всегда сброшены.

4.19.6 Общие регистры

Имеется три общих регистра с одинаковыми адресами и одинаковыми функциональными возможностями в обоих режимах BasiCAN и PeliCAN. Это регистр тактового предделителя и регистры синхронизации шины «0» и «1».

Регистр тактового предделителя

Единственная существующая функция регистра, описанного в таблице 4.19.32, состоит в выборе PeliCAN и BasiCAN. Выход CLKOUT устройства CAN не подключен. Тактовый делитель данного регистра может управлять частотой этого выхода, но поскольку выход не подключен, управление им не имеет смысла.

Таблица 4.19.32 – Интерпретирование битов в регистре тактового предделителя (CDR) (адрес 31)

Бит	Имя	Описание
CDR.7	Режим CAN	1 – PeliCAN, 0 – BasiCAN
CDR.6	–	Не используется (бит cbp SJA1000)
CDR.5	–	Не используется (бит gxinten SJA1000)
CDR.4	–	Зарезервировано
CDR.3	Отключение тактового сигнала	Отключает выход CLKOUT
CDR.2–0	Тактовый делитель	Выбирает частоту

Регистр временных параметров VTR0 шины

В таблице 4.19.33 представлено интерпретирование битов регистра шины (VTR0).

Таблица 4.19.33 – Интерпретирование битов регистра шины VTR0 (адрес 6)

Бит	Имя	Описание
VTR0.7–6	SJW	Длительность синхронизации перехода
VTR0.5–0	BRP	Предделитель скорости передачи

Системный тактовый сигнал ядра CAN рассчитывается следующим образом:

$$t_{scl} = 2 \times t_{clk} \times (BRP + 1),$$

где t_{clk} – системный тактовый сигнал.

Длительность синхронизации перехода определяет, сколько циклов синхронизации $s(t_{scl})$ за один интервал передачи бита можно выровнять за одну повторную синхронизацию.

Регистр временных параметров VTR1 шины

В таблице 4.19.34 представлено интерпретирование битов регистра шины (VTR1).

Таблица 4.19.34 – Интерпретирование битов регистра шины VTR1 (адрес 7)

Бит	Имя	Описание
VTR1.7	SAM	«1» – шина тестируется 3 раза, «0» – точка единичного тестирования
VTR1.6–4	TSEG2	Временной отрезок 2
VTR1.3–0	TSEG1	Временной отрезок 1

Интервал побитовой передачи шины CAN определяется системным тактовым сигналом CAN и временными отрезками 1 и 2, как показано в уравнениях ниже:

$$t_{tseg1} = t_{scl} \times (TSEG1 + 1);$$

$$t_{tseg2} = t_{scl} \times (TSEG2 + 1);$$

$$t_{bit} = t_{tseg1} + t_{tseg2} + t_{scl}.$$

Дополнительная переменная t_{scl} образуется из стартового отрезка синхронизации. Тестирование проводится между интервалами битовой передачи TSEG1 и TSEG2.

4.19.7 Особенности интерфейса CAN

В этом пункте перечислены различия между этим контроллером CAN и SJA1000, на котором он базируется:

- все биты, связанные с режимом ожидания, недоступны;
- регистры управления выходом и тестовые регистры отсутствуют (чтение 0x00);
- бит 6 регистра тактового предделителя (CBP) и 5 (RXINTEN) не реализован;

- запрос на прерывание при переполнении и статус не устанавливаются, пока не считаны данные FIFO.

Специфические отличия BasicCAN:

- бит запроса на прерывание при приеме не сбрасывается при чтении, работает как в режиме PeliCAN;
- бит CR.6 всегда сброшен и не является регистром, как в SJA1000.

Специфические отличия PeliCAN:

- запись 256 в регистр счетчика ошибок TX, в режиме сброса, сразу отключает шину;
- регистр стартового адреса буфера чтения отсутствует;
- адреса выше 31 не реализованы (т.е. внутренний доступ RAM/FIFO);
- устройство передает активные кадры ошибок только в режиме ожидания.

4.20 Интерфейс USB 2.0

4.20.1 Общие сведения

Контроллер хост-системы USB 2.0 Gaisler Research (GRUSBHC) обеспечивает связь между шиной АНВ AMBA и универсальной последовательной шиной (USB). Стандарт USB 2.0 во многом аналогичен стандарту USB 1.1 и совместим с ним. Однако, к двум прежним скоростям в нём добавляется новая скорость – 480 Мбайт/с. Хост-контроллер поддерживает поток обмена USB в высокоскоростном, полноскоростном и низкоскоростном режимах. В высокоскоростном режиме USB 2.0 используется усовершенствованный контроллер с реализацией усовершенствованного интерфейса контроллера хост-системы версии 1.0 (EHCI 1.0). Поток обмена в полноскоростном и низкоскоростном режимах (USB 1.1) обрабатывается универсальным контроллером, реализующим интерфейс версии 1.1 (UCHI 1.1). Каждый контроллер имеет собственный интерфейс ведущего устройства АМБА АНВ. Конфигурация и управление усовершенствованного контроллера хост-системы выполняется через шину АМБА АРВ. Доступ к регистрам сопровождающего контроллера выполняется через интерфейс ведомого устройства АМБА АНВ. На рисунке 4.20.1 показана блок-схема хост-системы USB 2.0.

Контроллер поддерживает приемо-передатчики ULPI.

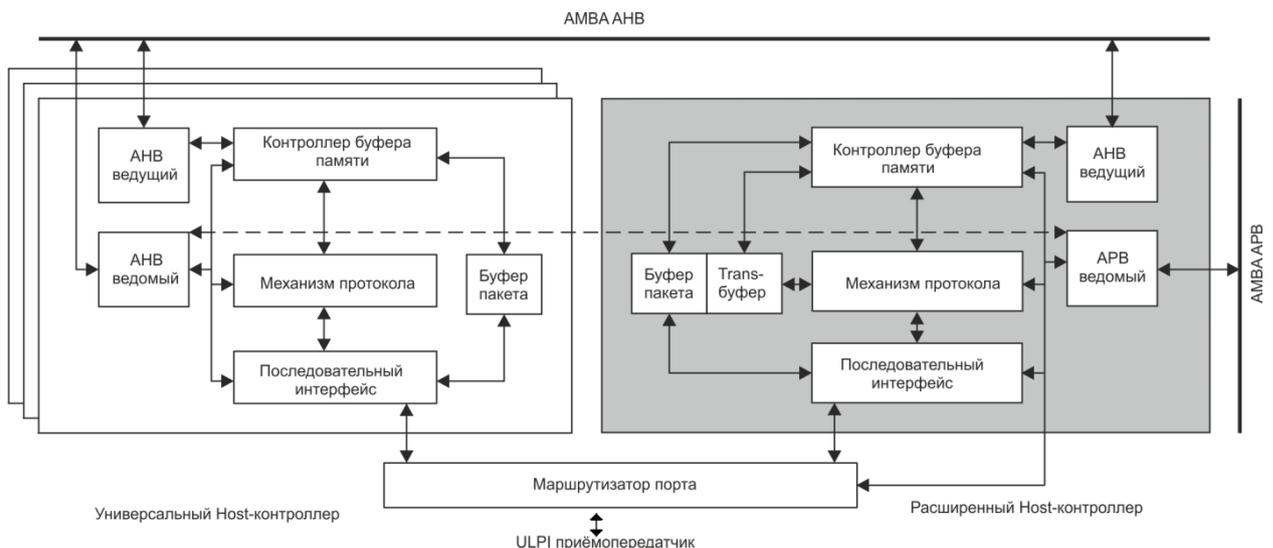


Рисунок 4.20.1 – Блок-схема хост-системы

4.20.2 Принцип работы

Общие сведения о системе

В системе содержатся два типа контроллеров: усовершенствованный контроллер и универсальный контроллер. Универсальный контроллер работает, как сопровождающий контроллер усовершенствованного контроллера.

Усовершенствованный контроллер соответствует интерфейсу усовершенствованного контроллера хост-системы за исключением опции Light Host Controller Reset (см. спецификацию Enhanced Host Controller Interface (EHCI)), которая не реализована.

Универсальный контроллер соответствует интерфейсу универсального контроллера хост-системы с некоторыми исключениями. Поле `HC halted` в регистре статуса USB реализовано только для считывания вместо считывания/записи. Регистр статуса/управления портом (`Port Status/Control`) расширен полями «превышение тока» (`Over Current`) и «изменение превышения тока» (`Over Current Change`). Изменения в обоих регистрах выполняются в соответствии с текущей реализацией интерфейса. Изменения соответствуют описанию битов в спецификации EHCI.

Поддержка протокола

Усовершенствованный контроллер полностью поддерживает поток обмена в высокоскоростном режиме в соответствии со спецификацией USB 2.0. Кроме того, поддерживается режим `Asynchronous Park`, а контроллер имеет счетчик `NAK`.

Универсальный контроллер хост-системы поддерживает поток обмена в полноскоростном и низкоскоростном режимах.

Дескриптор и буферизация данных

Усовершенствованный контроллер хост-системы выполняет предвыборку одного кадра изохронных дескрипторов. Перед выполнением передачи производится выборка всех данных полезной нагрузки. Усовершенствованный контроллер имеет 2048-байтовый буфер для дескрипторов и 2048-байтовый буфер для данных полезной нагрузки, которые могут содержать данные для двух передач.

Универсальный контроллер хост-системы не выполняет предвыборку указателей. Передача на шине может начинаться до извлечения из памяти всех данных полезной нагрузки, после извлечения трех слов данных. Универсальный контроллер имеет 1024-байтовый буфер для данных полезной нагрузки. Дескриптор передачи в UHCI описывает передачу, полезная нагрузка которой составляет 1280 байт. Согласно спецификации USB, максимально допустимая полезная нагрузка данных ограничена 1023 байтами, при этом контроллер не передает полезную нагрузку, превышающую 1023 байта. Если полезная, разрешенная, нагрузка дескриптора превышает 1023 байта, контроллер сделает попытку передачи первых 1023 байт, после чего передача будет помечена как завершенная.

Универсальный контроллер и усовершенствованный контроллер используют общий буфер данных полезной нагрузки. Таким образом, требуется только два 2048-байтных буфера.

Тактирование и сброс

Ядро модуля USB содержит два тактовых домена: системный тактовый домен и тактовый домен USB. Тактовый домен USB работает с частотой 60 МГц. Все сигналы,

пересекающие границу тактового домена, синхронизированы во избежание нестабильности.

Переключение входа сброса может быть асинхронным или синхронным. Все регистры в системном домене тактирования, требующие сброса, сбрасываются синхронно. Предполагается, что вход сброса удерживается установленным до стабилизации сигнала тактирования. Во избежание нежелательных действий USB, в тактовом домене USB асинхронно сбрасывается несколько регистров. При старте тактирования USB все остальные регистры в домене USB, требующие значения по сбросу, также сбрасываются.

От сброса устройство генерирует сигнал сброса приемо-передатчиков USB, который асинхронно устанавливается применительно к тактовому сигналу USB, и асинхронно снимается.

Порядок следования байт

Устройство всегда выполняет доступ к младшему значащему байту полезной нагрузки данных при нулевом смещении. Регистры имеют порядок следования «сначала младший байт» с перестановкой байтов.

4.20.3 Операции DMA

В обоих типах контроллеров размер пакетов DMA составляет 16 слов.

Это значение показывает, сколько слов в пакете контроллер может получить из памяти, а не количество операций с памятью при получении доступа к шине.

При записи данных полезной нагрузки обратно в память, требующей адресации по байтам или в полусловах, количество операций может достигнуть 17, прежде чем шина будет освобождена.

Если хост-контроллером дается побайтно выровненный буфер данных, длина пакета может достичь 17 слов при выборке данных полезной нагрузки из памяти.

Универсальный контроллер хост-системы использует пакет размером в четыре слова при выборке Дескрипторов. Конфигурация универсального контроллера позволяет запускать передачи по USB до полного извлечения данных из памяти. Количество слов, которые должны быть извлечены из памяти до запуска передачи по USB, равно двум.

4.20.4 Порядок следования байт

Внутренние операции выполняются в порядке «сначала младший байт». Поскольку система подсоединена к шине, использующей порядок следования «сначала старший байт», все строки данных AMBA используют перестановку байт.

Регистры хост-контроллера используют порядок «сначала младший байт» с перестановкой байтов DWORD.

В таблице 4.20.1 показан порядок следования «сначала младший байт» с перестановкой байтов (32 бита) в двух 16-битовых регистрах. Регистр R1 расположен по адресу 0x00, регистр R2 расположен по адресу 0x02.

Таблица 4.20.1 – R1 и R2 с адресацией в порядке следования «сначала младший байт» с перестановкой байтов DWORD

31	24 23	16 15	8 7	0
R1(7:0)	R1(15:8)	R2(7:0)	R2(15:8)	

Дескрипторы передач внутренней памяти также используют перестановку байт. Данная конфигурация используется для операционных систем, таких как Linux, в которых

используется перестановка байтов в системах, использующих порядок следования «сначала старший байт».

4.20.5 Поддержка приемо-передатчиков

Контроллер поддерживает приемо-передатчики ULPI. Используется внешний источник питания шины USB (VBUS) и внешний индикатор ошибки с активным низким уровнем.

Описание интерфейса ULPI приводится в UTMI+ Low Pin Interface Specification Revision 1.1.

4.20.6 Регистры

Усовершенствованный контроллер хост-системы

Программирование выполняется через регистры, отображаемые в адресуемом пространстве APB, как показано в таблицах 4.20.1, 4.20.2. Описание регистров приводится в спецификации ENCI.

Таблица 4.20.1 – Регистры характеристик (capability registers) усовершенствованного хост-контроллера (базовый адрес 0x80100100)

Смещение адреса APB	Регистр
0x00	Длина регистров характеристик
0x01	Зарезервировано
0x02	Номер версии интерфейса
0x04	Структурные параметры
0x08	Параметры характеристик
0x0C	Описание распределения портов по контроллерам-компаньонам

Таблица 4.20.2 – Операционные регистры усовершенствованного контроллера хост-системы

Смещение адреса APB	Регистр
0x14	Управление USB*
0x18	Статус USB
0x1C	Разрешение прерывания USB
0x20	Индекс кадра USB
0x24	Селектор сегмента 4G (зарезервировано)
0x28	Базовый адрес кадрового списка
0x2C	Адрес следующего асинхронного списка
0x54	Конфигурируемый флаговый регистр
0x58	Регистр статуса/управления порта

* Light Reset контроллера не реализован.

Универсальный контроллер хост-системы

Программирование контроллера выполняется через регистры, отображаемые в адресуемом пространстве области ввода-вывода АНВ (см. таблицы 4.20. – 4.20.). Описание регистров приводится в руководстве по проектированию интерфейса универсального контроллера хост-системы (УНСИ) версии 1.1.

Таблица 4.20.3 – Регистры области ввода-вывода универсального хост-контроллера (базовый адрес 0xFFFA0000)

Смещение адреса APB	Регистр
0x00	Управление USB
0x02	Статус USB*
0x04	Разрешение прерывания USB
0x06	Номер кадра
0x08	Базовый адрес списка кадров
0x0C	Регистр модификации стартового кадра
0x10	Статус/управление портом**

* Бит HCHalted реализован только для считывания и по умолчанию имеет значение 1.
 ** Добавлены поля «превышение тока» и «изменение превышения тока».

Таблица 4.20.4 – Изменения в регистре статуса USB

15	6	5	4	0
Соответствие UHCI			HCH	Соответствие UHCI

- 15–6 Соответствует UHCI
- 5 Контроллер хост-системы остановлен (HCH) – Аналогично спецификации UHCI, но поле изменено с Read/Write Clear на Read Only. Бит сброшен, когда Run/Stop установлен. Значение данного бита по умолчанию изменено на 1.
- 4–0 Соответствует UHCI

Таблица 4.20.5 – Изменения в регистре статуса/управления порта

15	12	11	10	9	0
Соответствие UHCI		OCC	OC	Соответствие UHCI	

- 15–12 Соответствует UHCI
- 11 Переключение сигнала превышения тока (OCC) – Устанавливается при переключении сигнала превышения тока (OC). Read/Write Clear.
- 10 Превышение тока активно (OC) – Устанавливается при условии превышения тока. Read Only.
- 9–0 Соответствует UHCI

4.21 Интерфейс PCI

4.21.1 Общие сведения

Интерфейс реализован на основе модуля GRPCI2. Этот модуль является мостом между шиной PCI и шиной АНВ AMBA. Соединяется с шиной PCI через интерфейс ведомого и интерфейс ведущего устройства. При подключении к шине AMBA интерфейс ведущего устройства АНВ используется для работы с ведомым PCI, интерфейс ведомого устройства АНВ – для работы с ведущим устройством PCI. В системе также имеется контроллер DMA. При наличии DMA используется ведущее устройство PCI для соединения с шиной PCI, и ведущее устройство АНВ – для соединения с шиной AMBA. Доступ к регистрам конфигурации выполняется через интерфейс ведомого устройства APB AMBA, как показано на рисунке 4.21.1.

Интерфейсы PCI и AMBA принадлежат к двум разным тактовым доменам. Синхронизация выполняется через буферы FIFO.

Интерфейс PCI соответствует спецификации локальной шины PCI 2.2.

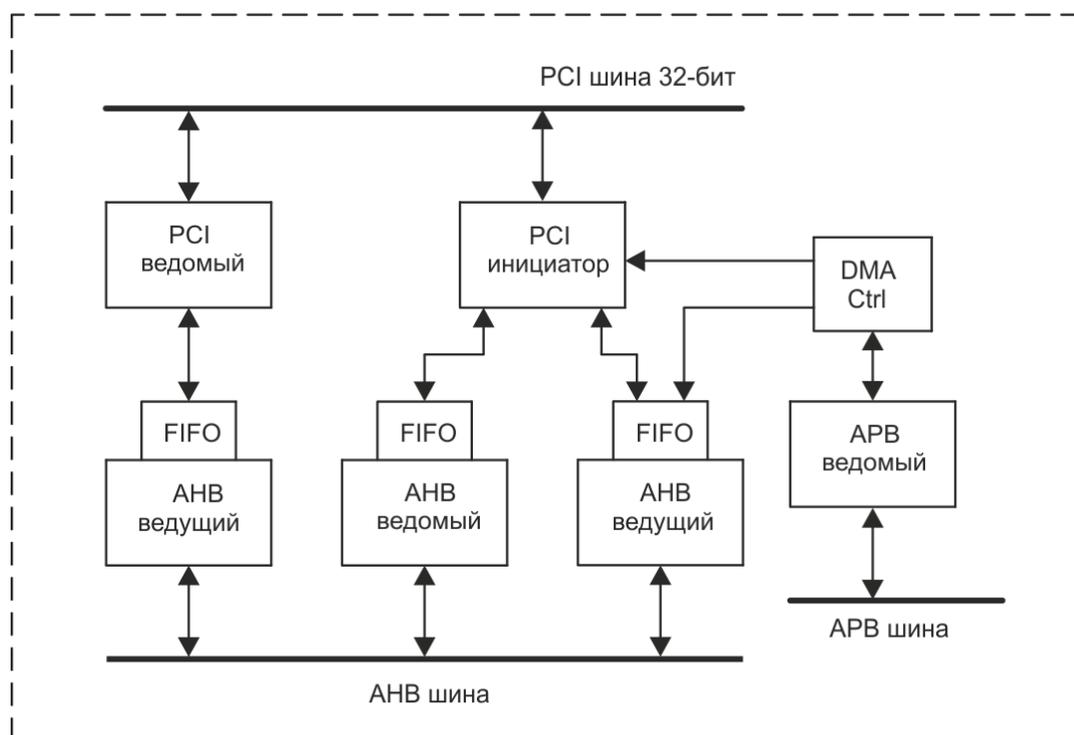


Рисунок 4.21.1 – Блок-схема интерфейса PCI

4.21.2 Конфигурация

Регистры конфигурации располагаются в области конфигурации PCI (в соответствии со спецификацией локальной шины PCI 2.2) и управляются через интерфейс ведомого устройства APB AMBA (для управления работой системы и управления DMA).

Далее приводятся реализованные характеристики.

Базовый адрес размещения управляющих регистров **0x80000400**.

Реализованная конфигурация определяется считыванием регистра статуса, доступ к которому выполняется через интерфейс ведомого устройства APB:

- идентификация поставщика и устройства PCI: vendorid = 0x0, deviceid = 0x0;
- код класса PCI и идентификация версии: classcode = 0x0 и revisionid = 0x0;
- реализован интерфейс 32-битового иницирующего устройства PCI;
- реализован интерфейс 32-битового адресата PCI;
- реализован контроллер DMA;
- емкость и количество FIFO: емкость равна 3, количество равно 2;
- номер генерируемого прерывания 4.

Область конфигурации PCI

Реализованы следующие регистры в области конфигурации PCI (см. таблицы 4.21.1 – 4.21.8). Для получения дополнительной информации о каждом поле данных регистров – см. спецификацию локальной шины PCI.

Таблица 4.21.1 – Реализованные регистры пространства конфигурации PCI

Смещение адреса PCI	Регистр
0x00	Идентификация устройства, идентификация поставщика
0x04	Статус, управление
0x08	Код класса, идентификация версии
0x0C	BIST, тип заголовка, таймер периода ожидания, размер строки кэша
0x10	Регистр базового адреса
0x34	Указатель характеристик
0x3C	Max_Lat, Min_Gnt, вывод прерывания, строка прерывания

Таблица 4.21.2 – Регистр идентификации устройства и идентификации поставщика (смещение адреса 0x00)

31	1615	0
Device ID		Vendor ID

- 31–16 Идентификация устройства, значение 0x0
 15–0 Идентификация поставщика, значение 0x0

Таблица 4.21.3 – Регистр статуса и управления (смещение адреса 0x04)

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
D	S	R	R	S	DEV	M	F	–	66	CL	IS	–	ID	Not	SE	R	P	Not	M	Not	BM	MS	Not		
P	S	M	T	T	SEL	D	B		M					Imp		E	E	Imp	W	Imp					Imp
E	E	A	A	A	timing	P	B		H							S	R		I						
						E	C		z																

- 31 Обнаружена ошибка по четности
 30 Сигнал ошибки системы
 29 Сообщение о прекращении работы ведущего устройства
 28 Сообщение о прекращении работы ведомого устройства
 27 Сигнал о прекращении работы ведомого устройства
 26, 25 Синхронизация DEVSEL, возврат «01» = среднее DEVSEL
 24 Ошибка по четности данных ведущего устройства
 23 Опция быстрого сравнения, возврат сброса (только для считывания)
 22 Резервировано
 21 Опция 66 МГц (только для считывания)
 Примечание – В устройстве данный бит определен как статус сигнала M66EN, а не как характеристика ядра. Для модификации 33 МГц этот сигнал должен быть заземлен, при этом бит статуса будет сброшен. Для модификации 66 МГц этот сигнал должен быть притянут к единице, при этом бит статуса будет установлен. Если версия, поддерживающая 66 МГц, вставляется в систему, способную работать на 33 МГц, данный бит отображает возможность устройства работать только на 33 МГц
 20 Список характеристик, читается как «1» (только для считывания)
 19 Статус прерывания (только для считывания)
 18–11 Резервировано
 10 Запрещение прерывания
 9 НЕ РЕАЛИЗОВАНО, читается как «0»
 8 Разрешение SERR#
 7 НЕ РЕАЛИЗОВАНО, читается как «0»
 6 Ответ «ошибка по четности»
 5 НЕ РЕАЛИЗОВАНО, читается как «0»

- 4 Запись памяти и разрешение недостоверности
- 3 НЕ РЕАЛИЗОВАНО, читается как «0»
- 2 Ведущее устройство шины
- 1 Область памяти
- 0 НЕ РЕАЛИЗОВАНО, читается как «0»

Таблица 4.21.4 – Регистр кода класса и идентификации версии (смещение адреса 0x08)

31		8 7	0
	Код класса		ID версии

- 31–8 Код класса, значение 0x0
- 7–0 Идентификация версии, значение 0x0

Таблица 4.21.5 – Регистр BIST, типа заголовка, таймера периода ожидания и размера строки кэша (смещение адреса 0x0C)

31	24 23	16 15	8 7	0
	BIST	Тип заголовка	Таймер задержки	Размер строки кэша

- 31–24 НЕ РЕАЛИЗОВАНО, читается, как «0»
- 23–16 Тип заголовка, читается, как «0»
- 15–8 Таймер периода ожидания, все биты доступны для записи
- 7–0 НЕ РЕАЛИЗОВАНО, читается, как «0»

Таблица 4.21.6 – Регистр базового адреса (смещение адреса 0x10)

31		6 5	4	3	2	1	0
	Базовый адрес	–	PF	Type	MS		

- 31–6 Базовый адрес
- 5, 4 НЕ РЕАЛИЗОВАНО, читается, как «0»
- 3 Предварительная выборка. Если предварительная выборка отсутствует, читается, как «0»
- 2, 1 Тип, читается, как «0»
- 0 Индикатор области памяти

Таблица 4.21.7 – Регистр указателя характеристик (смещение адреса 0x34)

31		8 7	0
	–		Указатель характеристик

- 31–8 Зарезервировано
- 7–0 Указатель характеристик. Указывает первый пункт списка характеристик расширенной области конфигурации PCI. Значение 0x40

Таблица 4.21.8 – Регистр Max_Lat, Min_Gnt, вывода прерывания и строки прерывания (смещение адреса 0x3C)

31	24 23	16 15	8 7	0
	Max_Lat	Min_Gnt	Interrupt Pin	Interrupt Line

- 31–24 НЕ РЕАЛИЗОВАНО, читается, как «0»
- 23–16 НЕ РЕАЛИЗОВАНО, читается, как «0»
- 15–8 Вывод прерывания – читается, как «0» (только для считывания)
- 7–0 Строка прерывания

Расширенная область конфигурации PCI

В данном подпункте рассматриваются регистры в расширенной области конфигурации PCI. Эти регистры реализуют отображение адресов PCI на шине AMBA и опцию изменения порядка следования байт шины PCI.

Регистры, реализованные в данном диапазоне адресов AMBA, соответствуют спецификации локальной шины PCI 2.2, (см. таблицы 4.21.9 – 4.21.15).

Данная область имеет **базовый адрес смещения 0x40**.

Таблица 4.21.9 – Регистры расширенной области конфигурации PCI

Смещение адреса PCI (базовый адрес смещения 0x40)	Регистр
0x00	Размер, следующая ссылка, идентификатор
0x04	Статусная строка PCI для отображения адреса АНВ
0x1C	Расширенная область конфигурации PCI для отображения адреса АНВ
0x20	Базовый адрес области ввода-вывода АНВ и конфигурация шины PCI (изменение порядка следования)
0x24	Размер статусной строки PCI и предварительная выборка
0x3C	Граница пакета предварительной выборки ведущего устройства АНВ

Таблица 4.21.10 – Размер, следующий указатель, идентификация (смещение адреса 0x00)

31	24 23	16 15	8 7	0
–	Размер	Следующий указатель	ID	

31–24 Зарезервировано

23–16 Размер, читается, как 0x40 (только для считывания).

15–8 Указатель на следующий пункт списка характеристик. Значение 0x0 (только для считывания)

7–0 Идентификатор. Читается, как 0x09, идентифицируя поставщика (только для считывания)

Таблица 4.21.11 – Регистр PCI BAR для отображения адреса АНВ (смещение адреса 0x04)

31	6 5	0
Отображение PCI BAR в адрес АНВ		–

31–6 26-битовый регистр отображения адреса для PCI BAR0. Трансляция доступа PCI BAR в базовый адрес АНВ.

5–0 Зарезервировано, считывается как «0»

Таблица 4.21.12 – Регистр отображения расширенной области конфигурации PCI для адреса АНВ (смещение адреса 0x1C)

31	8 7	0
Регистр отображения расширенной области		–

31–8 Трансляция доступа к расширенной области конфигурации PCI (кроме диапазона адресов внутреннего регистра, расположенного в данной области конфигурации) в адрес АНВ

7–0 Зарезервировано

Таблица 4.21.13 – Базовый адрес области ввода-вывода АНВ и конфигурация шины PCI (регистр порядка следования) (смещение адреса 0x20)

31	20 19	2	1	0
АНВ IO базовый адрес		–	DISEN	Endian

- 31–20 Базовый адрес области ввода-вывода АНВ (только для считывания, не дублируется для каждой функции PCI)
- 19–2 Зарезервировано
- 1 Разрешение сброса тайм-аута доступа ведомого устройства. Если установлено, ведомый будет сбрасывать ожидающий доступ, если в ходе выполнения циклов тактирования PCI 2¹⁵ не обнаружен повтор доступа (не дублируется для каждой функции PCI)
- 0 Изменение порядка следования байтов на шине PCI. 1: порядок следования «сначала младший байт» на шине PCI, 0: порядок следования «сначала старший байт» на шине PCI. Значение после сброса – 0

Таблица 4.21.14 – Регистр размера PCI BAR и предварительной выборки (смещение адреса 0x24)

31	16 15	4 3 2 1 0
–	PCI BAR маска размера	Pre – Type

- 31–16 Зарезервировано
- 15–4 Регистр маски размера для каждой статусной строки PCI. Если бит[n] установлен, бит[n] в регистре PCI BAR реализован, и выполняется возврат ненулевого значения. Все биты, начиная с младшего установленного бита до бита 31, должны быть установлены. Если бит 31 сброшен, данный PCI BAR не разрешен
- 3 Бит предварительной выборки в регистре PCI BAR
- 2, 1 Зарезервировано
- 0 Тип BAR. 0 = BAR памяти, 1 = BAR области ввода-вывода

Таблица 4.21.15 – Граница пакета предварительной выборки ведущего устройства АНВ (смещение адреса 0x3C)

31	16 15	0
–	Длина пакета	

- 31–16 Зарезервировано
- 15–0 Длина пакета – 1. (Максимальное значение 0xFFFF, что соответствует адресации 65 Кбайт).

4.21.3 Принцип работы

Поддержка доступа

Система поддерживает одиночный и пакетный доступ на шине АНВ AMBA и на шине PCI. Дополнительная информация о поддерживаемых командах PCI приведена в пункте 4.21.5.

FIFO

Система имеет отдельные FIFO для каждого тракта: чтение ведомого устройства PCI, запись ведомого устройства PCI, считывание ведущего устройства PCI, запись ведущего устройства PCI, DMA из АНВ в PCI и DMA из PCI в АНВ (см. рисунок 4.21.2).

Разрешение байтов и слияние байтов (порядок следования)

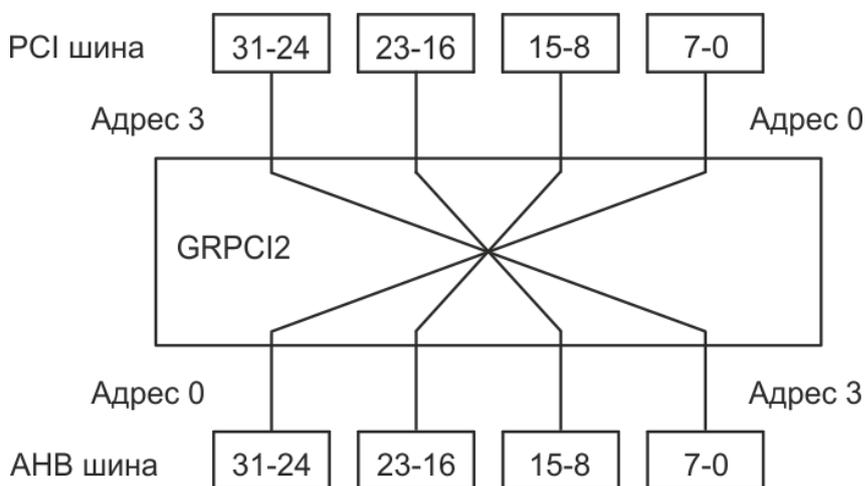


Рисунок 4.21.2 – Перестановка байтов

В таблице 4.21.16 представлены поддерживаемые адрес/размер АНВ и комбинации разрешения байтов PCI.

Таблица 4.21.16 – Соответствие адреса/размера АНВ комбинации разрешения байтов PCI

HSIZE АНВ	ADDRESS[1:0] АНВ	СВЕ[3:0] с порядком следования «сначала младший байт»	СВЕ[3:0] с порядком следования «сначала старший байт»
00 (8 бит)	00	1110	0111
00 (8 бит)	01	1101	1011
00 (8 бит)	10	1011	1101
00 (8 бит)	11	0111	1110
01 (16 бит)	00	1100	0011
01 (16 бит)	10	0011	1100
10 (32 бита)	00	0000	0000

Т.к. шина АНВ в GRLIB определяется как шина, использующая порядок следования «сначала старший байт», система может определять шину PCI как шину, использующую порядок следования «сначала младший байт» (см. спецификацию локальной шины PCI) с помощью изменения порядка следования байт. Также система может определять шину PCI как шину, использующую порядок следования «сначала старший байт», без изменения порядка следования байт.

Порядок следования байт на шине PCI конфигурируется через расширенную область конфигурации PCI. Значение по умолчанию – «сначала младший байт».

Циклы конфигурации PCI

Доступ к области конфигурации PCI при установке порядка следования байт не меняется. Область конфигурации PCI всегда определяется порядком следования «сначала

младший байт» (см. спецификацию локальной шины PCI). Это означает, что ведомый PCI не меняет байтовый порядок, даже если разрешено изменение порядка следования байт и ведущее устройство PCI всегда меняет порядок следования байт доступа области конфигурации PCI на порядок «сначала младший байт».

Данные, сохраненные в регистре области конфигурации PCI как 0x12345678 (бит[31:0]), передаются на шину АНВ как 0x78563412 (бит[31:0]). Это означает, что не 8-битовый доступ к области конфигурации PCI необходимо конвертировать в программном обеспечении для получения правильного порядка следования байт.

Доступ к памяти и области ввода-вывода

Доступ к памяти и области ввода-вывода при изменении порядка следования байт меняется. Система определяет шину PCI с порядком следования «сначала младший байт» в первом случае, если система является хост-системой PCI и внешние периферийные устройства с порядком следования «сначала младший байт» выполняют передачи DMA в память хост-системы. Во втором случае – если система является внешним периферийным устройством и выполняет передачи DMA в хост-систему PCI с порядком следования «сначала младший байт».

Пакеты

Шина PCI: Ведомый PCI завершает пакет, если FIFO не доступны (ведущее устройство АНВ АМВА не может быстро заполнить или освободить FIFO) или в ходе считывания, когда пакет достигает длины, указанной в регистре границы пакета предварительной выборки ведущего устройства АНВ. Данный регистр определяет предельную границу пакета, т.е. если установлено 0x400 бит (граница адреса 4 Кбайта), устройство выполняет только предварительную выборку данных до этой границы, после чего завершает пакет с разъединением.

Ведущее устройство PCI останавливает пакет при прекращении работы таймера ожидания или в ходе считывания, когда пакет достигает длины, указанной в регистре границы пакета предварительной выборки ведущего устройства PCI (если ведущее устройство АНВ, выполняющее доступ, не маскировано). Если ведущее устройство маскировано в данном регистре, устанавливается граница в 1 Кбайт. Ведущее устройство PCI не выполняет предварительную выборку данных, превышающих границу адреса.

Шина АНВ: Поскольку FIFO доступны для записи и данные в FIFO доступны для считывания, ведомое устройство АНВ не ограничивает длину пакета. Длина пакета для ведущего устройства АНВ ограничивается емкостью FIFO. Ведущее устройство АНВ выполняет пакет в пределах FIFO. Поддерживается только режим пакета с линейным инкрементом.

DMA: Регистр границы пакета предварительной выборки ведущего устройства АНВ или регистр границы пакета предварительной выборки ведущего устройства PCI не влияют на доступ DMA.

Заполнение всех FIFO начинается при таком же смещении слова, что и доступ к шине (т.е. если емкость FIFO – 8 слов и стартовый адрес пакета – 0x4, первое слово данных сохраняется во второй записи FIFO, при этом в данном буфере FIFO сохраняется только семь слов).

Принцип работы хост-системы

Система обеспечивает входной сигнал хост-системы, который должен быть установлен (в активном низком логическом состоянии) для выполнения операций хост-системы PCI. Статус данного сигнала указывается в регистре статуса и характеристик

через интерфейс ведомого устройства APB. Устройство генерирует циклы конфигурации PCI только при установленном сигнале (устройство является хост-системой).

Для модификаций, работающих только как хост-система или только как внешние периферийные устройства, сигнал хост-системы PCI устанавливается в низкое или высокое логическое состояние внутри модификации. Для многофункциональных модификаций сигнал должен быть соединен с выводом процессора. В этих целях в спецификации группы изготовителей промышленных компьютеров PCI (PCIMG) используется вывод C2 на коннекторе P2. Данный вывод должен иметь нагрузочные pull-up резисторы, т.к. слоты внешних периферийных устройств оставляют их неподсоединенными.

При установленном сигнале хост-системы PCI ведомое устройство PCI выдает соответствующие ответы при выполнении циклов конфигурации, если сигналы IDSEL не установлены (AD[31:11] не установлены). Это необходимо для конфигурации ведущим устройствам PCI своего ведомого PCI.

4.21.4 Интерфейс ведущего устройства PCI

Доступ к интерфейсу ведущего устройства PCI выполняется через интерфейс ведомого устройства АНВ АМБА. Интерфейс ведомого устройства АНВ занимает 256 Мбайт адресуемого пространства памяти АНВ и 128 Кбайт адресуемого пространства области ввода/вывода АНВ. Доступ к адресуемому пространству памяти АНВ переводится в цикл памяти PCI. Доступ к первым 64 Кбайтам области ввода-вывода АНВ переводится в цикл ввода/вывода PCI. Следующие 64 Кбайта переводятся в циклы конфигурации PCI.

Адресация:

- область пространства ввода-вывода 0xFFF80000 – 0xFFF8FFFF;
- область пространства конфигурации 0xFFF90000 – 0xFFF9FFFF;
- базовый адрес памяти ведущего устройства PCI 0xE0000000.

Циклы памяти

Единичный доступ считывания области памяти АНВ транслируется в доступ считывания памяти PCI, считывание пакета транслируется в доступ комплексного считывания памяти PCI. Запись в данную область памяти транслируется в доступ записи PCI.

Трансляция определяется ведущим устройством АНВ в регистрах отображения адреса PCI, доступ к которым выполняется через интерфейс ведомого устройства APB. Каждое ведущее устройство АНВ на шине АНВ АМБА имеет отдельный регистр распределения адреса. Эти регистры содержат старшие значащие биты адреса PCI.

Если ведущее устройство PCI выполняет трансляцию на шине PCI и не принимает новые запросы, интерфейс ведомого устройства АНВ выдает ответ АМБА RETRY. Это выполняется в ходе чтения при извлечении ведущим устройством PCI запрашиваемых данных для заполнения FIFO считывания или в ходе записи, если FIFO записи не доступно.

Циклы ввода-вывода

Доступ к младшим 64 Кбайтам адресуемого пространства области ввода-вывода АНВ транслируется в циклы ввода-вывода PCI. Трансляция адреса определяется регистром распределения данных с трансляцией из АНВ в PCI для области ввода-вывода PCI. В данном регистре устанавливается 16 старших значащих битов адреса PCI. Доступ к регистру распределения данных с трансляцией из АНВ в PCI для области ввода-вывода

PCI выполняется через интерфейс ведомого устройства APB. Если бит IB (пакет области ввода-вывода PCI) в регистре управления (доступ к которому выполняется через интерфейс ведомого устройства APB) сброшен, ведущее устройство PCI не выполняет доступ к области ввода-вывода.

Циклы конфигурации

Доступ к следующему 64 Кбайтовому блоку памяти (диапазон смещения адреса – от 64 Кбайт до 128 Кбайт) адресуемого пространства области ввода-вывода АНВ транслируется в циклы конфигурации PCI. Адрес АНВ транслируется в адрес конфигурации PCI, который отличается для циклов конфигурации PCI типа 0 и типа 1. Если в регистре управления поле номера шины (доступ к которому выполняется через интерфейс ведомого устройства APB) сброшено, используется тип 0 циклов конфигурации PCI. Если поле номера шины установлено, используется тип 1 циклов конфигурации PCI с определением шины PCI. Отображение адреса области ввода-вывода АНВ в адрес конфигурации для циклов конфигурации PCI типа 0 и типа 1 определяется в соответствии с таблицами 4.21.17 и 4.21.18.

Циклы конфигурации PCI генерируются только хост-системой. Устройство обеспечивает входной сигнал хост-системы, который должен быть установлен (в активном низком логическом состоянии) для операций хост-системы PCI. Статус данного сигнала отображается в регистре статуса и характеристик, доступ к которому выполняется через интерфейс ведомого устройства APB. Если бит CB (пакет конфигурации PCI) в регистре управления (доступ к которому выполняется через интерфейс ведомого устройства APB) сброшен, ведущее устройство PCI не выполняет доступ к конфигурации пакета.

Таблица 4.21.17 – Отображение адреса области ввода-вывода АНВ в цикл конфигурации PCI, тип 0

31	16 15	11 10	8 7	2 1	0
АНВ ADDRESS MSB	IDSEL	FUNC	REGISTER	BYTE	
31–16	Старшие значащие биты адреса АНВ: Не используется для отображения адреса цикла конфигурации PCI				
15–11	IDSEL: Данное поле декодируется для управления AD[IDSEL+10] PCI. Каждый сигнал AD[31:11] должен быть соединен (магистралью PCI) с одной соответствующей строкой IDSEL				
10–8	FUNC: Выбор функции многофункционального устройства				
7–2	REGISTER: Используется для индексации DWORD PCI в области конфигурации				
1, 0	BYTE: Используется для установки CBE в соответствующее состояние для доступов, которые не являются DWORD PCI				

Таблица 4.21.18 – Отображение адреса области ввода-вывода АНВ в цикл конфигурации PCI, тип 1

31	16 15	11 10	8 7	2 1	0
АНВ ADDRESS MSB	DEVICE	FUNC	REGISTER	BYTE	
31–16	Старшие значащие биты адреса АНВ: Не используется для отображения адреса цикла конфигурации PCI				
15–11	DEVICE: Выбор устройства для доступа на шине				
10–8	FUNC: Выбор функции многофункционального устройства				

7–2	REGISTER: Используется для индексации DWORD PCI в области конфигурации
1, 0	BYTE: Используется для установки CBE в соответствующее состояние для доступов, которые не являются DWORD PCI

Обработка ошибок

Если доступ считывания, открытый ведущим устройством PCI, завершается с остановкой работы ведомого или ведущего устройства, ведомое устройство АНВ генерирует ответ AMBA ERROR при установленном бите ER в регистре управления. Если бит EI в регистре управления установлен, генерируется прерывание AMBA в связи с ошибкой. Причина ошибки указывается в поле статуса прерывания в регистре управления.

4.21.5 Интерфейс ведомого устройства PCI

Ведомое устройство PCI занимает в адресуемом пространстве PCI области памяти, соответствующие регистру статусной строки в области конфигурации PCI. Регистр статусной строки BAR0 определяет размещение адресов в адресуемом пространстве PCI. Размер статусной строки устанавливается в регистре размера статусной строки и предварительной выборки, доступ к которому выполняется через расширенную область конфигурации PCI.

Поддерживаемые команды PCI

Ведомый PCI поддерживает следующие команды.

Считывание/запись конфигурации PCI: пакет и единичный доступ к области конфигурации PCI. Доступ, за исключением доступа, обозначенного в списке определяемых пользователем характеристик в расширенной области конфигурации PCI, не переводится в доступ на шине АНВ AMBA.

Считывание памяти: команда считывания в статусной строке памяти PCI переводится в доступ единичного считывания на шине АНВ AMBA.

Множественное считывание памяти, построчное считывание памяти: команда множественного считывания в статусной строке памяти PCI переводится в пакетный доступ на шине АНВ AMBA. При выполнении доступа пакета выполняется предварительная выборка данных для заполнения максимального количества данных, сохраняемых в FIFO.

Запись памяти, запись памяти с аннулированием: данные команды обрабатываются аналогично друг другу и передаются на шину АНВ AMBA, как единичный доступ или пакетный доступ, в зависимости от размера доступа PCI (единичный доступ или пакетный доступ).

Чтение области ввода-вывода: команда чтения в статусной строке области ввода-вывода PCI переводится в доступ единичного чтения на шине АНВ AMBA.

Запись области ввода-вывода: команда записи в статусной строке области ввода-вывода PCI переводится в доступ единичной записи на шине АНВ AMBA.

Реализованные ответы PCI

Ведомый PCI блокирует доступ PCI, выдавая один из следующих ответов:

Повтор: ответ указывает, что ведомый либо извлекает данные для шины АНВ AMBA в ходе считывания PCI, либо освобождает FIFO записи для записи PCI. Новый доступ чтения PCI будет всегда завершен с повтором, по крайней мере, однократно, перед тем, как PCI ведомый будет готов доставить данные.

Отключение с данными: завершение операции и передача данных на текущем этапе обработки данных. Ответ выдается, если ведущее устройство PCI запрашивает больше данных и следующее FIFO еще не доступно, или для доступа пакета PCI с выполнением команды считывания памяти.

Отключение без данных: завершение операции без передачи данных на текущем этапе обработки данных. Ответ выдается при изменении СВЕ в ходе записи пакета PCI.

Прекращение работы ведомого устройства: указывает, что в текущем доступе произошла внутренняя ошибка, при этом ведомое устройство не в состоянии завершить доступ. Ответ выдается, если система получает сообщение об ошибке на шине АНВ АМВА в ходе операции считывания.

Перевод PCI в АНВ

Статусная строка PCI имеет регистр трансляции (регистр отображения) для трансляции доступа PCI в адресуемое пространство АНВ АМВА. Доступ к данному регистру отображения выполняется через расширенную область конфигурации PCI. Количество реализованных бит в данном регистре соответствует размеру (и количеству реализованных битов) регистров BAR.

Сигнал хост-системы PCI

При установленном сигнале хост-системы ведомое устройство PCI выдает соответствующие ответы при выполнении циклов конфигурации, если сигналы IDSEL не установлены (AD[31:11] не установлены). Это выполняется для того, чтобы ведущее устройство PCI, в позиции хост-системы, было способно сконфигурировать своего ведомого PCI.

Обработка ошибок

Ведомый PCI завершает доступ с прекращением работы, если на запрос данных шины АНВ выдается сообщение об ошибке. Поскольку записи в ведомое устройство PCI являются отправленными, при возникновении ошибок записи АНВ сообщение об ошибке не выдается.

Если при завершении работы ведущего устройства PCI выдается ответ «повтор», данное ведущее устройство должно повторять выполнение данного доступа, пока доступ не завершится с прекращением работы ведомого. Если ведущее устройство не повторяет выполнение данного доступа, интерфейс ведомого устройства PCI блокируется на данном доступе и не принимает новый. Во избежание этого, ведомое устройство PCI может не учитывать доступ, если его повторное выполнение не происходит в течение 2^{15} циклов тактирования. Данный тайм-аут разрешается через регистр базового адреса области ввода-вывода АНВ и конфигурации шины PCI, находящийся в расширенной области конфигурации PCI ядра.

4.21.6 Контроллер DMA

Сервер DMA работает на базе идентификатора и использует два уровня идентификаторов.

Канал DMA

Первый уровень – линейный список идентификаторов канала DMA. Каждый идентификатор имеет ссылку на список идентификаторов данных и ссылку на следующий канал DMA. Указание последнего канала DMA должно всегда ссылаться на первый канал

DMA для обеспечения списка с закрытым циклом. Указатель должен быть выровнен до 4 слов (0x10) в памяти и иметь следующую структуру, показанную в таблицах 4.21.19 и 4.21.20.

Таблица 4.21.19 – Структура указателя канала DMA

Смещение адреса указателя	Слово указателя
0x00	Управление канала DMA
0x04	Следующий канал DMA (32-битовый адрес для указания следующего канала DMA)
0x08	Указание следующих данных в данном канале DMA (32-битовый адрес для указания следующих данных)
0x0C	Зарезервировано

Таблица 4.21.20 – Управление канала DMA

EN	–	Идентификация канала	Тип	–	Количество указателей данных					
31	30	25	24	22	21	20	19	16	15	0

- 31 Разрешение указания канала
- 30–25 Зарезервировано
- 24–22 Идентификация канала. Каждый канал DMA требует идентификацию для определения причины прерывания DMA
- 21, 20 Тип указания. 01 = указание канала DMA
- 19–16 Зарезервировано
- 15–0 Максимальное количество указателей данных, выполняемых перед переходом в следующий канал DMA. «0» указывает, что все указатели данных должны быть выполнены до перехода в следующий канал DMA

Количество разрешенных каналов DMA сохраняется в поле количества каналов DMA регистра управления DMA, доступ к которому выполняется через интерфейс ведомого устройства APB.

Идентификатор данных

Второй уровень идентификатора – список последовательных передач данных. Последний идентификатор данного списка должен быть запрещенным. Чтобы добавить новую передачу данных, запрещенный идентификатор обновляется в соответствии с передачей данных и ссылается на новый запрещенный идентификатор. Контрольное слово данного идентификатора обновляется последним для разрешения допустимого идентификатора. Для обеспечения считывания нового указателя сервером DMA необходимо обновить бит разрешения в регистре управления DMA. Идентификатор должен быть выровнен до 4 слов (0x10) в памяти и иметь следующую структуру, указанную в таблице 4.21.21. Управление данных DMA показано в таблице 4.21.22.

Таблица 4.21.21 – Структура указателя данных DMA

Смещение адреса указателя	Слово указателя
0x00	Управление данных DMA
0x04	32-битовый стартовый адрес PCI
0x08	32-битовый стартовый адрес АНВ
0x0C	Указатель следующих данных в текущем канале DMA (32-битовый адрес для указания следующих данных)

Таблица 4.21.22 – Управление данных DMA

31	30	29	28	27	22	21	20	19	18	16	15	0
EN	IE	DR	BE	–	Type	ER	–	LEN				

31	Разрешение идентификатора данных
30	Разрешение генерации прерывания
29	Направление передачи. «0»: из PCI в AMBA, «1»: из AMBA в PCI
28	Изменение порядка следования байт на шине PCI. «1» определяет шину PCI с порядком следования «сначала младший байт» для данной передачи, «0» определяет шину PCI с порядком следования «сначала старший байт» для данной передачи
27–22	Зарезервировано (должно быть сброшено)
21, 20	Тип указателя. 00 = указатель данных DMA
19	Статус ошибки
18–16	Зарезервировано
15–0	Размер передачи. Количество слов передачи: (данное поле) + 1

Передача данных

Сервер DMA сначала считывает идентификатор для первого канала DMA. Если канал DMA разрешен, считывается и выполняется первый указатель данных. После выполнения передачи идентификатор данных запрещается и статус записывается в контрольное слово. Если в ходе передачи ошибок не возникло, бит ошибки не устанавливается и поле размера передачи не меняется. Если передача завершена в связи с обнаружением ошибки, в контрольное слово устанавливается бит ошибки и в поле размера указывается область возникновения ошибки. Если ошибок не возникло, считывается и выполняется следующий идентификатор данных. После считывания неразрешенного идентификатора данных или после выполнения максимального количества идентификаторов данных идентификатор канала DMA обновляется со ссылкой на следующий идентификатор данных, при этом сервер DMA переходит в следующий канал DMA.

При обнаружении ошибки или при отсутствии разрешенных идентификаторов данных сервер DMA останавливается. Тип ошибки указывается битами 7 – 11 в регистре управления DMA. Биты типа ошибок должны быть сброшены (при записи «1») перед повторным разрешением DMA.

Прерывание

Контроллер DMA имеет бит разрешения прерывания в регистре управления DMA (доступ к которому выполняется через интерфейс ведомого устройства APB), который разрешает генерацию прерывания.

Каждый указатель данных имеет бит разрешения прерывания, определяющий необходимость генерации прерывания системой после выполнения указания.

Для получения информации о маршрутизации запроса на прерывание – см. поле режима запроса на прерывание в регистре статуса и характеристик.

4.21.7 Прерывания

Система выполняет выборку сигналов INTA-D PCI и направляет прерывание на шину APB. Сигналы INTA-D PCI соединяются с одним сигналом запроса на прерывание APB. Поле маски INT хост-системы в регистре управления используется только для выборки допустимых сигналов INT PCI.

Также доступен бит принудительного прерывания PCI в регистре управления для принудительной передачи установленного сигнала INT PCI. Когда приходит сигнал PCI ошибка системы (SERR), устанавливается бит ошибки системы в поле статуса прерывания регистра статуса. Если прерывания разрешены, генерируется прерывание на шине APB.

Номер генерируемого прерывания – 4.

4.21.8 Сброс

Отмена сигнала сброса PCI синхронизирована тактовым сигналом PCI с задержкой в три такта.

Когда модуль функционирует в режиме системного хоста, сигнал сброса АНВ задается сигналом сброса PCI.

4.21.9 Регистры

Модуль конфигурируется через регистры, размещенные на шине APB, представленные в таблицах 4.21.23 – 4.21.32.

Базовый адрес: **0x80000400**.

Таблица 4.21.23 – Регистры управления модулем PCI

Смещение адреса APB	Регистр
0x00	Управление
0x04	Статус и характеристики (только для считывания)
0x08	Граница пакета предварительной выборки ведущего устройства PCI
0x0C	Отображение АНВ в PCI для области ввода/вывода PCI
0x10	Управление и статус DMA
0x14	Базовый указатель DMA
0x18	Активный канал DMA (только для считывания)
0x1C	Зарезервировано
0x20 – 0x34	Отображение BAR в АНВ (только для считывания)
0x38	Зарезервировано
0x3C	Зарезервировано
0x40 – 0x7C	Отображение ведущего устройства АНВ в PCI адрес

Регистр управления, адрес 0x80000400

Таблица 4.21.24 – Регистр управления, адрес 0x80000400

31 30 29 28 27 26 25 24 23								16 15		11 10 9 8 7				4 3		0
R	M	T	–	S	P	E	E	Номер шины	–	I	C	D	Маска прерывания устройства	Маска прерывания хоста		
E	R	R		I	E	R	I			B	B	I				
												F				

- 31 Сброс PCI. Если бит установлен, устанавливается сигнал сброса PCI. Для снятия установки сигнала сброса PCI поле должно быть очищено
- 30 Сброс ведущего устройства PCI. Устанавливается для сброса ведущего устройства PCI. Данный бит самоочищается
- 29 Сброс ведомого устройства PCI. Устанавливается для сброса ведомого устройства PCI. Данный бит самоочищается
- 28 Зарезервировано

27	Если бит установлен, разрешено прерывание в связи с ошибкой системы (SERR)
26	Если бит установлен, разрешен ответ об ошибке АНВ в связи с ошибкой по четности
25	Если бит установлен, разрешен ответ об ошибке АНВ в связи с прекращением работы ведущего и ведомого устройств
24	Если бит установлен, разрешено прерывание в связи с прекращением работы ведущего и ведомого устройств в связи с ошибкой по четности
23–16	Если бит установлен, генерируются циклы конфигурации типа 1. Данное поле также используется, как поле номера шины для циклов конфигурации типа 1
15–11	Зарезервировано
10	Если бит установлен, ведущим устройством PCI генерируется доступ пакета для циклов области ввода-вывода PCI
9	Если бит установлен, ведущим устройством PCI генерируется доступ пакета для циклов конфигурации PCI
8	Принудительное прерывание устройства. Если бит установлен, выполняется принудительное прерывание PCI
7–4	Маска прерывания устройства. Если установлен бит[n], dirq[n] не маскировано
3–0	Маска прерывания хост-системы бит[3] = 1: INTD не маскировано бит[2] = 1: INTC не маскировано бит[1] = 1: INTB не маскировано бит[0] = 1: INTA не маскировано

Регистр статуса и характеристик, адрес 0x80000404

Таблица 4.21.25 – Регистр статуса и характеристик, адрес 0x80000404

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	12	11	8	7	5	4	2	1	0
H	M	T	D	D	H	IRQ	T	–	C	C	Core interrupt status			Host interrupt status	–	FDEPTH	FNUM					
o	S	A	M	I	I	mode	r		F	F												
s	T	R	A				a		G	G												
t							c		D	E												
							e		O	R												

31	Если бит сброшен, устройство вставляется в слот системы и работает, как хост-система
30	Режим ведущего устройства реализован
29	Режим ведомого устройства реализован
28	DMA реализован
27	Устройство управляет INTA PCI
26	Устройство выполняет выборку PCI INTA...D (для операций хост-системы)

25 – 24	Режим запроса на прерывание APB – 00 ₂ . 00 ₂ : INTA...D PCI, прерывание в связи с ошибкой и прерывание DMA при получении одного сигнала запроса на прерывание 01 ₂ : INTA...D PCI и прерывание в связи с ошибкой при получении одного сигнала запроса на прерывание. Прерывание DMA при получении сигнала запроса на прерывание IRQ + 1 10 ₂ : INTA...D PCI на прерывание IRQ...IRQ + 3. Прерывание в связи с ошибкой и прерывание DMA при получении сигнала запроса на прерывание 11 ₂ : INTA...D PCI на прерывание IRQ...IRQ + 3. Прерывание в связи с ошибкой при получении сигнала запроса на прерывание. Прерывание DMA при получении сигнала запроса на прерывание IRQ + 4
23	Буфер трассировки PCI не реализован
22 – 21	Зарезервировано
20	Доступ конфигурации PCI выполнен, статус ошибки конфигурации PCI достоверен
19	Ошибка в ходе выполнения доступа конфигурации PCI
18 – 12	Статус прерывания: бит[6]: доступ ведомого PCI не учитывается в связи с тайм-аутом (повторный доступ не выполнен в ходе 2 ¹⁵ циклов тактирования PCI) бит[5]: ошибка системы бит[4]: прерывание DMA бит[3]: ошибка DMA бит[2]: прекращение работы ведущего устройства бит[1]: прекращение работы ведомого устройства бит[0]: ошибка по четности
11 – 8	Статус прерывания хост-системы: бит[3] = 0: указывает, что INTD установлено бит[2] = 0: указывает, что INTC установлено бит[1] = 0: указывает, что INTB установлено бит[0] = 0: указывает, что INTA установлено
7 – 5	Зарезервировано
4 – 2	Количество слов в каждом FIFO равно 8 (2 ^{FIFO})
1, 0	Количество FIFO равняется 2

Ограничение пакета предварительной выборки ведущего устройства PCI, адрес 0x80000408

Таблица 4.21.26 – Ограничение пакета предварительной выборки ведущего устройства PCI, адрес 0x80000408

31	16 15	8 7	0
Немаскированный АНВ ведущий		–	Длина пакета

31–16	Если установлен бит[n], пакет предварительной выборки ведущего устройства АНВ n ограничен полем размера пакета
15–8	Зарезервировано
7–0	Максимальное количество данных (минус 1) в пакете (максимальное значение 0xFF соответствует 0x100 данных, что, в свою очередь, соответствует 1-Кбайтовому адресу)

Отображение АНВ в PCI для области ввода-вывода PCI, адрес 0x8000040C

Таблица 4.21.27 – Отображение АНВ в PCI для области ввода-вывода PCI, адрес 0x8000040C

31	16 15	0
АНВ to PCI IO		–

- 31–16 Если установлен бит[n], пакет предварительной выборки ведущего устройства АНВ n ограничен полем размера пакета
- 15–0 Зарезервировано

Регистр управления и статуса DMA, адрес 0x80000410

Таблица 4.21.28 – Регистр управления и статуса DMA, адрес 0x80000410

31	30	20	19	12	11	10	9	8	7	6	43	2	1	0
SAFE	–	CHIRQ	MA	TA	PE	AE	DE	Количество DMA каналов	ACTIVE	DIS	IE	EN		

- 31 Обеспечение безопасности для обновления полей управления. Должно быть установлено для обновления полей управления
- 30–20 Зарезервировано
- 19–12 Статус канала запроса на прерывание. Устанавливается, если указатель сконфигурирован для подачи сигнала о прерывании. Бит[0] соответствует каналу с идентификацией 0, бит[1] соответствует каналу с идентификацией 1 и т.д. Биты очищаются при записи «1»
- 11 Прекращение работы ведущего устройства в ходе выполнения доступа PCI. Бит очищается при записи «1»
- 10 Прекращение работы ведомого в ходе выполнения доступа PCI. Бит очищается при записи «1»
- 9 Ошибка по четности в ходе выполнения доступа PCI. Бит очищается при записи «1»
- 8 Ошибка в ходе выполнения доступа к данным АНВ. Бит очищается при записи «1»
- 7 Ошибка в ходе выполнения доступа к указателю. Бит очищается при записи «1»
- 6–4 Количество каналов DMA (защищено битом [31], средство обеспечения безопасности)
- 3 DMA активно (только для считывания)
- 2 Запрещение/остановка DMA. При записи «1» в данный бит DMA запрещается
- 1 Разрешение прерывания (защищено битом [31], средство обеспечения безопасности)
- 0 Разрешение/запуск DMA. При записи «1» в данный бит DMA разрешается

Регистр базового адреса указателя DMA, адрес 0x80000414

Таблица 4.21.29 – Регистр базового адреса указателя DMA, адрес 0x80000414

31	0
DMA базовый адрес указателя	

- 31–0 Базовый адрес таблицы указателей DMA. Если DMA работает, данный регистр ссылается на активный указатель

Регистр активного канала DMA, адрес 0x80000418

Таблица 4.21.30 – Регистр активного канала DMA, адрес 0x80000418

31		0
DMA базовый адрес активного канала		

31–0 Базовый адрес активного канала DMA

Регистр отображения адреса PCI BAR в АНВ, адреса 0x80000420 – 0x80000434

Таблица 4.21.31 – Регистр отображения адреса PCI BAR в АНВ, адреса 0x80000420 – 0x80000434

31		0
PCI BAR в АНВ отображение адреса		

31–0 32-битовый регистр отображения для каждого PCI BAR. Переводит доступ статусной строки PCI в базовый адрес АНВ

Регистр отображения адреса ведущего устройства АНВ в PCI-память, адреса 0x80000440 – 0x8000047C

Таблица 4.21.32 – Регистр отображения адреса ведущего устройства АНВ в PCI-память, адреса 0x80000440 – 0x8000047C

31		0
Отображение адреса ведущего устройства АНВ в PCI память		

31–0 32-битовый регистр отображения для каждого ведущего устройства АНВ. Переводит доступ из соответствующего ведущего устройства АНВ в базовый адрес PCI. Размер адресуемого пространства ведомого устройства АНВ определяет количество реализованных битов (начиная с бита 31). Нереализованные биты сбрасываются. Регистр отображения для ведущего устройства АНВ 0 расположен при смещении 0x40, для ведущего устройства АНВ 1 – при смещении 0x44 и т.д. до ведущего устройства АНВ 15 – при смещении 0x7C. Регистры отображения реализованы только для имеющихся ведущих устройств АНВ

4.22 Контроллер шины АНВ

4.22.1 Общие сведения

Согласно стандарту AMBA 2.0, контроллер АНВ AMBA (АНВCTRL) – это совмещенный арбитр АНВ, мультиплексор шины и декодер подчиненных компонентов, как показано на рисунке 4.22.1.

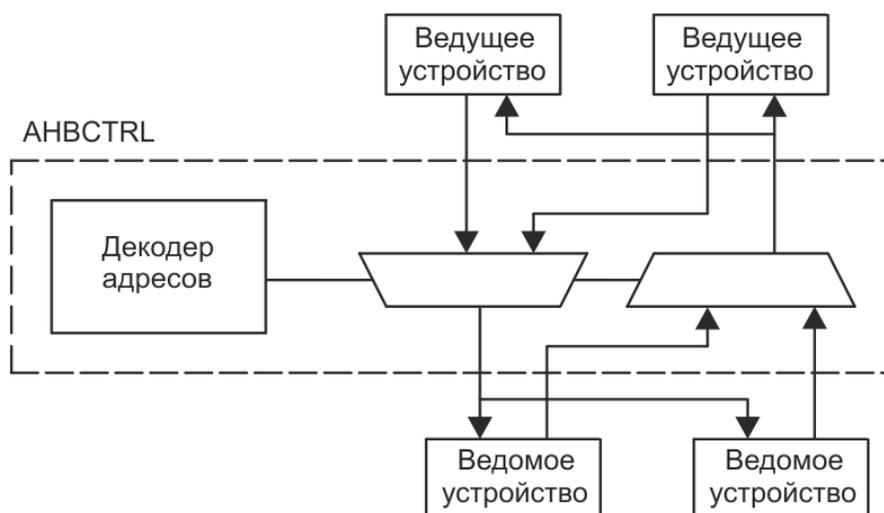


Рисунок 4.22.1 – Блок-схема контроллера АНВ

4.22.2 Принцип работы

Арбитраж (контроль доступа к общей шине)

Контроллер АНВ поддерживает алгоритм арбитража на базе циклического приоритета. В циклическом режиме приоритет сдвигается на один шаг после каждой передачи АНВ. Если ни одно ведущее устройство не запрашивает шину, выбирается последний владелец шины.

Во время инкрементируемых пакетов, согласно спецификации AMBA 2.0, ведущее устройство АНВ должно сохранять установленным запрос шины до последнего обращения, в противном случае можно потерять контроль шины. В случае пакетов фиксированной длины ведущему устройству АНВ предоставляется шина на время всего пакета, при этом ведущее устройство может сделать запрос освобождения шины сразу после запуска первого обращения.

Декодирование

Декодирование (генерация HSEL) подчиненных устройств АНВ осуществляется через использования технологии *plug & plug* (см. Приложение Б). Ведомое устройство может занять любое двоичное выровненное адресуемое пространство размером (1 - 4096) Мбайт. Также декодируется особая область ввода-вывода, в которой ведомые устройства могут занимать от 256 байт до 1 Мбайта. Адрес области ввода-вывода по умолчанию – 0xFFF00000. Доступ к неиспользуемым адресам вызовет ошибку шины АНВ.

Область ввода-вывода может быть помещена в область памяти, занятую ведомым устройством. Ведомое устройство не будет выбрано при доступе к области ввода-вывода.

Информация *plug & play*

Устройства содержат ряд информационных слов *plug & plug* как часть записей АНВ, которыми они управляют на шине (для получения дополнительной информации – см. Приложение Б). Эти записи объединены в массив данных, подключенный к модулю контроллера АНВ.

Данные *plug & plug* отображаются в область только для чтения. По умолчанию область отображения приходится на адреса 0xFFFFF000 – 0xFFFFFFFF. Данные по

ведущим устройствам находятся в первых 2 Кбайтах блока (0xFFFFF000 – 0xFFFFF800), в то время как данные по ведомым устройствам – во втором 2-Кбайтовом блоке. Каждый сегмент занимает 32 байта, как показано на рисунке 4.22.2, следовательно, в адресуемом пространстве имеется место для 64 ведущих устройств и 64 ведомых устройств. Адрес данных plug & plug конкретного сегмента определяется его индексом на шине. Таким образом, адрес для ведущих устройств – $0xFFFFF000 + (n \times 32)$, и для ведомых устройств – $0xFFFFF800 + (n \times 32)$.

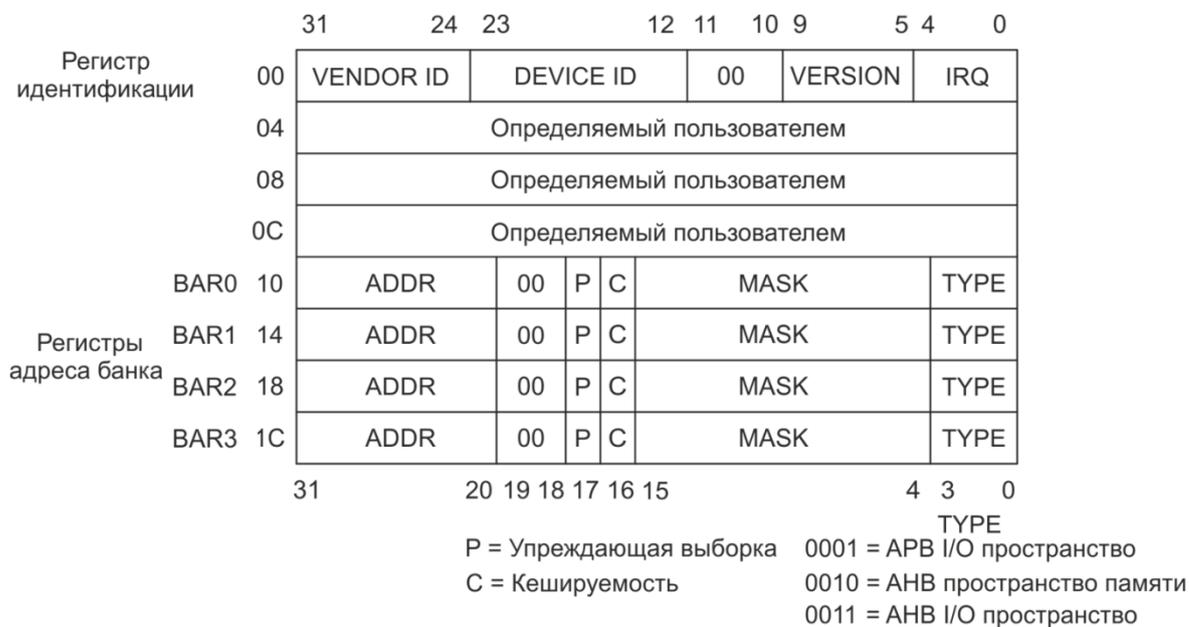


Рисунок 4.22.2 – Формат АНВ записи plug & plug

4.23 Контроллер шины APB

4.23.1 Общие сведения

Согласно стандарту AMBA 2.0 мост АНВ/APB AMBA (APBCTRL) является устройством управления шиной APB, как показано на рисунке 4.23.1. Контроллер поддерживает до 16 подчиненных устройств.

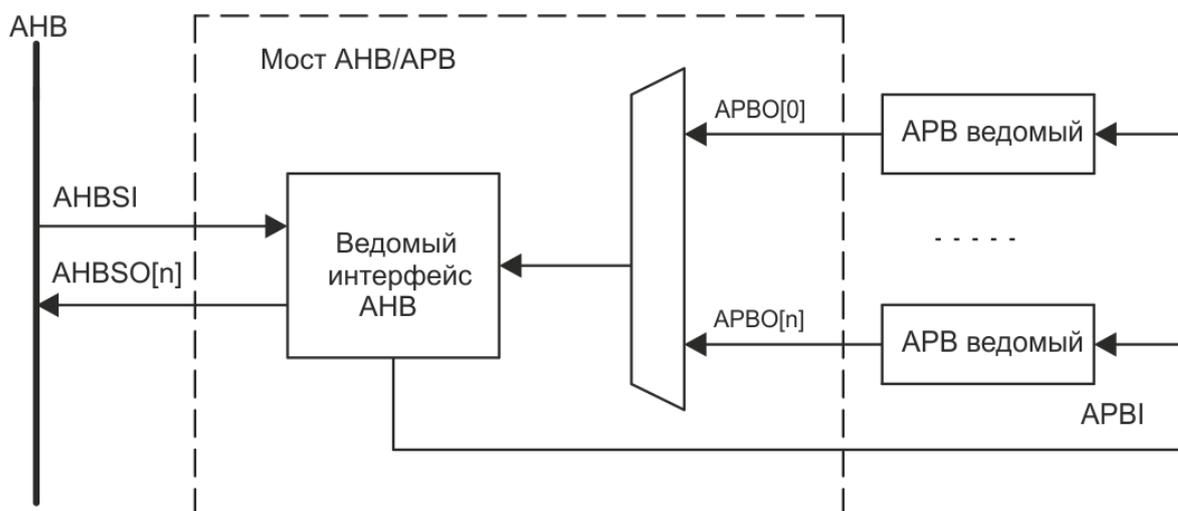


Рисунок 4.23.1 – Блок-схема моста АНВ/APB

4.23.2 Принцип работы

Декодирование

Распознавание (генерация PSEL) ведомых устройств АНВ осуществляется через использования технологии plug & plug (см. Приложение Б). Ведомое устройство может занимать любое двоичное выровненное адресуемое пространство размером 256 байт – 1 Мбайт. Записи в область, которая не определена, игнорируются, в то время как при считывании из неопределенных областей будет получено произвольное значение. Ни в одном из случаев не генерируется ошибка АНВ.

Информация plug & plug

Ведомые устройства APB содержат по два информационных слова plug & plug, которые составляют APB запись, которые и приведены на шине. Эти записи объединены в массив данных, подключенный к мосту APB.

Данные plug & plug отображаются в область только для чтения, которая располагается в старших 4 Кбайтах адресуемого пространства моста. На рисунке 4.23.2 показано, что каждый блок plug & plug занимает 8 байт. Адрес информации plug & plug для определенного модуля определяется его индексом на шине. Если за мостом закреплен адрес 0x80000000 на шине АНВ, то адреса записей plug & plug определяются следующим образом – 0x800FF000 + (n × 8).

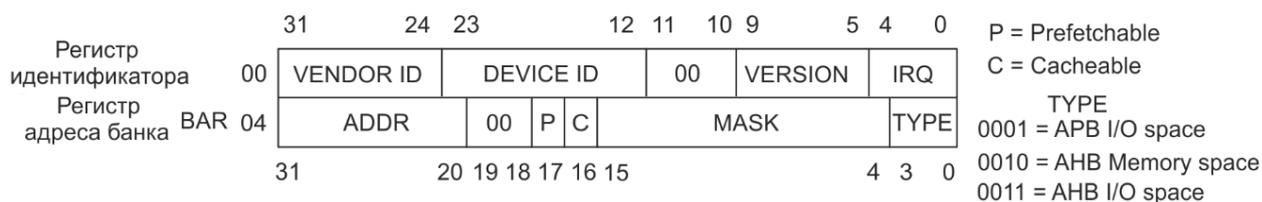


Рисунок 4.23.2 – Формат APB записи plug & plug

4.24 Цепь граничного сканирования

Для проведения тестирования выводов в процессоре 1906BM016 предусмотрен режим граничного сканирования. Управление режимом осуществляется с помощью TAP контроллера в соответствии со стандартом IEEE 1149.1. В таблице 4.24.1 приведено функциональное соответствие выводов цепи граничного сканирования.

Таблица 4.24.1 – Функциональное соответствие выводов

Вывод кристалла	Тестовое назначение
JTAG_TDI	TDI
BSD_TDO	TDO
BSD_TRST#	TRST
JTAG_TMS	TMS
JTAG_TCK	TCK

В рабочем режиме модуль управления граничным сканированием должен быть переведен в состояние логического 0, схема контроллера под сбросом. Для выполнения данного условия требуется внешняя притяжка BSD_TRST# к нулю. В таблице 4.24.2 приведены реализованные коды инструкций.

Таблица 4.24.2 – Коды инструкций

Инструкция	Код
CAPTURE	X01
EXTEST	100
SAMPLE	101
PRELOAD	101
BYPASS	111

4.25 Конфигурация процессора 1906BM016

Конфигурация процессора 1906BM016 приведена в таблицах 4.25.1 – 4.25.4.

Таблица 4.25.1 – Конфигурация ядра LEON4

Опция	Значение
Стартовый адрес	0x00000000
Количество ядер LEON4	1
Поддержка инструкций SPARC V8 MUL/DIV	да
Поддержка инструкций SPARC V8e UMAC/SMAC	да
Поддержка частичной записи WRPSR (SPARC V8e)	да
Поддержка инструкции CASA	да
Тип аппаратного умножителя	16x16
Задержка аппаратного умножителя	4 такта
Поддержка SVT (Single vector trapping)	да
Задержка загрузки	1
Количество контрольных точек данных (watchpoints)	2
Режим Power-down	да
Стартовый адрес по сбросу	0
Количество регистровых окон	8

Таблица 4.25.2 – Конфигурация кэшей

Опция	Значение
Количество уровней	1
Кэш инструкций	
Ассоциативность (количество каналов)	2
Размер канала (пути)	4 КБ
Размер строки	32 байта (8 слов)
Алгоритм замены по умолчанию	LRU
Блокировка кэша	нет
Кэш данных	
Ассоциативность (количество каналов)	2
Размер канала (пути)	4 КБ
Размер строки	16 байт (4 слова)
Алгоритм замены по умолчанию	LRU
Блокировка кэша	нет
Отслеживание шины АНВ (АНВ snooping)	да
Быстрое отслеживание (fast snooping)	да
Раздельные метки отслеживания (snoop tag)	да

Таблица 4.25.3 – Модуль управления памятью (MMU)

Опция	Значение
Тип MMU	раздельный (для инструкций и данных)
Алгоритм замены в TLB	LRU
Записи инструкций TLB	16
Записи данных TLB	16
Быстрый буфер записи	да

Таблица 4.25.4 – Отладочный модуль (DSU)

Опция	Значение
Размер буфера трассировки инструкций	1 КБ
Размер буфера трассировки шины АНВ	4 КБ
Поддерживаемые интерфейсы	RS232, JTAG, Ethernet, SpaceWire

5 Описание архитектуры

5.1 Архитектура SPARC

5.1.1 Особенности архитектуры

SPARC – архитектура системы команд (ISA) ЦПУ, разработанная на базе архитектуры RISC (архитектуры с сокращенным набором команд). Архитектура SPARC обеспечивает целый спектр реализаций микросхем и систем с хорошим соотношением цены и качества и может применяться в различных областях, включая научно-техническую сферу, программирование, работу в режиме реального времени и коммерческую область.

Цели, которые преследовались при разработке

SPARC была спроектирована для эффективной работы оптимизирующих компиляторов и удобного внедрения аппаратной конвейеризации. Реализация SPARC обеспечивает исключительно высокий уровень производительности с максимально коротким сроком внедрения.

Регистровые окна

SPARC, разработанный в Sun Microsystems в 1985 году, основан на проектах RISC I и II, спроектированных в Калифорнийском университете в Беркли с 1980 по 1982 год. Архитектура SPARC «с регистровыми окнами», впервые введенная в проектах Калифорнийского университета в Беркли, позволяет использовать простые, высокопроизводительные компиляторы и значительно сокращает количество инструкций загрузки/сохранения по сравнению с другими RISC, особенно в прикладных программах большого размера. Для таких языков, как C++, где доминирующим является объектно-ориентированное программирование, регистровые окна обеспечивают еще большее сокращение числа выполняемых инструкций. Следует отметить, что регистровые окна управляются программным обеспечением супервизора, а не пользовательскими программами. Супервизор может сохранять минимальное количество регистров (приблизительно 24) во время переключения контекста, таким образом оптимизируя период ожидания переключения контекста.

Единственным отличием SPARC и RISC I & II (Беркли) является то, что SPARC обеспечивает большую свободу компилятору при назначении регистров переменным программы. Архитектура SPARC более гибкая, потому что управление регистровыми окнами не привязано к инструкциям вызова и возврата процедуры (CALL и JMPL), в отличие от машин Беркли. Вместо этого управление регистровыми окнами осуществляется отдельными инструкциями (SAVE и RESTORE).

5.1.2 Технические характеристики

SPARC присущи следующие основные особенности:

- линейное 32-битовое адресуемое пространство;
- упрощенные форматы инструкций – все инструкции имеют размер 32 бита и выравнивание по 32-битовой границе в памяти. Существует всего три базовых формата инструкций, обеспечивающих единообразное размещение кодов операции и полей адреса регистра. Доступ к памяти и области ввода / вывода имеют только инструкции загрузки и сохранения;

- малое количество режимов адресации – адрес памяти задается через «регистр + регистр» или «регистр + непосредственное значение»;
- триады адресов регистров – большинство инструкций работают с двумя регистровыми операндами (или с одним регистром и константой) и помещают результат в третий регистр;
- большой регистровый файл, «реализуемый посредством организации окон». В каждый отдельный момент времени программа «видит» восемь глобальных целочисленных регистров, 24-х регистровое окно, принадлежащее регистровому файлу. Регистровое окно может трактоваться, как способ ускоренного доступа к аргументам процедуры, локальным значениям и адресам возврата;
- отдельный регистровый файл вещественных регистров. В программах файл может трактоваться как набор из 32 регистров одинарной точности (32-разрядных) или 16 регистров двойной точности (64-разрядных), или 8 регистров учетверённой точности (128-разрядных), или как смесь тех или иных;
- отложенная передача управления – процессор всегда производит выборку команды, следующую за командой отложенной передачи управления. Будет ли она выполнена или нет, зависит от состояния «аннулирующего» бита в инструкции передачи управления;
- быстрая обработка системных прерываний – системные прерывания осуществляют векторную передачу управления через таблицу и вызывают выделение нового регистрового окна в регистровом файле;
- инструкции с метками – инструкции сложения / вычитания с метками предполагают, что два младших значащих бита операндов являются битами метки;
- инструкции мультипроцессорной синхронизации – одна инструкция обеспечивает атомарное считывание с последующей установкой разрядов памяти, остальные позволяют выполнить атомарный обмен значения регистра с содержимым памяти;
- сопроцессор – архитектура определяет непосредственный набор инструкций, в дополнение к набору инструкций оперирующих числами с плавающей запятой.

5.1.3 Словарь терминов

Ниже приводятся определения значимых терминов и аббревиатур, используемых в данном техническом описании:

1 Текущее окно – блок из 24 регистров r , на который ссылается указатель текущего окна (CWP).

2 Инструкции операций с плавающей запятой (FPop) – это инструкции, посредством которых выполняются расчеты с плавающей запятой, в соответствии с кодами операций FPop1 и FPop2. Инструкции FPop не включают операции загрузки и сохранения между памятью и FPU.

3 «Игнорируется» – используется для описания поля инструкции, содержимое которого является произвольным и не влияет на выполнение данной инструкции. Содержимое поля «игнорируется» не будет учитываться в последующих версиях архитектуры. Смотрите также «зарезервировано» и «не используется».

4 Реализация – аппаратное или программное обеспечение, соответствует всем спецификациям ISA.

5 Архитектура набора команд (ISA) определяет инструкции, регистры, память инструкций и данных, влияние выполненных инструкций на регистры и память, а также алгоритм управления выполнением инструкций. ISA не определяет частоту тактирования, количество тактов на инструкцию, внутреннюю шину данных и т.д.

6 Счетчик команд (PC) – адрес инструкции, выполняемой в настоящее время IU.

7 Следующее значение счетчика команд (nPC) – адрес следующей инструкции для выполнения (при отсутствии системного прерывания).

8 Привилегированный – инструкция (или регистр), которая может быть выполнена (или доступ, к которой возможен), если процессор находится в режиме супервизора (при $PSR[S] = 1$).

9 Процессор – совокупность блока целочисленной арифметики (IU), блока арифметики с плавающей запятой (FPU) и сопроцессора (CP), если он представлен.

10 Обозначения rs1, rs2, rd указывают регистры операнды инструкции. Регистры rs1 и rs2 – исходные регистры; rd – регистр назначения.

11 «Зарезервировано» – используется для описания поля инструкции или регистра, зарезервированного для описания в последующих версиях архитектуры. Программному обеспечению разрешается записывать в зарезервированное поле только ноль. Аппаратное обеспечение должно считывать из зарезервированного поля ноль; программное обеспечение, предназначенное для запуска на будущих версиях SPARC, не должно предполагать, что поле будет сброшенным при считывании.

12 Режим супервизора – режим процессора, который активен, если в регистре PSR установлен бит S ($PSR[S] = 1$).

13 Программное обеспечение супервизора – программное обеспечение, выполняющееся, пока процессор находится в режиме супервизора.

14 Системное прерывание – векторная передача управления программному обеспечению супервизора через таблицу, адрес которой указан в привилегированном регистре IU (Базовом регистре системных прерываний (TBR)).

15 «Не используется» – используется для описания поля инструкции или регистра, которое на настоящий момент не определяется архитектурой. При считывании программным обеспечением значение поля регистра «не используется» не определено. Однако, поскольку поле «не используется» может быть определено в последующих версиях архитектуры, в данное поле программному обеспечению разрешено записывать только ноль. См. также «игнорируется» и «зарезервировано».

16 Режим пользователя – режим процессора, который активен, если в регистре PSR сброшен бит S ($PSR[S] = 0$).

17 Прикладная программа пользователя – программа, выполняемая процессором в режиме пользователя. Также называется «прикладная программа». Следует отметить, что определения прикладных программ пользователя в настоящем руководстве могут быть неприменимы к программам (например, отладчикам), которые имеют доступ к привилегированному режиму супервизора (например, хранятся в дампе ядра).

18 Инструкции сопроцессора (COp) – инструкции которые выполняют вычисления в сопроцессоре, определяемые кодами COp1 и COp2. COp не включают в себя инструкции загрузки и сохранения между памятью и сопроцессором.

5.2 Форматы данных

Архитектура SPARC поддерживает три элементарных формата (или типа) данных:

- целочисленные со знаком – 8, 16, 32 и 64 бита;
- целочисленные без знака – 8, 16, 32 и 64 бита;
- с плавающей запятой – 32, 64 и 128 бит.

Размер формата:

- байтовый – 8 бит;
- полуслово – 16 бит;
- слово/одно слово – 32 бита;
- слово с меткой – 32 бита (30-битовое значение плюс 2 бита с меткой);
- двойное слово – 64 бита;
- четверное слово – 128 бит.

Форматы целочисленных данных со знаком кодируются целым числом дополнительного кода. Форматы целочисленных данных без знака являются универсальными и не кодируют конкретный тип данных; они могут обозначать целое число, строковое, дробное, булево значение и т.д. Форматы данных с плавающей запятой соответствуют стандарту IEEE двоичной арифметики с плавающей запятой, стандарту ANSI/IEEE 754-1985. Форматы данных с меткой обозначают слово, в котором два младших значащих бита рассматриваются как биты метки.

На рисунке 5.2.1 представлены форматы целочисленных данных со знаком, форматы целочисленных данных без знака и форматы данных с меткой. На рисунке 5.2.2 представлены форматы данных с плавающей запятой. На рисунках 5.2.1 и 5.2.2 отдельным словам, входящим в состав многословных форматов, присвоены имена.

Организация подформатов данных в регистрах памяти и процессора на базе данных имен представлена в таблице 5.2.1. В таблицах 5.2.2 – 5.2.5 представлены форматы целочисленных данных и данных с плавающей запятой.

Целочисленный байт со знаком	7 6 0	
	S	
Целочисленное полуслово со знаком	15 14 0	
	S	
Целочисленное слово со знаком	31 30 0	
	S	
Целочисленное двойное слово со знаком SD-0	31 30 0	
	S	signed_integer[62:32]
SD-1	31 0	
		signed_integer[31:0]
Целочисленный байт без знака	7 0	
Целочисленное полуслово без знака	15 0	
Целочисленное слово без знака	31 0	
Слово с меткой	31 2 1 0	
		tag
Целочисленное двойное слово без знака UD-0	31 0	
		unsigned_integer[63:32]
UD-1	31 0	
		unsigned_integer[31:0]

Рисунок 5.2.1 – Форматы целочисленных данных со знаком, целочисленных данных без знака и данных с меткой

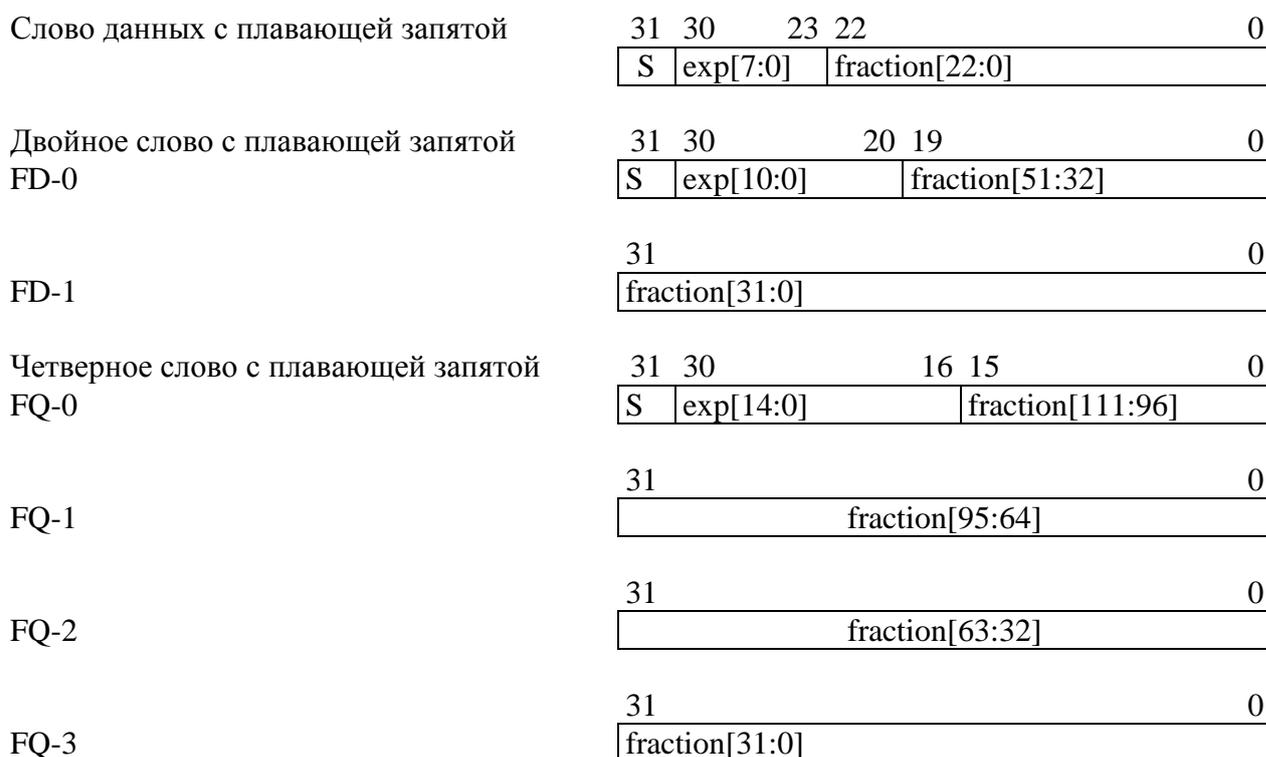


Рисунок 5.2.2– Форматы данных с плавающей запятой

Таблица 5.2.1 – Расположение двойных слов и учетверенных слов в памяти и регистрах

Имя подформата	Поле подформата	Выравнивание по адресу памяти	Адрес памяти	Выравнивание по номеру регистра	Номер регистра
SD-0	signed_integer[63:32]	0 mod 8	n	0 mod 2	r
SD-1	signed_integer[31:0]	4 mod 8	n+4	1 mod 2	r+1
UD-0	unsigned_integer[63:32]	0 mod 8	n	0 mod 2	r
UD-1	unsigned_integer[31:0]	4 mod 8	n+4	1 mod 2	r+1
FD-0	s:exp[10:0]:fraction[51:32]	0 mod 8	n	0 mod 2	r
FD-1	fraction[31:0]	4 mod 8	n+4	1 mod 2	r+1
FQ-0	s:exp[14:0]:fraction[111:96]	0 mod 8	n	0 mod 4	r
FQ-1	fraction[95:64]	4 mod 8	n+4	1 mod 4	r+1
FQ-2	fraction[63:32]	0 mod 8	n+8	2 mod 4	r+2
FQ-3	fraction[31:0]	4 mod 8	n+12	3 mod 4	r+3

Таблица 5.2.2 – Диапазон форматов целочисленных данных со знаком, целочисленных данных без знака и данных с меткой

Тип данных	Размер (биты)	Диапазон
Целочисленный байт со знаком	8	от -2^7 до 2^7-1
Целочисленное полуслово со знаком	16	от -2^{15} до $2^{15}-1$
Целочисленное слово со знаком	32	от -2^{31} до $2^{31}-1$
Целочисленное слово с меткой со знаком	32	от -2^{29} до $2^{29}-1$
Целочисленное двойное слово со знаком	64	от -2^{63} до $2^{63}-1$
Целочисленный байт без знака	8	от 0 до 2^8-1
Целочисленное полуслово без знака	16	от 0 до $2^{16}-1$
Целочисленное слово без знака	32	от 0 до $2^{32}-1$
Целочисленное слово с меткой без знака	32	от 0 до $2^{30}-1$
Целочисленное двойное слово без знака	64	от 0 до $2^{64}-1$

Таблица 5.2.3 – Определение формата одного слова с плавающей запятой

s = знак (1 бит) e = смещенный порядок (8 бит) f = мантисса (23 бита) u = не определено	
нормализованное значение ($0 < e < 255$):	$(-1)^s \times 2^{e-127} \times 1.f$
субнормальное значение ($e = 0$):	$(-1)^s \times 2^{-126} \times 0.f$
ноль ($e = 0$):	$(-1)^s \times 0$
с уведомлением о NaNs (SNaNs):	s = u; e = 255 (max); f = .0uu...uu (по крайней мере, один бит мантиссы должен быть установлен)
без уведомления о NaNs (QNaNs):	s = u; e = 255 (max); f = .1uu...uu
$-\infty$ (минус бесконечность):	s = 1; e = 255 (max); f = .000...00
$+\infty$ (плюс бесконечность):	s = 0; e = 255 (max); f = .000...00

Таблица 5.2.4 – Определение формата двойного слова с плавающей запятой

s = знак (1 бит), e = смещенный порядок (11 бит) f = мантисса (52 бита) u = не определено	
нормализованное значение ($0 < e < 2047$):	$(-1)^s \times 2^{e-1023} \times 1.f$
субнормальное значение ($e = 0$):	$(-1)^s \times 2^{-1022} \times 0.f$
ноль ($e = 0$):	$(-1)^s \times 0$
с уведомлением о NaNs (SNaNs):	s = u; e = 2047 (max); f = .0uu...uu (по крайней мере, один бит мантиссы должен быть установлен)
без уведомления о NaNs (QNaNs):	s = u; e = 2047 (max); f = .1uu...uu
$-\infty$ (минус бесконечность):	s = 1; e = 2047 (max); f = .000...00
$+\infty$ (плюс бесконечность):	s = 0; e = 2047 (max); f = .000...00

Таблица 5.2.5 – Определение формата четверного слова с плавающей запятой

s = знак (1 бит) e = смещенный порядок (15 бит) f = мантисса (112 бит) u = не определено	
нормализованное значение ($0 < e < 32767$):	$(-1)^s \times 2^{e-16383} \times 1.f$
субнормальное значение ($e = 0$):	$(-1)^s \times 2^{-16382} \times 0.f$
ноль ($e = 0$):	$(-1)^s \times 0$
с уведомлением о NaNs (SNaNs):	s = u; e = 32767 (max); f = .0uu...uu (по крайней мере, один бит мантиссы должен быть установлен)
без уведомления о NaNs (QNaNs):	s = u; e = 32767 (max); f = .1uu...uu
$-\infty$ (минус бесконечность):	s = 1; e = 32767 (max); f = .000...00
$+\infty$ (плюс бесконечность):	s = 0; e = 32767 (max); f = .000...00

5.3 Регистры

Процессор SPARC использует два типа регистров: регистры общего назначения или «рабочие» регистры данных и регистры управления / статуса. Регистры общего

назначения IU называются регистрами g; регистры общего назначения FPU называются регистрами f.

Регистры управления / статуса IU включают:

- регистр состояния процессора (PSR);
- маску недопустимости окна (WIM);
- базовый регистр системного прерывания (TBR);
- регистр умножения / деления (Y);
- счетчики команд (PC, nPC);
- зависящие от конкретной реализации вспомогательные регистры состояния (ASR);
- зависящую от конкретной реализации очередь отложенных прерываний IU.

Регистры управления / статуса FPU включают:

- регистр состояния блока арифметики с плавающей запятой (FSR);
- зависящую от конкретной реализации очередь отложенных прерываний операций с плавающей запятой (FQ).

5.3.1 Регистры IU

Регистры, реализуемые посредством организации окна

Инструкция имеет доступ к восьми глобальным регистрам и 24-регистровому окну через регистры g. Регистровое окно охватывает 8 входных и 8 локальных регистров отдельного набора регистров вместе с 8 входными регистрами смежного набора регистров, которые адресуются из текущего окна в качестве выходных регистров. Доступ к ресурсам окна показан в таблице 5.3.1. Количество окон или наборов регистров (NWINDOWS), в зависимости от реализации, может быть от 2 до 32 включительно. Здесь и далее по тексту будет рассматриваться вариант NWINDOWS = 8, который реализован в данном процессоре.

Таблица 5.3.1 – Доступ к ресурсам окна

Адрес регистра, реализуемого посредством организации окна	Адрес регистра g
входной[0] – входной[7]	r[24] – r[31]
локальный[0] – локальный[7]	r[16] – r[23]
выходной[0] – выходной[7]	r[8] – r[15]
глобальный[0] – глобальный[7]	r[0] – r[7]

Текущее окно регистров g задается через указатель на текущее окно (CWP) – 5-битовое поле регистра состояния процессора (PSR). CWP увеличивается при выполнении инструкции RESTORE (или RETT) и уменьшается на единицу при выполнении инструкции SAVE или при системном прерывании.

Переполнение или обратное переполнение окон обнаруживается через использование регистра маски недопустимости окна WIM, управляемого программным обеспечением супервизора (операционной системой).

Перекрытие окон

Каждое окно совместно использует свои входные и выходные регистры с двумя смежными окнами. Выходные регистры окна CWP + 1 доступны в качестве входных регистров текущего окна, выходные регистры текущего окна доступны в качестве входных регистров окна CWP – 1. Каждое окно использует отдельные локальные регистры, смотри рисунок 5.3.1.

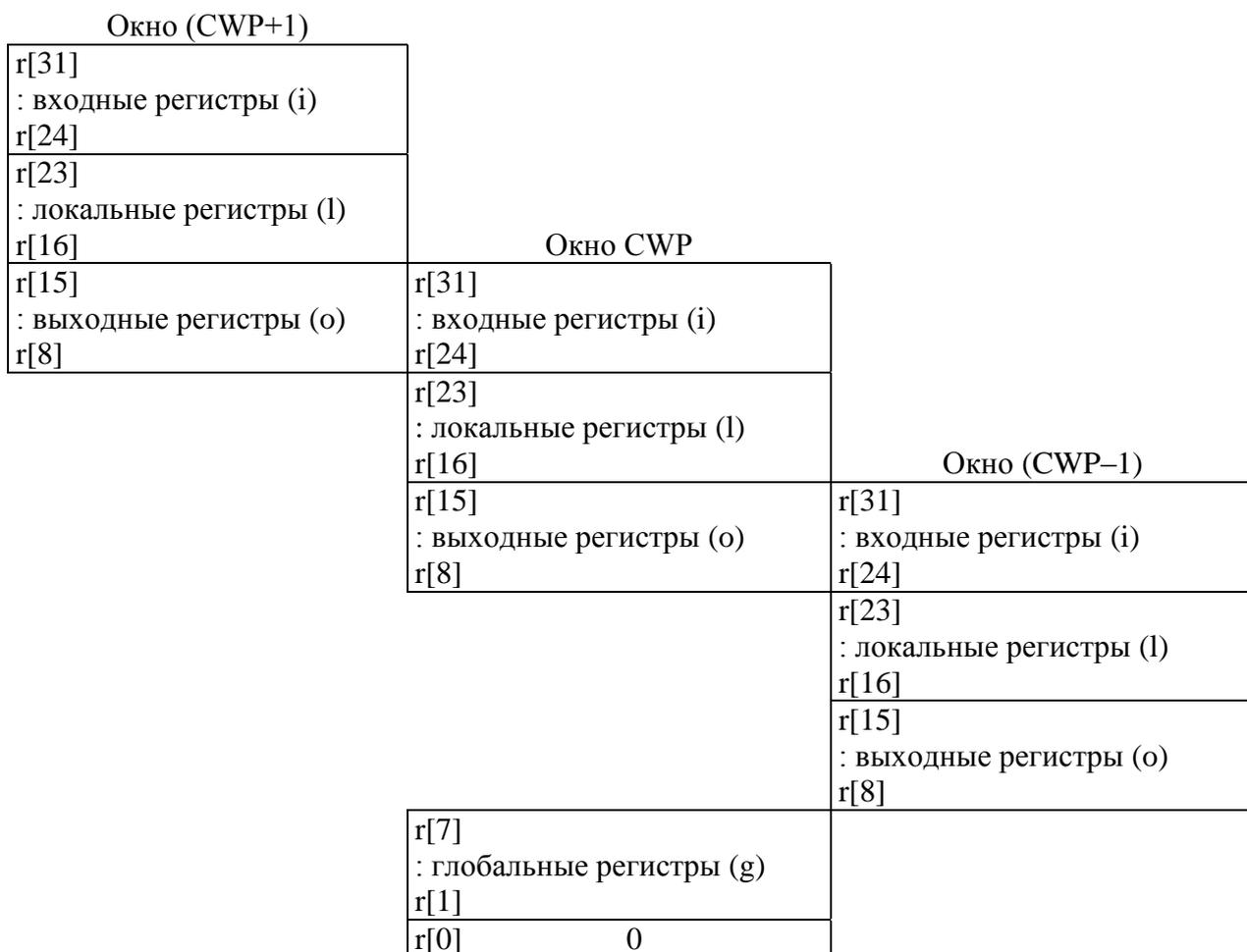


Рисунок 5.3.1 – Три перекрывающихся окна и 8 глобальных регистров

Регистр r с адресом o , где $8 \leq o \leq 15$, ссылается на такой же регистр, что и $(o + 16)$ после уменьшения CWP на 1 (по модулю 8). Точно так же регистр с адресом i , где $24 \leq i \leq 31$, ссылается на такой же регистр, что и адрес $(i - 16)$ после увеличения CWP на 1 (по модулю 8).

Поскольку операции над указателем окна CWP выполняются по модулю 8 (NWINDOWS), окно с наибольшим значением имеет перекрытие с окном 0. Выходные регистры окна 0 являются входными регистрами окна 7. Окна имеют непрерывную нумерацию в диапазоне от 0 до 7.

Замечания по программированию

Поскольку инструкции вызова процедуры (CALL и JMPL) не меняют CWP, вызов процедуры выполняется без изменения окна.

В связи с перекрытием окон их количество, доступное программно, на единицу меньше чем количество реализованных окон и равно 7 (NWINDOWS - 1). После заполнения регистрового файла выходные регистры последнего окна являются входными регистрами самого старого окна, которое по-прежнему содержит действительные программные данные.

Не стоит строить предположения о значениях, содержащихся в «локальных» и «выходных» регистрах регистрового окна при повторном входе в окно посредством инструкции SAVE. Если обработка системных прерываний разрешена, и программа выполняет RESTORE, за которым следует SAVE, то «локальные» и «выходные» регистры результирующего окна могут содержать недействительные значения, поскольку между RESTORE и SAVE могло произойти системное прерывание. Однако если системные

прерывания запрещены, то данные локальных и выходных регистров гарантированно останутся действительными.

Компоненты операции с двойными словами

Инструкции, имеющие доступ к двойному слову в регистрах *r*, выполняются с учетом выравнивания регистра чет-нечет. Младший значащий бит в адресе регистра *r* данных инструкций зарезервирован и для обеспечения соответствия должен быть сброшен программным обеспечением.

При попытке выполнения инструкции загрузки или сохранения двойного слова со ссылкой на нечетный номер регистра назначения вызовет системное прерывание `illegal_instruction`.

Специальные регистры *r*

В архитектуре полностью или частично зафиксировано использование четырех регистров *r*:

- если осуществляется доступ к *r*[0] как к входному операнду ($rs1 = 0$ или $rs2 = 0$ или $rd = 0$ для инструкции сохранения), то считывается постоянное значение 0. Если *r*[0] используется как выходной операнд ($rd = 0$, кроме инструкций сохранения), записанные данные игнорируются (значение регистров *r* не изменяется);

- при выполнении инструкции `CALL` её собственный адрес записывается в *r*[15] (выходной регистр 7);

- при выполнении системного прерывания счетчики программ `PC` и `nPC` копируются в регистры *r*[17] и *r*[18] (локальные регистры 1 и 2) нового регистрового окна системного прерывания.

Использование регистров

На рисунке [5.3.2](#) `NWINDOWS = 8`. Восемь глобальных регистров на нем не представлены. Наборы регистров обозначены жирным шрифтом. `CWP = 0` и `WIM[7] = 1`. Если процедура, использующая окно `w0`, выполняет `RESTORE`, то окно `w1` становится текущим. Если процедура, использующая окно `w0` выполняет `SAVE`, то произойдет системное прерывание `window_overflow`. Обработчик системных прерываний переполнений будет использовать локальные регистры `w7`.

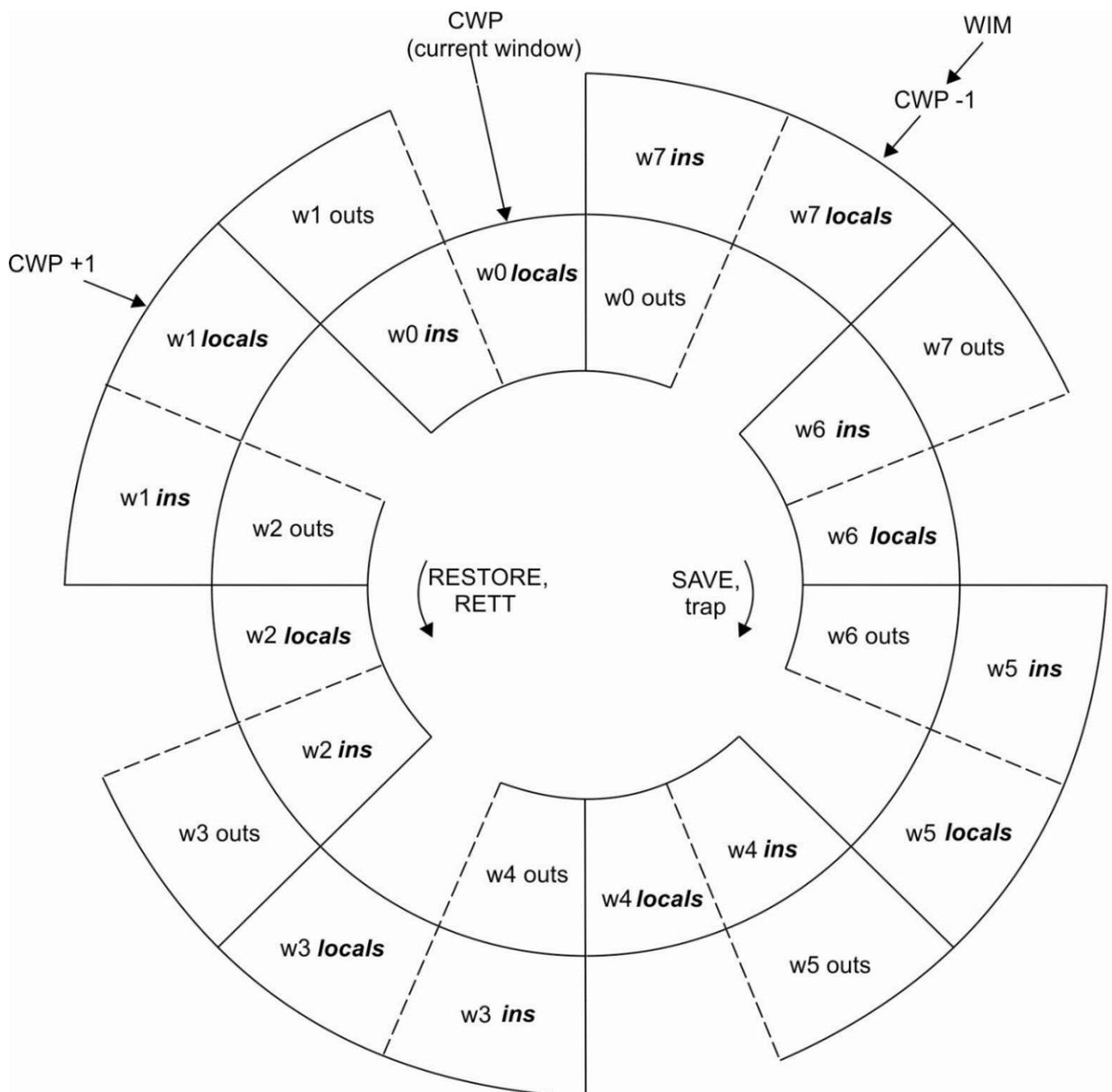


Рисунок 5.3.2 – Регистры r, реализуемые посредством организации окна

5.3.2 Регистры управления/статуса блока целочисленной арифметики (IU)

К регистрам управления/статуса IU относятся регистр состояния процессора (PSR), регистр маски недопустимости окна (WIM), базовый регистр системных прерываний (TBR), регистр умножения/деления (Y), счетчики команд (PC и pPC) и вспомогательные регистры состояния (ASR), присутствующие в зависимости от реализации, а также очередь отложенных прерываний IU.

Регистр состояния процессора (PSR)

32-битовый PSR содержит различные поля, управляющие процессором и содержащие информацию о статусе, см. таблицу 5.3.2. Модификация данного регистра выполняется с помощью инструкций SAVE, RESTORE, Ticc и RETT, а также с помощью всех инструкций, которые модифицируют условные коды. С помощью

привилегированных инструкций RDPSR и WRPSR выполняется непосредственное считывание и запись PSR.

Таблица 5.3.2 – Поля PSR

impl	ver	icc	–	EC	EF	PIL	S	PS	ET	CWP
31–28	27–24	23–20	19–14	13	12	11–8	7	6	5	4–0

PSR предусматривает следующие поля:

PSR_implementation (impl) – биты 31–28 являются жестко заданными и служат для идентификации реализации или класса реализаций архитектуры. Аппаратное обеспечение не изменяет данное поле в ответ на выполнение инструкции WRPSR. Поля PSR.impl и PSR.ver определяют уникальную реализацию или класс реализаций архитектуры.

PSR_version (ver) – биты 27–24 имеют зависимость от реализации. Поле ver может быть жестко заданным, идентифицирующим одну или более конкретную реализацию, или выполнять функцию считываемого или записываемого поля состояния, в зависимости от реализации.

PSR_integer_cond_codes (icc) – биты 23–20 являются кодами условия IU. Модификация данных битов выполняется с помощью арифметических и логических инструкций, имена которых оканчиваются буквами cc (например, ANDcc), а также с помощью инструкции WRPSR. При выполнении инструкций Bicc и Ticc выполняется передача управления на основе значений данных битов, представленных в таблице 5.3.3.

Таблица 5.3.3 – Поля целочисленных условных кодов (icc) PSR

n	z	v	c
23	22	21	20

PSR_negative (n) – бит 23 показывает, был ли отрицательным 32-битный результат работы АЛУ в дополнительном коде для последней команды, которая модифицировала поле icc. Значения: 1 = отрицательный, 0 = не отрицательный.

PSR_zero (z) – бит 22 показывает, был ли нулевым 32-битный результат работы АЛУ для последней инструкции, которая модифицировала поле icc. Значения: 1 = нулевой, 0 = не нулевой.

PSR_overflow (v) – бит 21 показывает, принадлежит ли результат заботы АЛУ диапазону 32-битного дополнительного кода (может ли он быть представлен с его помощью) для последней инструкции, которая модифицировала поле icc. Значения: 1 = переполнение, 0 = без переполнения.

PSR_carry (c) – бит 20 показывает наличие переноса (или заема) произошедшего при выполнении последней инструкции, которая модифицировала поле icc. Данный бит устанавливается при суммировании, если осуществляется перенос в бит 31. Бит переноса устанавливается при вычитании, если осуществляется заем из бита 31. Значения: 1 = перенос, 0 = без переноса.

PSR_reserved – биты (19–14) зарезервированы. При считывании с помощью инструкции RDPSR данные биты сброшены. Для обеспечения совместимости с последующими версиями супервизор программно должен выдавать инструкции WRPSR с нулевыми значениями в данном поле.

PSR_enable_coprocessor (EC) – бит 13 определяет разрешено ли использование сопроцессора (он может присутствовать или нет, в зависимости от реализации). Если не разрешено, при выполнении инструкции сопроцессора возникнет системное прерывание. Значения: 1 = разрешено, 0 = не разрешено. Если в реализации нет аппаратной поддержки сопроцессора, то PSR.EC всегда должен считываться как 0, запись в него должна быть проигнорирована.

PSR_enable_floating-point (EF) – бит 12 определяет разрешение FPU. Если не разрешено, срабатывает системное прерывание при выполнении инструкции с плавающей запятой. Значения: 1 = разрешено, 0 = не разрешено. Если в реализации нет аппаратной поддержки FPU, то PSR.EF всегда должен считываться как 0, запись в него должна быть проигнорирована.

Замечания по программированию

Программное обеспечение может использовать биты EF и EC для определения наличия FPU или CP в конкретном процессоре. Если процесс не использует FPU / CP, то при переключении контекста сохранение их регистров не требуется.

PSR_proc_interrupt_level (PIL) – биты 11 (старший значащий бит) – 8 (младший значащий бит) определяют уровень прерывания, при превышении которого процессор будет реагировать на прерывание.

PSR_supervisor (S) – бит 7 определяет режим процессора: режим супервизора или пользователя. Значения: 1 = режим супервизора, 0 = режим пользователя.

PSR_previous_supervisor (PS) – бит 6 содержит значение бита S на момент срабатывания последнего системного прерывания.

PSR_enable_traps (ET) – бит 5 определяет, разрешены ли системные прерывания. Системное прерывание автоматически сбрасывает бит ET. Если ET = 0, внешние прерывания игнорируются, остальные исключения приводят к остановке выполнения инструкций IU, что обычно приводит к осуществлению системного прерывания reset, которое возобновляет исполнение инструкций с адреса 0. Значения: 1 = системные прерывания разрешены, 0 = системные прерывания не разрешены.

PSR_current_window_pointer (CWP) – биты 4 (старший значащий бит) – 0 (младший значащий бит) содержат указатель на текущее окно, счетчик, определяющий текущее окно регистров r. Значение CWP аппаратно уменьшается в случае системного прерывания и при выполнении инструкций SAVE и увеличивается при выполнении инструкций RESTORE и RETT (по модулю NWINDOWS).

Регистр маски недопустимости окна (WIM)

Регистр маски недопустимости окна (WIM) управляется программно супервизором и используется аппаратно для определения генерации системных прерываний переполнения или обратного переполнения окна вызванных выполнением инструкции SAVE, RESTORE или RETT. Формат регистра приведен в таблице 5.3.4.

Таблица 5.3.4 – Поля WIM

W31	W30	W29	...	W2	W1	W0
31	30	29		2	1	0

Для каждого реализованного набора регистров или регистрового окна в WIM имеется бит активного статуса. WIM[n] соответствует набору регистров, доступ к которому выполняется при CWP = n.

При выполнении инструкции SAVE, RESTORE или RETT текущее значение CWP сравнивается с WIM. Если инструкция SAVE, RESTORE или RETT приведет к тому, что CWP будет указывать на «недопустимый» набор регистров, т.е. набор регистров, соответствующий бит WIM которого равен 1 (WIM[CWP] = 1), то сработает системное прерывание window_overflow или window_underflow.

Считывание WIM выполняется с помощью привилегированной инструкции RDWIM, запись выполняется с помощью привилегированной инструкции WRWIM. Биты, соответствующие нереализованным окнам, считываются как сброшенные, при этом значения, записанные в нереализованные биты, игнорируются. Если через WRWIM записать значение состоящее из всех единиц, то при последующем считывании RDWIM

выдаст битовый вектор, в котором реализованные окна (и только они) будут обозначены единицами.

Базовый регистр системных прерываний (TBR)

Базовый регистр системных прерываний (TBR) содержит три поля, вместе равных адресу, по которому передается управление при срабатывании системного прерывания, как показано в таблице 5.3.5.

Таблица 5.3.5 – Поля TBR

TBA	tt	zero
31–12	11–4	3–0

TBR предусматривает следующие поля:

TBR_trap_base_address (TBA) – биты 31–12 определяют базовый адрес системных прерываний, который устанавливается программным обеспечением супервизора. Он содержит 20 старших значащих битов адреса таблицы системных прерываний. Запись в поле TBA выполняется с помощью инструкции WRTBR.

TBR_trap_type (tt) – биты 11–4 определяют поле типа системного прерывания (tt). Запись в данное 8-битовое поле выполняется аппаратно при срабатывании системного прерывания, при этом значение сохраняется до следующего системного прерывания. Данное поле обуславливает смещение в таблице системных прерываний. При выполнении инструкции WRTBR поле tt не изменяется.

TBR_zero (0) – биты 3–0 сброшены. При выполнении инструкции WRTBR данное поле не изменяется. Для обеспечения совместимости с последующими версиями супервизор программно должен выполнять инструкцию WRTBR только с нулевым значением в данном поле.

Для получения дополнительной информации – см. подраздел «5.4 Системные прерывания».

Регистр умножения/деления (Y)

32-битовый регистр Y содержит старшее значащее слово произведения с удвоенной точностью целочисленного умножения, полученное в результате выполнения инструкции целочисленного умножения (SMUL, SMULcc, UMUL, UMULcc) или подпрограммы, которая использует инструкции поэтапного целочисленного умножения (MULSc). Регистр Y сохраняет старшее значащее слово делимого с удвоенной точностью при выполнении инструкции целочисленного деления (SDIV, SDIVcc, UDIV, UDIVcc).

Запись и считывание регистра Y выполняется с помощью инструкций RDY и WRY.

Счетчики команд (PC, nPC)

32-битовый регистр PC содержит адрес текущей инструкции, выполняемой IU. Регистр nPC содержит адрес следующей инструкции (при условии отсутствия системного прерывания).

В случае передачи управления с задержкой инструкция, непосредственно следующая за инструкцией передачи, называется отложенной инструкцией. Отложенная инструкция выполняется (если инструкция передачи управления не аннулирует ее) до передачи управления адресату. При выполнении отложенной инструкции nPC указывает на адресата инструкции передачи управления, в то время как PC указывает на саму отложенную инструкцию.

PC считывается инструкциями CALL или JMPL. PC и nPC записываются в два локальных регистра при срабатывании системного прерывания.

Вспомогательные регистры состояния (ASR)

Архитектура SPARC предусматривает до 31-го вспомогательного регистра состояния (ASR), пронумерованных от «1» до «31».

ASR от «1» до «15» зарезервированы для дальнейшего использования архитектурой; программно не используются.

ASR от «16» до «31» доступны в зависимости от реализации: для таймеров, счетчиков, диагностических регистров, регистров самотестирования и регистров управления системными прерываниями. Конкретная реализация IU - иметь от 0 до 16 таких ASR. Семантика доступа к ASR зависит от реализации. Привилегированность конкретного вспомогательного регистра состояния зависит от реализации.

Считывание и запись ASR выполняется с помощью инструкций RDASR и WRASR. Инструкция считывания/записи ASR привилегированная, если регистр, к которому выполняется доступ, привилегирован.

Очередь отложенных прерываний IU

Микропроцессор может содержать от нуля и более очередей отложенных прерываний. Такие очереди содержат достаточно состояний для реализации отложенных прерываний, вызванных IU. Следует отметить, что отложенные системные прерывания `fp_exception` и `sr_exception` обрабатываются очередями отложенных системных прерываний устройства с плавающей запятой и сопроцессора соответственно.

Считывание и запись очередей отложенных прерываний IU выполняется с помощью привилегированных инструкций выбора загрузки/сохранения в альтернативное адресное пространство или считывания/записи вспомогательных регистров состояния.

Содержимое и функционирование очередей отложенных прерываний зависит от реализации и не видимо для прикладных программ пользователя.

5.3.3 Регистры FPU

FPU содержит тридцать два 32-битовых регистра `f` с плавающей запятой, которые пронумерованы от `f[0]` до `f[31]`. В отличие от регистров `r`, реализуемых посредством организации окна, в каждый момент времени инструкция имеет доступ к любому из 32 регистров `f`. Считывание и запись в регистры `f` выполняется с помощью инструкций `FPop` (формата `FPop1/FPop2`), а также инструкций загрузки/сохранения данных с плавающей запятой одинарной/двойной точности (`LDF`, `LDDF`, `STF`, `STDF`), см. таблицу 5.3.6.

Таблица 5.3.6 – Регистры `f`

	<code>f[31]</code>
	<code>f[30]</code>
	:
	<code>f[1]</code>
	<code>f[0]</code>

31

0

Операнды двойной и четверной точности

Один регистр `f` может сохранять один операнд одинарной точности. Операнд двойной точности требует выровненную по адресу пару регистров `f`, операнд четверной точности требует четыре выровненных по адресу регистра `f`. Таким образом, в каждый момент времени регистры `f` могут хранить до 32 операндов одинарной точности, до 16 операндов двойной точности или до восьми операндов четверной точности.

Инструкции, имеющие доступ к данным с плавающей запятой удвоенной точности в регистрах *f*, предполагают выравнивание адреса. Младший значащий бит спецификатора адреса двойного слова регистров *f* зарезервирован и должен быть сброшен программными средствами. Аналогично два младших значащих бита спецификатора адреса четверного слова регистров *f* зарезервированы и должны быть программно сброшены, см. таблицу 5.3.7.

Таблица 5.3.7 – Таблица данных с плавающей запятой двойной и четверной точности в регистрах *f*

Имя подформата	Поля формата	Адрес регистра <i>f</i>
FD-0	s:exp[10:0]:fraction[51:32]	0 по модулю 2
FD-1	fraction[31:0]	1 по модулю 2
FQ-0	s:exp[14:0]:fraction[111:96]	0 по модулю 4
FQ-1	fraction[95:64]	1 по модулю 4
FQ-2	fraction[63:32]	2 по модулю 4
FQ-3	fraction[31:0]	3 по модулю 4

Рекомендуется (но не является обязательным), в ответ на попытку выполнения инструкции, использующей не выровненный регистр *f* в качестве операнда (для операнда двойной точности регистр, номер которого по модулю 2 не равен нулю, или для операнда четверной точности регистр, номер которого по модулю 4 не равен нулю), срабатывало системное прерывание *fp_exception* с *FSR.ftt = 6* (*invalid_fp_register*).

5.3.4 Регистры управления/статуса FPU

К регистрам управления/статуса FPU относятся 32-битовые регистр состояний операций с плавающей запятой (FSR), в котором содержится информация о режиме и статусе FPU, а также, присутствующую или нет в зависимости от реализации, очередь отложенных прерываний операций с плавающей запятой (FQ).

Регистр состояния операций с плавающей запятой (FSR)

Поля регистра FSR содержат информацию о режиме и состоянии FPU (см. таблицу 5.3.8). Считывание и запись в FSR выполняется с помощью инструкций STFSR и LDFSR.

Таблица 5.3.8 – Поля FSR

RD	u	TEM	NS	res	ver	ftt	qne	u	fcc	aexc	sexc
31–30	29–28	27–23	22	21–20	19–17	16–14	13	12	11–10	9–5	4–0

FSR предусматривает следующие поля:

FSR_rounding_direction (RD) – биты 31, 30 определяют направление округления результатов операций с плавающей запятой в соответствии со стандартом ANSI/IEEE 754-1985 (как показано в таблице 5.3.9).

Таблица 5.3.9 – Поле направления округления (RD) FSR

RD	Округление до:
0	ближайшего значения (четного, с привязкой)
1	0
2	+ ∞
3	– ∞

FSR_unused (u) – биты 29, 28 и 12 не используются. Для обеспечения совместимости с последующими версиями программному обеспечению необходимо использовать инструкцию LDFSR с нулевыми значениями в данных битах.

FSR_trap_enable_mask (TEM) – биты 27–23 являются битами разрешения для каждого из пяти исключений с плавающей запятой, которые могут быть выставлены в поле current_exception (сехс). Если инструкция операции с плавающей запятой генерирует одно или несколько исключений, а бит TEM, соответствующий одному или нескольким из исключений, установлен, срабатывает системное прерывание fp_exception. Нулевое значение TEM предотвращает генерацию системного прерывания при конкретном типе исключений.

FSR_nonstandard_fp (NS) – если бит 22 установлен, то результат работы FPU зависит от конкретной реализации, и может не соответствовать стандарту ANSI/IEEE 754-1985. Например, для повышения производительности субнормальные операнды или результаты с плавающей запятой могут конвертироваться в ноль, если установлен бит NS.

FSR_reserved (res) – биты 21 и 20 зарезервированы. При считывании с помощью инструкции STFSR данные биты читаются как «0». Для обеспечения совместимости с последующими версиями программному обеспечению необходимо использовать инструкцию LDFSR с нулевыми значениями в данных битах.

FSR_version (ver) – биты 19 – 17 идентифицируют одну или более конкретных реализаций архитектуры FPU. Для каждой реализации SPARC IU (в соответствии со значениями полей PSR.impl и PSR.vers), может быть одна или более реализации FPU, или реализации FPU могут отсутствовать. Данное поле идентифицирует конкретную реализацию FPU. Номер версии 7 зарезервирован для обозначения того, что аппаратно реализованный контроллер операций с плавающей запятой отсутствует.

FSR_floating-point_trap_type (ftt) – биты 16 – 14 идентифицируют типы системных прерываний при выполнении операций с плавающей запятой. После возникновения исключения операции с плавающей запятой, поле ftt кодирует тип данного исключения, пока не будет выполнена инструкция STFSR или FPop.

Считывание поля ftt выполняется с помощью инструкции STFSR. Инструкция LDFSR не оказывает влияния на ftt.

Программное обеспечение, которое обрабатывает системные прерывания с плавающей запятой, в режиме супервизора для определения типа системного прерывания с плавающей запятой должно выполнить STFSR. Сброс ftt в явной форме с помощью STFSR зависит от реализации; если ftt не сбрасывается с помощью STFSR, то обработчик системного прерывания должен гарантировать, что при выполнении последующего STFSR из режима пользователя прочитанное значение ftt будет нулевым.

Замечания по программированию

Инструкция LDFSR не может быть использована для сброса ftt, поскольку она не изменяет значение данного поля. Однако выполнение команды FPop не генерирующей системного прерывания, например «fmovs %f0,%f0», до возврата в режим пользователя приведет к обнулению ftt. Значение ftt остается действительным, пока не будет выполнена следующая инструкция FPop.

Данное поле кодирует тип ошибок в соответствии с таблицей 5.3.10. Следует отметить, что значение 7 зарезервировано для последующих версий.

Таблица 5.3.10 – Поле типов системных прерываний с плавающей запятой (ftt) FSR

ftt	Тип системного прерывания
0	нет
1	IEEE_754_exception
2	unfinished_FPop

Окончание таблицы 5.3.10

ftt	Тип системного прерывания
3	unimplemented_FPop
4	sequence_error
5	hardware_error
6	invalid_fp_register
7	зарезервировано

При нормальном ходе выполнения вычислений не предполагается возникновение системных прерываний типа `sequence_error` и `hardware_error`. С точки зрения пользовательских приложений, после данных прерываний восстановление работы невозможно.

Напротив, при нормальном ходе вычислений ожидается эпизодическое срабатывание системных прерываний типа `IEEE_754_exception`, `unfinished_FPop` и `unimplemented_FPop`. Программное обеспечение супервизора должно быть готово восстановить работу после них. Когда происходит системное прерывание операции с плавающей запятой (с точки зрения пользовательского обработчика сигнала (системного прерывания)):

- значение `aexc` не изменяется;
- значение `sexc` не изменяется, кроме тех случаев, когда при `IEEE_754_exception` устанавливается именно тот один бит, который соответствует захватываемому исключению. Исключения операций с плавающей запятой `unfinished_FPop`, `unimplemented_FPop` и `sequence_error` не оказывают влияния на `sexc`;
- исходные регистры `f` не изменяются (обычно реализована и неизменность регистров назначения `f`);
- значение `fsc` не изменяется.

Все выше обозначенное относится к результату, доступному для пользовательского обработчика сигнала при сигнализации об IEEE исключении, непосредственно после `IEEE_754_exception` или после восстановления работы в случае `unfinished_FPop` или `unimplemented_FPop`. В любом случае, в поле `sexc`, как видно обработчику системного прерывания, будет отображать исключение, вызвавшее системное прерывание.

В случае системных прерываний `unfinished_FPop` и `unimplemented_FPop`, которые впоследствии не генерируют IEEE исключения, от программного обеспечения, восстанавливающего работу, ожидаются действия по определению `sexc`, `aexc` и либо регистр назначения `f`, либо `fsc`, соответственно.

`ftt = IEEE_754_exception` – системное прерывание типа `IEEE_754_exception` операции с плавающей запятой обозначает, что при выполнении операции с плавающей запятой произошла исключительная ситуация в соответствии со стандартом ANSI/IEEE 754-1985. Тип системного прерывания кодируется в поле `sexc`. Следует отметить, что `aexc`, `fsc` и регистр назначения `f` не изменяются системным прерыванием `IEEE_754_exception`.

`ftt = unfinished_FPop` – `Unfinished_FPop` обозначает, что FPU в данной реализации не может сгенерировать правильные результаты или исключения в соответствии со стандартом ANSI/IEEE 754-1985. В данном случае поле `sexc` не изменяется.

`ftt = unimplemented_FPop` – `Unimplemented_FPop` обозначает, что реализованный FPU декодировал FPop, которая не реализована. В данном случае поле `sexc` не меняется.

Замечания по программированию

В случае срабатывания системного прерывания операции с плавающей запятой типа `unfinished_FPop` или `unimplemented_FPop` программное обеспечение обязано эмулировать или повторно выполнить инструкцию, вызвавшую исключение, а также обновить FSR, регистр(-ы) назначения `f` и `fsc`.

`ftt = sequence_error` – `Sequence_error` обозначает одно из трех аномальных условий ошибки в FPU, каждое из которых вызывается некорректной работой программного обеспечения супервизора:

- попытка выполнения инструкции STDFQ в реализации, в которой отсутствует очередь отложенных прерываний с плавающей запятой (FQ);

- попытка выполнения инструкции с плавающей запятой, которую FPU не может принять. Этот тип `sequence_error` возникает из-за логической ошибки в программном обеспечении супервизора, которая вызвала неполную обработку предыдущего системного прерывания с плавающей запятой (например, очередь с плавающей запятой не была опустошена после предыдущего исключения с плавающей запятой);

- попытка выполнения инструкции STDFQ при пустой очереди отложенных прерываний с плавающей запятой (FQ), т.е. при `FSR.qne = 0`. (Следует отметить, что генерация `sequence_error` в данном случае рекомендуется, но не является обязательной).

Замечания по программированию

Если в процессе выполнения пользовательского кода возникает исключение `fp_exception` с типом `sequence_error` (в виду вышеперечисленных условий), восстановление состояния достаточного для продолжения выполнения пользовательского приложения может оказаться невозможным.

`ftt = hardware_error` – `hardware_error` обозначает, что FPU обнаружил серьезную внутреннюю ошибку, например, недопустимое состояние или ошибку по четности при выполнении доступа к регистру `f`.

Если в процессе выполнения пользовательского кода возникает исключение `hardware_error`, восстановление состояния достаточного для продолжения выполнения пользовательского приложения может оказаться невозможным.

`ftt = invalid_fp_register` – тип системного прерывания `invalid_fp_register` обозначает невыравнивание одного (или более) операндов FPop, т.е. номер регистра с удвоенной точностью – не 0 по модулю 2 или номер регистра с учетверенной точностью – не 0 по модулю 4. В данном случае рекомендуется генерация системного прерывания `fp_exception` с `FSR.ftt = invalid_fp_register`, но в реализации может быть принято решение не генерировать данное системное прерывание.

`FSR_FQ_not_empty (qne)` – бит 13 указывает, является ли необязательная очередь отложенных системных прерываний с плавающей запятой (FQ) пустой после отложенного системного прерывания `fp_exception` или после выполнения инструкции сохранения двойного слова в очередь операций с плавающей запятой (STDFQ). Если `qne = 0`, то очередь пуста; если `qne = 1`, очередь не пуста.

Считывание бита `qne` может быть выполнено с помощью инструкции STFSR. Инструкция LDFSR не изменяет `qne`. Однако выполнение следующих одна за другой инструкций STDFQ приведет (в итоге) к опустошению FQ (`qne = 0`). Если FQ не реализован, данный бит считывается, как сброшенный. Программное обеспечение супервизора должно обеспечивать, чтобы в пользовательском режиме данный бит всегда считывался, как сброшенный.

`FSR_fp_condition_codes (fcc)` – биты 11 и 10 содержат код условия FPU. Обновление данных битов выполняется с помощью инструкций сравнения с плавающей запятой (FCMP и FCMPE). Считывание и запись выполняется с помощью инструкций STFSR и LDFSR соответственно. Передача управления инструкциями FBfcc базируется на значении данного поля.

В таблице 5.3.11 `frs1` и `frs2` соответствуют регистру `f` одинарной, удвоенной или учетверенной точности, указанных в полях `rs1` и `rs2` инструкции. Знак вопроса «?» обозначает неупорядоченное отношение, которое имеет место быть, если либо `frs1`, либо `frs2` является NaN с уведомлением (SNaN) или NaN без уведомления (QNaN). Следует отметить, что `fcc` не изменяется, если FCMP или FCMPE генерирует системное прерывание `IEEE_754_exception`.

Таблица 5.3.11 – Поле код условия операций с плавающей запятой (fcc) регистра FSR

fcc	Отношение
0	$f_{rs1} = f_{rs2}$
1	$f_{rs1} < f_{rs2}$
2	$f_{rs1} > f_{rs2}$
3	$f_{rs1} ? f_{rs2}$ (не упорядочено)

FSR_accrued_exception (aexc) – биты 9–5 аккумулируют исключения операций с плавающей запятой стандарта IEEE_754, пока системные прерывания fp_exception запрещены через механизм поля TEM. Формат записи приведен в таблице 5.3.13. После выполнения FPop над полями TEM и sexc выполняется операция логического И. Если результат ненулевой, генерируется системное прерывание fp_exception; в противном случае, новое поле sexc через операцию логического ИЛИ заносится в поле aexc. Таким образом, пока системное прерывание маскировано, исключения аккумулируют в поле aexc.

FSR_current_exception (sexc) – биты 4–0 обозначают, что последняя выполненная инструкция FPop сгенерировала одно или более исключений операций с плавающей запятой стандарта IEEE_754. Отсутствие исключения сбрасывает соответствующий бит. Формат записи приведен в таблице 5.3.14.

Биты sexc устанавливаются при выполнении FPop, которые либо не вызывают системное прерывание, либо вызывают системное прерывание fp_exception с FSR.ftt = IEEE_754_exception. Рекомендуется, чтобы IEEE_754_exception, которые генерируют системные прерывания, вызвали установку только одного определенного бита в FSR.sexc, соответствующего обнаруженному исключению IEEE 754. Если выполнение FPop вызывает системное прерывание, отличное от fp_exception, обусловленного стандартом IEEE 754, то FSR.sexc остается неизменным.

Поля исключений с плавающей запятой

Поля текущих (sexc) и накопленных (aexc) исключений, а также маска разрешения системного прерывания (TEM), подразумевают порядок условий исключений операций с плавающей запятой (согласно стандарту ANSI/IEEE 754-1985), отображенный в таблицах 5.3.12 – 5.3.14.

Таблица 5.3.12 – Поля маски разрешения системного прерывания (TEM) регистра FSR

NVM	OFM	UFM	DZM	NXM
27	26	25	24	23

Таблица 5.3.13 – Поля накопленных битов исключений (aexc) регистра FSR

nva	ofa	ufa	dza	nxa
9	8	7	6	5

Таблица 5.3.14 – Поля текущих битов исключений (sexc) регистра FSR

nvc	ofc	ufc	dzc	nxc
4	3	2	1	0

FSR_invalid (nvc, nva) – операнд не подходит для выполнения операции. Например, деление 0 на 0 и вычитание ∞ из ∞ не допустимы. 1 = недопустимый операнд, 0 = допустимый операнд(-ы).

FSR_overflow (ofc, ofa) – округленный результат по абсолютному значению превышает максимальное нормализованное значение для заданного формата. 1 = переполнение, 0 = переполнения не наблюдается.

FSR_underflow (ufc, ufa) – округленный результат неточен и по абсолютному значению меньше минимального нормализованного значения для заданного формата. 1 = обратное переполнение, 0 = обратного переполнения не наблюдается.

Обратное переполнение ни при каких обстоятельствах не будет установлено, если точный неокругленный результат равен нулю. В противном случае возможны два варианта:

Если UFM = 0: биты ufc и ufa будут установлены, если точный неокругленный результат операции по абсолютному значению меньше наименьшего возможного нормализованного значения и корректно округленный результат неточен. Данные биты будут установлены, если точный неокругленный результат операции по абсолютному значению меньше наименьшего возможного нормализованного значения, но точный округленный результат является наименьшим нормализованным числом. Также всегда устанавливаются pxc и pxa.

Если UFM = 1: системное прерывание IEEE-754_exception произойдет, если точный неокругленный результат операции по абсолютному значению меньше наименьшего возможного нормализованного значения и корректно округленный результат неточен. Системное прерывание произойдет, если точный неокругленный результат операции по абсолютному значению меньше наименьшего возможного нормализованного значения, но точный округленный результат является наименьшим нормализованным числом.

FSR_division-by-zero (dzc, dza) – деление X на 0, где X субнормальное или нормализованное число. Следует отметить, что при делении 0 на 0 бит dzc не устанавливается. 1 = деление на ноль, 0 = без деления на ноль.

FSR_inexact (nxc, pxa) – округленный результат операции отличается от бесконечно точного результата. 1 = неточный результат, 0 = точный результат.

Соответствие FSR

В конкретной реализации поля TEM, sexc и aexc могут быть интегрированы в устройство одним из двух способов:

- 1) Реализовать все три поля в соответствии со стандартом ANSI/IEEE 754-1985;
- 2) Реализовать биты NXM, pxa и pxc этих трех полей в соответствии со стандартом ANSI/IEEE 754-1985. Интегрировать каждый из оставшихся битов трех полей:
 - а. В соответствии со стандартом ANSI/IEEE;
 - б. Как бит состояния, который может быть установлен программным обеспечением, которое вычисляет значение ANSI/IEEE бит. Для каждого бита, реализованного подобным образом, во-первых, исключение IEEE, соответствующее биту статуса, обязано всегда вызывать исключение (в особенности это относится к unfinished_FPop). В ходе выполнения обработчика системного прерывания бит в поле статуса может быть записан через задание соответствующего значения инструкции LDFSR. Во-вторых, бит состояния должен быть реализован таким образом, чтобы если его конкретное значение записывается с помощью инструкции LDFSR, то он будет считан с тем же значением при последующем выполнении STFSR.

Замечания по программированию

Программное обеспечение должно быть в состоянии имитировать весь FPU для обеспечения должной обработки системных прерываний операций с плавающей запятой исключений unimplemented_FPop, unfinished_FPop и IEEE_754_exception. Таким образом, прикладная программа пользователя всегда «видит» FSR, полностью соответствующий стандарту ANSI/IEEE 754-1985.

Очередь отложенных прерываний операций с плавающей запятой (FQ)

Очередь отложенных прерываний операций с плавающей запятой (FQ), если она представлена в реализации, содержит информацию о состоянии, достаточную для выполнения восстановления работы после отложенных системных прерываний операций с плавающей запятой.

Если инструкции с плавающей запятой выполняются параллельно с (асинхронно) целочисленными инструкциями в конкретной реализации, то в реализации обязана присутствовать очередь операций с плавающей запятой. Если инструкции с плавающей запятой выполняются синхронно с целочисленными инструкциями, реализация данной очереди является необязательной.

Считывание FQ можно выполнить при помощи привилегированной инструкции сохранения двойного слова данных очереди операций с плавающей запятой (STDFQ). В определенных реализациях может быть доступно считывание или запись при помощи привилегированных инструкций загрузки/сохранения удвоенных данных в альтернативное адресное пространство (LDDA, STDA) или при помощи инструкций считывания/записи вспомогательных регистров состояния (RDASR, WRASR).

Содержимое и операции с FQ зависят от реализации. Однако, если FQ представлен в устройстве, программное обеспечение супервизора должно быть в состоянии установить код операции (opf), вызвавшей исключение, её операнды и адрес из записи FQ. Данное условие также должно распространяться и на все остальные ожидающие обработки операции с плавающей запятой в очереди.

Если реализация не содержит FQ, бит qne в регистре FSR всегда сброшен, а выполнение инструкции STDFQ вызывает системное прерывание `fp_exception` с `FSR.ftt = 4 (sequence_error)`.

5.4 Системные прерывания

Системное прерывание – это векторная передача управления супервизору через специальную таблицу системных прерываний, в которой содержатся первые 4 инструкции каждого обработчика системных прерываний. Базовый адрес таблицы устанавливается супервизором путем записи поля базового адреса таблицы системных прерываний (ТБА) регистра состояния IU, называемого базовым регистром системных прерываний (TBR). Смещение в пределах таблицы определяется типом системного прерывания. Половина таблицы зарезервирована для системных прерываний аппаратного обеспечения, вторая половина зарезервирована для системных прерываний программного обеспечения, генерируемых инструкциями системных прерываний программного обеспечения (Ticc).

Системное прерывание аналогично непредвиденному вызову процедуры. Оно декрементирует указатель на текущее окно (CWP) до следующего регистрового окна, при этом аппаратное обеспечение записывает значения счетчиков команд (PC, nPC) на которых произошло прерывание в два локальных регистра нового окна. Обычно, обработчики системных прерываний также сохраняют значение PSR в другом локальном регистре, оставшиеся 5 локальных регистров нового окна можно свободно использовать.

Системное прерывание может быть вызвано инструкцией, исключением или внешним запросом на прерывание, напрямую не связанным с конкретной инструкцией. Перед выполнением каждой инструкции IU выбирает исключение или запрос на прерывание с наивысшим приоритетом и, если таковые имеются, вызывает системное прерывание.

Ошибка, «после которой невозможно восстановление в автоматическом режиме», вызывается при обнаружении неправильного функционирования аппаратного обеспечения, которое по своим свойствам препятствует восстановлению состояния процессора на момент возникновения ошибки. Т.к. состояние процессора не

восстанавливается, выполнение операции после такой ошибки не возобновляется. Ошибки, после которых невозможно восстановление в автоматическом режиме, обрабатываются в зависимости от реализации. Пример такой ошибки – ошибка по четности на шине.

5.4.1 Категории прерываний

Исключение или запрос на прерывание может вызвать следующие три категории системных прерываний:

- строгое;
- отложенное;
- прерывающее.

Строгое системное прерывание

Строгое прерывание вызывается конкретной инструкцией и происходит прежде, чем произойдет любое программно-видимое изменение состояния, вызванное системным прерыванием. При возникновении строгого прерывания в обязательном порядке соблюдаются следующие условия:

- РС, сохраненный в г[17] (локальный регистр 1), указывает на инструкцию, вызвавшую системное прерывание; nPC, сохраненный в г[18] (локальный регистр 2), указывает на следующую выполняемую инструкцию;

- выполнены инструкции, предшествующие инструкции, вызвавшей системное прерывание;

- инструкции расположенные после инструкции, вызвавшей системное прерывание, остаются невыполненными.

Отложенное системное прерывание

Отложенное прерывание также вызывается конкретной инструкцией, но, в отличие от строгого прерывания, оно может произойти после программно-видимого изменения состояния. Такое изменение состояния может быть обусловлено либо самой инструкцией, вызвавшей системное прерывание, либо одной или несколькими инструкциями, следующими за ней.

Отложенное прерывание может возникнуть через одну или более инструкций, выполненных после инструкции, вызывающей системное прерывание. Однако, отложенное прерывание обязано произойти до выполнения любой из инструкций, которая зависит от инструкции, вызывающей системное прерывание. То есть выполнение отложенного прерывания не может откладываться дольше, чем до инструкции, в которой заявлены исходные регистры, регистры назначения, коды условия или любые другие программно-видимые состояния устройства, которые могли бы быть модифицированы инструкцией, вызвавшей системное прерывание.

Отложенное прерывание не может быть отложено дольше, чем до строгого прерывания, кроме исключения операции с плавающей запятой или исключения сопроцессора, на которые данное утверждение не распространяется.

Наряду со спецификой конкретной реализации отложенных системных прерываний, в обязательном порядке должны существовать:

- инструкция, вызывающая исключение отложенного системного прерывания, которое потенциально может ожидать выполнения через механизм системного прерывания;

- возможность возобновления выполнения прерванного потока инструкций;

- привилегированные инструкции доступа к состоянию для эмулирования супервизором инструкции, вызывающей отложенное прерывание, и возобновления выполнения прерванного потока инструкций.

Следует отметить, что возможность возобновления выполнения может подразумевать эмулирование невыполненных к моменту отложенного прерывания инструкций (т.е. инструкций в очереди отложенных прерываний).

Сам факт наличия отложенных системных прерываний (и связанных с ними очередей отложенных системных прерываний) зависит от реализации. Если есть необходимость полностью исключить появление отложенных системных прерываний, то необходимо, чтобы все инструкции с плавающей запятой (и инструкций сопроцессора, если таковые имеются) и исключения ими сгенерированные осуществлялись синхронно с выполнением целочисленных инструкций. В таких реализациях неоправданно наличие очереди отложенных прерываний (например, FQ или CQ).

Прерывающее системное прерывание

Прерывающее системное прерывание не является ни строгим системным прерыванием, ни отложенным прерыванием. Управление прерывающими системными прерываниями осуществляется через поле уровня прерывания процессора (PIL) и поле разрешения системных прерываний (ET) регистра PSR.

Прерывающее системное прерывание может быть вызвано:

- внешним запросом на прерывание, не связанным непосредственно с предыдущей выполненной инструкцией;
- исключением, не связанным непосредственно с предыдущей выполненной инструкцией, или
- исключением, вызванным предыдущей выполненной инструкцией.

Подробнее каждый из трех приведенных случаев рассмотрен ниже.

Внешний запрос на прерывание может быть вызван появлением внешнего сигнала, напрямую не связанного с конкретным состоянием процессора или памяти. Например, установкой сигнала «Операция ввода-вывода завершена».

Прерывающее системное прерывание, вызванное исключением, не связанным непосредственно с предыдущей выполненной инструкцией, может быть вызвано обнаружением произвольного, зависящего от конкретной реализации, состояния процессора или системы. Например, исключение, сгенерированное управляющей логикой точки останова, зависящее от выбранной из памяти, но не выполненной инструкции или от истории выполнения операций процессора.

Прерывающее системное прерывание, вызванное исключением, обусловленным предыдущей выполненной инструкцией. Оно аналогично отложенному системному прерыванию в части того, что оно происходит после того как инструкции, следующие за инструкцией вызвавшей прерывание, изменят состояние процессора или памяти. Разница заключается в том, что инструкция, вызывающая такое прерывающее системное прерывание, не всегда возможно эмулировать, т.к. в реализации не сохраняется необходимое для этого состояние. Например, ошибка доступа к данным, защищенным кодами коррекции, сообщение о которой появилось после выполнения соответствующей инструкции загрузки.

5.4.2 Модели системных прерываний

Поскольку прикладная пользовательская программа «не видит» системные прерывания, пока через программное обеспечение супервизора не установлен пользовательский обработчик системных прерываний, и рассмотрение зависящих от

конкретной реализации ошибок, «после которых невозможно восстановление в автоматическом режиме», может отличаться в разных системах, архитектура SPARC позволяет в реализации иметь альтернативные модели системных прерываний для отдельных типов исключений.

В частности, конкретное исключение может привести к срабатыванию строгого, отложенного или прерывающего прерываний, в зависимости от реализации. (Следует отметить, что внешние запросы на прерывание, по определению, всегда вызывают прерывающие системные прерывания).

Однако, для поддержки пользовательских обработчиков системных прерываний и виртуализируемых инструкций, архитектура SPARC определяет модель системных прерываний по умолчанию, которая должна присутствовать во всех реализациях.

Модель системных прерываний по умолчанию

В SPARC, согласно модели системных прерываний по умолчанию, все системные прерывания должны являться строгими, за исключением четырех случаев:

- исключений операций с плавающей запятой и сопроцессора (`fp_exception`, `cp_exception`), которые могут быть отложенными;

- исключений, «после которых невозможно восстановление в автоматическом режиме», которые могут быть отложенными или прерывающими, в зависимости от реализации;

- исключений, вызванных после выполнения первичного доступа инструкцией загрузки / сохранения с множественным доступом (загрузка / сохранение двойного слова данных, атомарная загрузка / сохранение и SWAP), которые могут быть прерывающими, если они вызваны исключением, «после которого не возможно восстановление в автоматическом режиме». Таким образом, системное прерывание при выполнении второго доступа к памяти может возникать после изменения состояния процессора или памяти, вызванного выполнением первого доступа;

- исключений, вызванных событиями, не связанными с потоком инструкций, которые являются прерывающими и поэтому не могут принадлежать к классу строгих.

Данные условия зависят от реализации.

Если на текущий момент другое исключение с плавающей запятой является отложенным, то попытка выполнить инструкцию с плавающей запятой (FPop, FBfсс или загрузка / сохранение с плавающей запятой) вызовет или станет причиной возникновения ожидающего выполнения системного прерывания `fp_exception`. Аналогично, если исключение сопроцессора в настоящее время отложено, попытка выполнить другую команду сопроцессора (CPop, CBссс или загрузка / сохранение сопроцессора) вызовет ожидающее выполнения системное прерывание `cp_exception`.

Замечание по реализации

Чтобы обеспечить возможность завершать пользовательский процесс при возникновении исключения, «после которого не возможно восстановление в автоматическом режиме», которое может вызвать отложенное или прерывающее системное прерывание, в реализации должна присутствовать одна или несколько инструкций, вызывающих обработку ожидающего выполнения условия, как системного прерывания. Например, ожидающее обработки исключение операции с плавающей запятой может быть трансформировано в вызов системного прерывания `fp_exception` путем выполнения любой FPop, загрузки / сохранения с плавающей запятой, включая STFSR, или команды FBfсс.

Усовершенствованная модель системных прерываний

Прикладные программы пользователя не «видят» системные прерывания до тех пор, пока они в явном виде не запрашивают права на их обработку. Таким образом, архитектура SPARC предусматривает зависящие от реализации улучшения производительности к модели системных прерываний по умолчанию, и позволяет создавать реализации с усовершенствованной моделью системных прерываний, в которой некоторые системные прерывания могут являться отложенными или прерывающими, вместо того, чтобы быть строгими.

В частности, должно ли конкретное системное прерывание быть строгим или нет, зависит от того, запрашивает ли пользовательская прикладная программа у супервизора, возможность обработки исключения, генерирующего системное прерывание. Запрос на регистрацию пользовательского обработчика системного прерывания подразумевает, что когда происходит данное конкретное системное прерывание, супервизор предаст управление пользовательской прикладной программе по заранее определенному адресу, указанному программой.

В усовершенствованной модели системных прерываний SPARC утверждено, что отдельное системное прерывание обязано придерживаться модели системных прерываний по умолчанию, если пользовательская прикладная программа через супервизор устанавливает собственный обработчик этого системного прерывания. Таким образом, аппаратное обеспечение должно быть в состоянии обработать исключение как системное прерывание одного из следующих типов:

- строгое прерывание;
- отложенное прерывание в случае исключений операций с плавающей запятой или сопроцессора;
- отложенное или прерывающее системное прерывание в случае зависящих от реализации исключений, «после которых невозможно восстановление в автоматическом режиме».

Если пользовательская прикладная программа не устанавливает собственный обработчик системного прерывания (через программное обеспечение супервизора) для данного системного прерывания, такое системное прерывание может являться отложенным или прерывающим. Тип конкретного системного прерывания (строгое, отложенное или прерывающее) должен оставаться неизменным для всех вхождений связанного исключения для конкретной программы или процесса. Поэтому, если пользовательская программа должна устанавливать свой для данного системного прерывания собственный обработчик, она должна сделать это до первого срабатывания этого системного прерывания в программе.

Инструкция, осуществляющая доступ к состоянию аппаратного обеспечения, которое контролирует, является ли конкретное прерывание строгим или нет, конкретное системное прерывание, должна быть привилегированной (например, инструкция загрузки / сохранения в альтернативное адресное пространство, привилегированная инструкция считывания / записи ASR, считывания / записи поля *vec* регистра PSR).

Реализация конкретного системного прерывания, согласно усовершенствованной модели системных прерываний, является зависимой от супервизора и реализации.

Замечания по программированию

Запрос супервизору о регистрации пользовательского обработчика системного прерывания может оговаривать, что соответствующее исключение обрабатывается пользовательской программой невозобновляемым образом. В этом случае супервизор имеет право не требовать, чтобы соответствующее системное прерывание было строгим.

После строгого системного прерывания супервизор:

- возвращается к инструкции, вызвавшей системное прерывание, и повторно ее выполняет ($PC \leftarrow \text{предыдущий } PC, nPC \leftarrow \text{предыдущий } nPC$), или
- эмулирует инструкцию, вызвавшую системное прерывание, и возвращается к инструкции (по времени), которая выполнялась после инструкции, вызвавшей системное прерывание ($PC \leftarrow \text{предыдущий } nPC, nPC \leftarrow \text{предыдущий } nPC + 4$), или
- завершает программу или процесс, связанный с системным прерыванием.

После отложенного системного прерывания супервизор:

- эмулирует инструкцию, вызвавшую ошибку, эмулирует или иницирует выполнение других отложенных инструкций, находившихся в соответствующей очереди отложенных системных прерываний, а также возвращает управление инструкции, при выполнении которой сработало отложенное прерывание, или
- завершает программу или процесс, связанный с системным прерыванием.

После прерывающего системного прерывания супервизор:

- возвращается к инструкции, при выполнении которой сработало системное прерывание ($PC \leftarrow \text{предыдущий } PC, nPC \leftarrow \text{предыдущий } nPC$), или
- завершает программу или процесс, связанный с системным прерыванием.

При наличии пользовательского обработчика системных прерываний супервизор может передать ему запись, содержащую адрес инструкции, вызвавшей системное прерывание, адреса PC и nPC системного прерывания, а также любое связанное состояние, необходимое для эмуляции инструкции. Пользовательский обработчик системного прерывания может возобновить выполнение по альтернативному адресу или вернуть управление супервизору. Супервизор может обрабатывать любые другие оставшиеся записи в соответствующей очереди отложенных системных прерываний и, в конечном итоге, может вернуться к инструкциям по адресам PC и nPC системного прерывания.

Управление системными прерываниями

Управление системными прерываниями осуществляется через несколько регистров: исключения и запросы прерываний с помощью поля разрешения системных прерываний (ET) в PSR, запросы на прерывание с помощью поля уровня прерывания процессора (PIL) в PSR и исключения операций с плавающей запятой с помощью маски разрешения системных прерываний (TEM) в FSR.

Управление через ET и PIL

Бит ET в PSR должен быть установлен для штатного срабатывания системных прерываний. Пока $ET = 1$, IU – между выполнением инструкций – устанавливает приоритеты ожидающих выполнения исключений и запросов прерываний в соответствии с таблицей 5.4.1. В каждый определенный момент времени как системное прерывание обрабатывается исключение или запрос прерывания с наивысшим приоритетом. Если ожидающих обработки исключений или запросов прерываний несколько, SPARC предполагает, что запросы прерываний с более низким приоритетом будут сохраняться, а исключения с более низким приоритетом будут возникать вновь, если инструкция, инициировавшая исключение, будет повторно выполнена.

В случае запросов на прерывание IU сравнивает уровень запроса на прерывание (bp_IRL) со значением поля уровня прерывания процессора (PIL) регистра PSR. Если bp_IRL превышает PIL, или $bp_IRL = 15$ (немаскируемый), процессор принимает запрос на прерывание в связи с возникновением системного прерывания – при этом предполагается, что ошибки высокого приоритета, ожидающие выполнения,

отсутствуют. Быстрота реакции процессора на запрос прерывания, а также метод удаления запроса на прерывание, зависят от реализации.

Пока $ET = 0$:

- прерывающие системные прерывания не срабатывают, все запросы на прерывание игнорируются, даже если $br_IRL = 15$;

- если срабатывает строгое прерывание или при попытке выполнения инструкции, вызывающей отложенное прерывание, при наличии ожидающего выполнения исключения, вызвавшего отложенное системное прерывание, процессор останавливается и переходит в состояние `error_mode`;

- если срабатывает отложенное системное прерывание, вызванное инструкцией, которая начала выполняться при $ET = 0$, отложенное системное прерывание останавливает процессор и переводит его в состояние `error_mode`;

- игнорируется любое исключение, породившее отложенное системное прерывание, вызванное инструкцией, которая начала выполняться при $ET = 1$.

Управление через ТЕМ

Управление исключениями операций с плавающей запятой `IEEE_754_exceptions` выполняется через поле маски разрешения системного прерывания (ТЕМ) `FSR`, доступное пользователю. Если конкретный бит ТЕМ установлен, соответствующее исключение `IEEE_754_exception` вызывает системное прерывание `fp_exception`.

Если конкретный бит ТЕМ сброшен, соответствующее исключение `IEEE_754_exception` не вызывает системное прерывание `fp_exception`. Вместо этого факт возникновения исключения `IEEE_754_exception` записывается в поле накопленных исключений `FSR (aexc)`.

Если исключение операции с плавающей запятой типа `IEEE_754_exception` вызывает системное прерывание `fp_exception`, регистр назначения `f`, поля `fcs` и `aexc` не меняются. Однако, если исключение `IEEE_754_exception` не вызывает системного прерывания, то регистр `f`, поля `fcs` и `aexc` обновляются до их новых значений.

5.4.3 Идентификация системных прерываний

Супервизор инициализирует поле базового адреса системных прерываний (ТВА) базового регистра системных прерываний (ТВР) двадцатью старшими битами адреса таблицы системных прерываний.

Тип системного прерывания (tt)

При возникновении системного прерывания (за исключением внешнего запроса на сброс) значение, идентифицирующее системное прерывание, записывается аппаратным обеспечением в 8-битовое поле `tt` регистра ТВР. После этого управление передается в таблицу системных прерываний супервизора на адрес, содержащийся в 32-битовом ТВР. Поскольку младшие 4 бита ТВР сброшены, каждая запись в таблице системных прерываний содержит первые 16 байт (4 слова) соответствующего сортировщика системных прерываний.

Поле `tt` предусматривает 256 типов системных прерываний – половина для системных прерываний аппаратного обеспечения и половина для системных прерываний программного обеспечения. Значения `0–0x7F` зарезервированы для системных прерываний аппаратного обеспечения. Значения `0x80–0xFF` зарезервированы для системных прерываний программного обеспечения (системные прерывания, вызванные выполнением инструкцией `Ticc`). Распределение значений `tt` по системным прерываниям приведено в таблице 5.4.1. Следует отметить, что поле `tt` остается действительным до возникновения следующего системного прерывания.

Поскольку распределение значений исключений и запросов на прерывание конкретным адресам вектора системных прерываний и по уровням приоритетов невидимо для прикладной программы пользователя, реализации определяют дополнительные системные прерывания аппаратного обеспечения.

В частности, значения `tt` 0x60–0x7F зарезервированы для исключений, в зависимости от реализации.

Значения в диапазоне от 0 до 0x5F, не присвоенные в таблице 5.4.1, зарезервированы для последующих версий архитектуры.

Режим ошибки

Если при $ET = 0$ возникает системное прерывание, процессор входит в режим `error_mode`. В этом случае реализация должна предоставлять максимальное количество данных о состоянии процессора. Стандартные действия в случае возникновения системного прерывания (например, уменьшение `CWP` и сохранение информации о состоянии в локальных регистрах) не должны выполняться при входе в режим `error_mode`. В частности, запись в поле `tt` регистра `TBR` выполняется при переходе в режиме `error_mode` только в случае выполнения инструкции `RETT`, вызывающей системное прерывание при $ET = 0$. В этом случае запись в поле `tt` выполняется для обозначения типа исключения, вызванного инструкцией `RETT`.

Действия после входа в режим `error_mode` зависят от реализации; обычно процессор запускает внешний сброс, вызывая системное прерывание при сбросе (см. ниже).

Системное прерывание при сбросе

Системное прерывание при сбросе (`reset`) запускается внешним запросом на сброс и вызывает передачу управления по адресу 0.

Программное обеспечение супервизора не должно предполагать, что после системного прерывания `reset` будет инициализировано какое-либо конкретное состояние процессора или памяти, за исключением битов `ET` и `S` регистра `PSR`.

При возникновении системного прерывания `reset` запись в поле `tt` не выполняется, при этом в данном поле отображается значение предыдущего системного прерывания. В случае внешнего запроса на сброс, вызванного подачей питания на схему, значение поля `tt` не определено.

Приоритеты системного прерывания

В таблице 5.4.1 для исключений приводятся присвоенные им значения `tt`, а также указывается относительная приоритетность исключений и запросов на прерывание. Приоритет 1 является наивысшим, приоритет 31 – самым низким; то есть, если $X < Y$, обрабатывается ожидающее выполнения исключение или запрос на прерывание приоритета X , а не ожидающее выполнения исключение или запрос на прерывание приоритета Y .

Следует отметить, что конкретные приоритеты системных прерываний зависят от реализации, поскольку последующие версии архитектуры могут определять новые системные прерывания, при этом разные реализации могут определять разные системные прерывания. Однако, значения `tt` для исключений и запросов на прерывание, представленные в таблице 5.4.1, сохраняются для каждой реализации.

Таблица 5.4.1 – Приоритет исключений и запросов на прерывание и значения tt

Исключение или запрос на прерывание	Приоритет	tt
reset	1	(см. по тексту)
data_store_error	2	0x2B
instruction_access_MMU_miss	2	0x3C
instruction_access_error	3	0x21
r_register_access_error	4	0x20
instruction_access_exception	5	0x01
privileged_instruction	6	0x03
illegal_instruction	7	0x02
fp_disabled	8	0x04
cp_disabled	8	0x24
unimplemented_FLUSH	8	0x25
watchpoint_detected	8	0x0B
window_overflow	9	0x05
window_underflow	9	0x06
mem_address_not_aligned	10	0x07
fp_exception	11	0x08
cp_exception	11	0x28
data_access_error	12	0x29
data_access_mmu_miss	12	0x2C
data_access_exception	13	0x09
tag_overflow	14	0x0A
division_by_zero	15	0x2A
trap_instruction	16	0x80–0xFF
interrupt_level_15	17	0x1F
interrupt_level_14	18	0x1E
interrupt_level_13	19	0x1D
interrupt_level_12	20	0x1C
interrupt_level_11	21	0x1B
interrupt_level_10	22	0x1A
interrupt_level_9	23	0x19
interrupt_level_8	24	0x18
interrupt_level_7	25	0x17
interrupt_level_6	26	0x16
interrupt_level_5	27	0x15
interrupt_level_4	28	0x14
interrupt_level_3	29	0x13
interrupt_level_2	30	0x12
interrupt_level_1	31	0x11
исключения, в зависимости от реализации	зависит от реализации	0x60–0x7F

5.4.4 Описание системного прерывания

Если ET = 1 при возникновении системного прерывания:

- Запрещается выполнение системных прерываний: ET ← 0.
- Сохраняется текущий режим пользователь / супервизор: PS ← S.
- Режим пользователь / супервизор изменяется на режим супервизора: S ← 1.

– Осуществляется переход от текущего регистрового окна к новому окну: $CWP \leftarrow ((CWP - 1) \text{ по модулю } NWINDOWS)$ [без проверки на предмет переполнения окна].

– Счетчики команд системного прерывания сохраняются в локальные регистры 1 и 2 нового окна: $r[17] \leftarrow PC$, $r[18] \leftarrow nPC$.

– В поле *tt* записывается конкретное значение, обозначающее исключение или запрос прерывания, кроме случаев, описанных выше в подпунктах «Системное прерывание при сбросе» и «Режим ошибки».

– Если системное прерывание является системным прерыванием при сбросе, управление передается по адресу «0»: $PC \leftarrow 0$, $nPC \leftarrow 4$.

Если системное прерывание не является системным прерыванием при сбросе, управление передается в таблицу системных прерываний: $PC \leftarrow TBR$, $nPC \leftarrow TBR + 4$.

Если $ET = 0$ и возникает строгое прерывание, процессор входит в состояние *error_mode* и останавливается. Если $ET = 0$ и возникает либо запрос на прерывание, либо прерывающая или отложенная исключительная ситуация, то они игнорируются.

Замечание по реализации

При входе в режим *error_mode* изменению подлежит минимальное количество данных по состоянию процессора. Если процессор в режиме *error_mode*, его перезапуск выполняется с помощью внешнего запроса на сброс, что вызывает системное прерывание *reset*.

Замечание по программированию

Обработчик системных прерываний должен осуществлять с полями регистра PSR только обратимые изменения (ET , CWP) или не должен производить над PSR действий до его сохранения.

5.4.5 Описание отдельных исключений / прерываний

В таблице 5.4.2 приводится описание различных исключений и запросов на прерывание, а также условия, при которых они возникают.

Поскольку точные условия для некоторых из этих исключений зависят от реализации, некоторые определения неточны. В частности, определение терминов «безусловная ошибка» и «блокирующая ошибка» зависит от реализации. Более того, генерация процессором SPARC исключений данных типов зависит от реализации.

Таблица 5.4.2 – Описание исключений

Наименование исключения	Описание исключения
reset	Данное системное прерывание вызывается внешним запросом на сброс. При этом процессор начинает выполнение инструкций по виртуальному адресу 0. Программное обеспечение супервизора не может с уверенностью полагать, что после системного прерывания <i>reset</i> процессор или память будут инициализированы, за исключением битов ET и S регистра PSR.
data_store_error	Возникла безусловная ошибка при сохранении данных в память (например, ошибка по четности шины при сохранении данных из буфера сохранения)

Продолжение таблицы 5.4.2

Наименование исключения	Описание исключения
instruction_access_MMU_miss	Неудачное обращение в MMU при доступе к инструкции из памяти. Например, PDC или TLB не содержали трансляцию виртуального адреса
instruction_access_error	Возникла безусловная ошибка при доступе к инструкции (например, ошибка, выявленная контролем по чётности, при доступе к кэшу инструкции)
r_register_access_error	Возникла безусловная ошибка при доступе к регистру r (например, ошибка, выявленная контролем по чётности, при считывании регистра r)
instruction_access_exception	Возникла блокирующая ошибка при доступе к инструкции (например, MMU указывает о недействительности переадресации страниц или наличии защиты от считывания)
privileged_instruction	Попытка выполнения привилегированной инструкции, когда бит S регистра PSR сброшен
illegal_instruction	Попытка выполнения инструкции с нереализованным кодом операции, или инструкции UNIMP, или инструкции, которая в результате должна привести к недопустимому состоянию процессора (например, запись недопустимого CWP в PSR). Следует отметить, что нереализованная инструкция FPop и нереализованная инструкция CPop генерируют системные прерывания fp_exception и cp_exception, а также что разработчик может организовать генерацию системного прерывания unimplemented_FLUSH при выполнении нереализованной инструкции FLUSH вместо системного прерывания illegal_instruction
unimplemented_FLUSH	Была предпринята попытка выполнить инструкцию FLUSH, семантика которой не полностью реализована в аппаратном обеспечении. Использование данного системного прерывания зависит от реализации
watchpoint_detected	Адрес памяти извлечения инструкции или адрес памяти загруженных/сохраненных данных соответствует содержимому предварительно загруженного, в зависимости от реализации, регистра «точки наблюдения». Генерация процессором SPARC ошибок watchpoint_detected зависит от реализации
fp_disabled	Попытка выполнения инструкции FPop, FBfсс или инструкции загрузки/сохранения с плавающей запятой при сброшенном бите EF регистра PSR или при отсутствии FPU
cp_disabled	Попытка выполнения инструкции CPop, CBссс или инструкции загрузки/сохранения сопроцессора при отсутствии сопроцессора
window_overflow	Переполнение окна. Инструкция SAVE пыталась заставить CWP указывать на окно, отмеченное в WIM как недопустимое
window_underflow	Обратное переполнение окна. Инструкция RESTORE или RETT пыталась заставить CWP указывать на окно, отмеченное в WIM как недопустимое

Окончание таблицы 5.4.2

Наименование исключения	Описание исключения
mem_address_not_aligned	Инструкция загрузки/сохранения сгенерировала адрес памяти, который не был правильно выровнен в соответствии с инструкцией, либо инструкция JMWL или RETT сгенерировала адрес, не выравшиваемый по границе слова
fp_exception	Инструкция FPop сгенерировала исключение IEEE_754_exception, при этом соответствующий бит маски разрешения системного прерывания (TEM) был установлен или FPop не реализована, или FPop не выполнена, или возник ряд ошибок или аппаратная ошибка в FPU. Тип исключения операции с плавающей запятой кодируется в поле ftt FSR
cp_exception	Инструкция сопроцессора сгенерировала исключение
data_access_error	Возникла безусловная ошибка при доступе к загруженным/сохраненным данным из/в память (например, ошибка, выявленная контролем по чётности, при доступе к кэшу данных, или неисправимая ошибка в памяти, использующей корректирующие кодирование)
data_access_MMU_miss	Неудачное обращение в MMU при доступе загрузки/сохранения из/в память. Например, PDC или TLB не содержали трансляцию виртуального адреса
data_access_exception	Возникла блокирующая ошибка при попытке доступа загрузки/сохранения данных (например, MMU указывает о недействительности переадресации страниц или наличии защиты от считывания)
tag_overflow	Выполнена инструкция TADDccTV или TSUBccTV, при этом возникло арифметическое переполнение или, по крайней мере, один из битов метки компонентов операции был не равен нулю
division_by_zero	Попытка целочисленной инструкции деления выполнить деление на ноль
trap_instruction	Выполнена инструкция Ticc, при этом условие возникновения системного прерывания выполняется
interrupt_level_n	В IU был передан на рассмотрение внешний запрос на прерывание (bp_IRL) с уровнем n, в то время как ET = 1 и ((bp_IRL = 15) или (bp_IRL > PIL))

6 Введение в систему команд

Инструкции, извлекаемые процессором из памяти, могут быть выполнены, аннулированы или прерваны. Кодирование инструкций осуществляется в трех 32-битовых форматах с подразделением на шесть основных категорий. Есть 72 базовые инструкции операций. Их подробное описание приведено в [приложении А](#).

6.1 Выполнение инструкций

Считывание инструкции выполняется из памяти по адресу, указанному счетчиком команд (PC). После этого инструкция выполняется или не выполняется, в зависимости от того, является предыдущая инструкция аннулирующей или нет (см. ниже). Инструкция может генерировать системное прерывание при обнаружении исключительной ситуации, вызванной самой инструкцией (строгое системное прерывание), предыдущей инструкцией (отложенное системное прерывание), внешним прерыванием (прерывающее системное прерывание) или внешним запросом на сброс. Если инструкция выполняется, может измениться состояние процессора и/или памяти, видимое для программы.

Если инструкция прерывается, управление направляется в таблицу системных прерываний по адресу, указанному в базовом регистре системных прерываний (TBR). Если инструкция не прерывается, следующее значение счетчика команд (nPC) копируется в PC, при этом nPC увеличивается на 4 (переполнение, если оно имеет место быть, игнорируется). Если инструкция является инструкцией передачи управления, процессор записывает адрес назначения в nPC. Таким образом, два счетчика команд обеспечивают функционирование модели отсроченного ветвления.

Для доступа к каждой инструкции и ко всем обычным данным IU добавляет к 32-битовому адресу памяти 8-битовый идентификатор адресного пространства (ASI). ASI кодирует режим процессора: режим супервизора или режим пользователя; а также осуществляется ли доступ к инструкции или доступ к данным. Также реализованы привилегированные инструкции загрузки/сохранения в альтернативное адресное пространство (см. ниже), которые обеспечивают доступ к данным по адресу с произвольным ASI.

Замечание по реализации

Время выполнения инструкции и степень параллелизма их выполнения зависят от реализации. Взаимоотношения между PC, nPC и аппаратным обеспечением, которое извлекает и декодирует инструкции, также зависят от реализации. При отсутствии системных прерываний изменения регистров и состояния памяти, видимые для программы, должны быть аналогичны изменениям при выполнении программой операций в соответствии с последовательной моделью.

6.1.1 Форматы инструкций

Кодирование инструкций выполняется в трех основных 32-битовых форматах, приведенных на рисунке [6.1.1](#). Также существует несколько вспомогательных форматов – см. приложение А «[Описание инструкций](#)».

Формат 1 (op = 1): CALL

op	disp30																												
31	30	29																											0

Формат 2 (op = 0): SETHI и операции ветвления (Bicc, FBfcc, CBccc)

op	rd			op2			imm22																							
op	a	cond		op2			disp22																							
31	30	29	28	25	24	22	21																			0				

Формат 3 (op = 2 or 3): Остальные инструкции

op	rd			op3			rs1			i = 0			asi						rs2		
op	rd			op3			rs1			i = 1			simm13								
op	rd			op3			rs1			opf						rs2					
31	30	29	25	24	19	18	14	13	12	5	4							0			

Рисунок 6.1.1 – Форматы инструкций

6.1.2 Поля инструкций

Поля инструкций интерпретируются следующим образом:

«op» и «op2»

С помощью этих двух- и трех-битовых полей кодируются три основных формата и инструкции формата 2, согласно таблицам 6.1.1 и 6.1.2.

Таблица 6.1.1 – Кодирование op (все форматы)

Формат	op	Инструкции
1	1	CALL
2	0	Bicc, FBfcc, CBccc, SETHI
3	3	Инструкции памяти
	2	Арифметика, логика, смещение и др.

Таблица 6.1.2 – Кодирование op2 (формат 2)

op2	Инструкции
0	UNIMP
1	не реализовано
2	Bicc
3	не реализовано
4	SETHI
5	не реализовано
6	FBfcc
7	CBccc

«rd»

Данное 5-битовое поле является адресом назначения (или исходным адресом) регистров r, f или сопроцессора в арифметических инструкциях/инструкциях загрузки (или сохранения). При выполнении инструкции чтения/записи двойного слова (или данных учетверенной точности), один младший значащий бит (или два) не используется и должен быть передан в сброшенном состоянии.

«a»

Бит «a» в инструкции перехода аннулирует выполнение следующей инструкции, если переход условный и не выполняется, если он безусловный и выполняется.

«cond»

Данное 4-битовое поле определяет код(-ы) условия(-й), проверяемый(-е) в инструкции перехода.

«imm22»

Данное 22-битовое поле является константой, которую инструкция SETHI помещает в старшие разряды регистра назначения.

«disp22» и «disp30»

Данные 30- и 22-битовые поля являются выравненными по границе слова значениями со знаком, которые модифицируют PC в инструкциях вызова процедуры или перехода соответственно.

«op3»

Данное 6-битовое поле (совместно с первым битом поля op) кодирует инструкции формата 3.

«i»

Бит i выбирает второй компонент операции ALU при выполнении (целочисленных) арифметических инструкций и инструкций загрузки/сохранения. Если $i = 0$, компонент операции – $r[rs2]$. Если $i = 1$, компонент операции – $simm13$ с добавлением знака в биты с тринадцатого по тридцать второй.

«asi»

Данное 8-битовое поле является идентификатором адресуемого пространства, который задается при выполнении инструкции загрузки/сохранения.

«rs1»

Данное 5-битовое поле является адресом первого исходного компонента операции регистров r, f или сопроцессора. При выполнении инструкции чтения/записи двойного слова (или данных учетверенной точности), один младший значащий бит (или два) не используется и должен быть передан в сброшенном состоянии.

«rs2»

Данное 5-битовое поле является адресом второго исходного компонента операции регистров r, f или сопроцессора при $i = 0$. При выполнении инструкции чтения/записи двойного слова (или данных учетверенной точности), один младший значащий бит (или два) не используется и должен быть передан в сброшенном состоянии.

«simm13»

Данное поле является 13-битовой константой со знаком, которое используется как второй компонент операции ALU при выполнении (целочисленной) арифметической инструкции или инструкции загрузки/сохранения при $i = 1$.

«opf»

Данное 9-битовое поле кодирует инструкцию операции с плавающей запятой (FPop) или инструкцию операции сопроцессора (CPop).

6.2 Категории инструкций

Инструкции SPARC можно сгруппировать по шести категориям: загрузка / сохранение, целочисленная арифметика, передача управления (СТИ), считывание / запись регистра управления, операции с плавающей запятой и операции сопроцессора.

6.2.1 Инструкции загрузки/сохранения

Инструкции загрузки/сохранения – это единственные инструкции, имеющие доступ к памяти. Инструкции загрузки и сохранения используют два регистра r или один регистр r и $\text{sim}13$ для расчета 32-битового адреса памяти с выравниванием по границе байта. IU добавляет к данному адресу ASI , который кодирует режим процессора: режим супервизора или режим пользователя, а также доступ: доступ к инструкции или доступ к данным.

В поле назначения инструкции загрузки/сохранения указывается регистр r , f или сопроцессора, из которого данные передаются для сохранения или в который принимаются загруженные данные.

Целочисленные инструкции загрузки и сохранения поддерживают байтовый (8-битовый) доступ, доступ к полуслову (16-битовый), слову (32-битовый) и двойному слову (64-битовый). Инструкции загрузки и сохранения с плавающей запятой и сопроцессора поддерживают доступы к слову и двойному слову.

Замечание по программированию

Когда $i = 1$ и $\text{rs}1 = 0$ доступ к любой области младших или старших 4 Кбайт адресуемого пространства выполняется без использования регистра, хранящего адрес.

Ограничения по выравниванию

Доступы к полусловам должны быть выровнены по границе в 2 байта, доступы к словам (включая выборку инструкций) должны быть выровнены по границе в 4 байта, доступы к двойным словам должны быть выровнены по границе в 8 байт. Инструкция загрузки или сохранения по не выровненному адресу генерирует системное прерывание `mem_address_not_aligned`.

Принятые правила адресации

Архитектура SPARC использует порядок следования «сначала старший байт»: адрес двойного слова, слова или полуслова является адресом старшего значащего байта в адресе. Увеличение адреса обычно обозначает уменьшение значимости сегмента, к которому выполняется доступ. Правила адресации представлены на рисунке 6.2.1 и определяются следующим образом:

- Байты. Для байтовой инструкции загрузки/сохранения доступ к старшему значащему байту слова (биты 31 – 24) выполняется, если биты адреса $[1:0] = 0$, доступ к младшему значащему байту (биты 7 – 0) выполняется, если биты адреса $[1:0] = 3$.

- Полуслова. Для инструкции загрузки/сохранения полуслова доступ к старшему значащему полуслову (биты 31 – 16) выполняется, если биты адреса $[1:0] = 0$, доступ к младшему значащему полуслову выполняется, если биты адреса $[1:0] = 2$.

- Двойное слово. Для инструкции загрузки/сохранения двойного слова доступ к старшему значащему слову (биты 63 – 32) выполняется, если биты адреса $[2:0] = 0$, доступ к младшему значащему слову (биты 31 – 0) выполняется, если биты адреса $[2:0] = 4$.

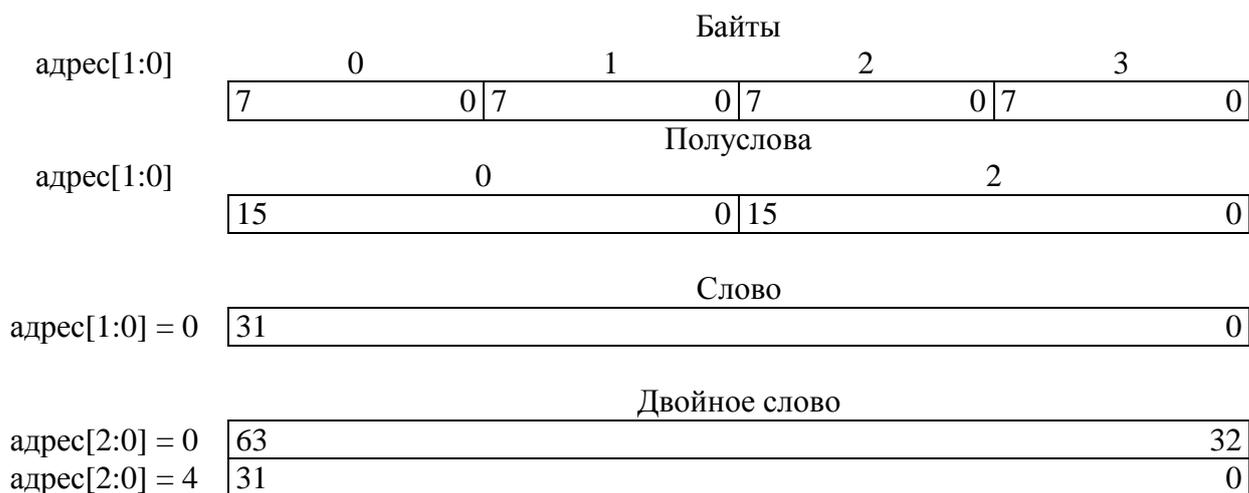


Рисунок 6.2.1 – Принятые правила адресации

Идентификаторы адресного пространства (ASI)

Стандартная инструкция загрузки/сохранения обеспечивает ASI – 0x0A или 0x0B для доступа к данным, в зависимости от режима процессора (пользователь/супервизор). Однако привилегированные инструкции загрузки из альтернативного адресного пространства и сохранения в альтернативное адресное пространство могут в явном виде задавать идентификатор адресного пространства, используя поле asi инструкций.

Назначение ASI приведено в таблице 6.2.1.

Таблица 6.2.1 – Идентификаторы адресных пространств

ASI	Адресное пространство
0x00 – 0x07	зависит от реализации
0x08	инструкция пользователя
0x09	инструкция супервизора
0x0A	данные пользователя
0x0B	данные супервизора
0x0C – 0xFF	зависит от реализации

Замечание по реализации

Назначение альтернативных адресных пространств зависит от реализации. Осуществляется ли декодирование всех восьми доступных бит ASI, также зависит от реализации.

Отдельная память инструкций

В архитектуре SPARC оговаривается, что инструкции сохранения имеют доступ к памяти, из которых была осуществлена их выборка. Тем не менее, реализация может явно разделять инструкции и данные на независимые памяти инструкций и данных (кэши), обычно такая архитектура называется «гарвардской» или архитектурой с «раздельными кэшами инструкций и данных».

Если программа использует самомодифицирующийся код, он должен выполнять FLUSH инструкцию для каждого модифицированного слова инструкции (или организовывать обращения к супервизору посредством системных прерываний, приводящие к тому же эффекту), обеспечивая сброс модифицированной инструкции в память. В большинстве случаев после сохранения инструкции должно следовать

выполнение FLUSH, прежде чем будет осуществлена безопасная выборка новой инструкции из потока инструкций (см. «[Определение инструкций](#)» из приложения А).

Ввод-вывод

Архитектура SPARC предполагает, что доступ к регистрам области ввода-вывода выполняется с помощью инструкций загрузки/сохранения в альтернативные адресные пространства, стандартных инструкций загрузки/сохранения, инструкций сопроцессора или инструкций считывания/записи вспомогательных регистров состояния (RDASR, WRASR). В первом случае доступ к регистрам области ввода-вывода может осуществлять только супервизор. В последнем случае возможность выполнения доступа к регистрам области ввода-вывода из пользовательского кода зависит от реализации. Адреса и содержимое регистров области ввода-вывода зависят от реализации.

6.2.2 Целочисленные арифметические инструкции

Инструкции целочисленной арифметики обычно используют триаду адресов регистров, они вычисляют результат, являющийся функцией двух исходных операндов, и либо записывают результат в регистр назначения $r[rd]$, либо отбрасывают его. Одним из исходных операндов всегда является $r[rs1]$. Второй исходный операнд зависит от состояния бита i в инструкции: если $i = 0$, компонент операции – $r[rs2]$, если $i = 1$, то $simm13$ с дополнением разрядом знака до размера в 32 бита.

При считывании $r[0]$ выводится нулевое значение. Если в поле назначения указывается запись в $r[0]$, регистры r не изменяются и результат операции отбрасывается.

Установка кодов условий

Большинство данных инструкций доступны в двух версиях: в первой из них целочисленные коды результата (icc) устанавливаются как побочное действие, во второй версии коды результата не изменяются. Не требуется какой-либо специальной инструкции сравнения целочисленных значений, поскольку данный результат легко достигается использованием инструкции «вычитания с установкой кодов условий» (SUBcc).

Инструкции сдвига

При выполнении инструкции сдвига содержимое регистра r смещается влево или вправо на постоянную или переменную величину. Выполнение инструкции сдвига не оказывает влияния на коды условий.

Установка старших 22 битов

При выполнении инструкции «установки старших 22 битов регистра r » (SETHI) 22-битовая константа записывается из инструкции в старшие биты регистра назначения. 10 младших бит сбрасываются, коды условий не изменяются. Данная инструкция, главным образом, используется при формировании 32-битовой константы в регистре.

Целочисленное умножение/деление

Целочисленные инструкции умножения осуществляют перемножение двух 32-битных операндов с получением 64-битного результата. Целочисленные инструкции деления выполняют деление 64-разрядного делимого на 32-разрядный делитель, с получением 32-разрядного результата. Есть версии инструкций с установкой кодов

условий и без оной. При делении на ноль срабатывает системное прерывание `division_by_zero`.

Сложение/вычитание с меткой

При выполнении инструкций сложения/вычитания с меткой используются формат данных с меткой, в котором меткой являются два младших бита каждого операнда. «Переполнение метки» происходит, если один из операндов имеет ненулевую метку или при 32-битовом арифметическом переполнении. В случае переполнения метки `TADDcc` и `TSUBcc` устанавливают бит переполнения `PSR`, при этом `TADDccTV` и `TSUBccTV` вызывают системное прерывание `tag_overflow` (но не изменяют `PSR.icc.V`).

6.2.3 Инструкции передачи управления (СТІ)

При выполнении инструкции передачи управления изменяется следующее значение счетчика команд (`nPC`). Существует пять основных типов инструкций передачи управления (СТІ):

- условный переход (`Bicc`, `FBfcc`, `CBccc`);
- вызов подпрограммы и создание связи (`CALL`);
- переход и создание связи (`JMPL`);
- возврат из системного прерывания (`RETT`);
- системное прерывание (`Ticc`).

Категории СТІ

Инструкции передачи управления можно разделить на категории (таблица 6.2.2) в соответствии с тем, как рассчитывается адрес назначения (исходя из `PC` или косвенно из регистров) и моментом времени передачи управления относительно СТІ (без задержки, с задержкой, по условию и с задержкой).

Таблица 6.2.2 – Категории СТІ

СТІ	Расчет адреса назначения	Время передачи управления относительно СТІ
<code>Bicc</code> , <code>FBfcc</code> , <code>CBccc</code>	относительно <code>PC</code>	по условию и с задержкой
<code>CALL</code>	относительно <code>PC</code>	с задержкой
<code>JMPL</code> , <code>RETT</code>	косвенно из регистров	с задержкой
<code>Ticc</code>	косвенно из регистров, векторно	без задержки

- СТІ относительно `PC`. Адрес назначения рассчитывается из дополнения её непосредственного поля до 32-разрядной константы со знаком, сдвига влево на 2 разряда этого пословного смещения для создания побайтового смещения, и прибавления получившегося байтового смещения к содержимому `PC`.

- СТІ косвенно из регистров. За адрес назначения принимается « $r[rs1] + r[rs2]$ », если $i = 0$ или « $r[rs1] + \text{sign_ext}(\text{sim}13)$ », если $i = 1$.

- СТІ косвенно из регистров, векторно. Адрес назначения рассчитывается поэтапно. Сначала рассчитывается тип системного прерывания: « $127 + r[rs1] + r[rs2]$ », если $i = 0$ или « $127 + r[rs1] + \text{sign_ext}(\text{sim}13)$ », если $i = 1$. Данный тип системного прерывания сохраняется в поле `tt` регистра `TBR`. Итоговое содержимое `TBR` составляет адрес назначения СТІ.

- STI с задержкой (DCTI). Передача управления инструкцией по адресу назначения осуществляется после задержки в 1 инструкцию. Инструкция задержки, выполняется после инструкции STI, но до того, как будет выполнен переход по адресу назначения STI.

- STI без задержки. Управление передается по адресу назначения непосредственно после выполнения STI.

- STI по условию и с задержкой (DCTI по условию). Данный вид STI может вызывать передачу управления, как с задержкой, так и без нее, в зависимости от значения аннулирующего бита «а» инструкции, как для условной передачи, так и для безусловной.

Следует отметить, что как инструкции передачи управления с задержкой, так и по условию и с задержкой классифицируются, как STI с задержкой или DCTI.

Инструкция задержки

Инструкция, на которую ссылается nPC, когда встретила инструкцию передачи управления с задержкой, называется инструкцией задержки. Обычно это следующая последовательная инструкция в пространстве инструкций (т.е. расположенная по адресу PC + 4). Однако если инструкция, непосредственно предшествующая DCTI, сама является DCTI, то адресом инструкции задержки фактически является адрес назначения предшествующей DCTI (поскольку на него будет указывать nPC при выполнении рассматриваемого DCTI). Более подробное объяснение приведено в подпункте «[Пары передач управления с задержкой \(DCTI\)](#)».

Передача управления с задержкой

В таблице 6.2.3 показан общий порядок выполнения передачи управления с задержкой. Последовательность адресов для выполнения: 8, 12, 16 и 40. Если инструкция передачи управления не выполняется, то последовательность адресов: 8, 12, 16 и 20.

Таблица 6.2.3 – Передача управления с задержкой

PC перед выполнением	nPC перед выполнением	Инструкция
8	12	не STI
12	16	STI к 40 с задержкой
16	40	не STI
...	...	
40	44	...

Передача управления по условию и с задержкой

Передача управления инструкциями передачи управления по условию и с задержкой зависит от значения аннулирующего бита (a) инструкции и истинности заданного условия. Следует отметить, что бит a доступен только в инструкциях ветвления (Bicc, FBfcc и CBccc).

Если в инструкции передачи управления по условию и с задержкой аннулирующий бит сброшен, то инструкция задержки всегда выполняется. Если же в таких инструкциях аннулирующий бит установлен, то инструкция задержки не выполняется, за исключением случаев, когда инструкция передачи управления по условию выполняет переход по условию. В таблице 6.2.4 приводятся условия выполнения или невыполнения инструкции задержки.

Результат выполнения аннулированной инструкции задержки аналогичен результату выполнения инструкции NOP.

Таблица 6.2.4 – Условия выполнения инструкции задержки

Бит а	Тип ветвления	Выполнение инструкции задержки
а = 0	по условию, переход выполнен	Да
	по условию, переход не выполнен	Да
	безусловный, переход выполнен (ВА и т. д.)	Да
	безусловный, переход не выполнен (ВN и т. д.)	Да
а = 1	по условию, переход выполнен	Да
	по условию, переход не выполнен	Нет (аннулирована)
	безусловный, переход выполнен (ВА и т. д.)	Нет (аннулирована)
	безусловный, переход не выполнен (ВN и т. д.)	Нет (аннулирована)

– По условию при а = 1.

Если в инструкции ветвления по условию а = 1 (исключая «всегда-переходить») и переход не выполнен, инструкция задержки аннулируется (не выполняется), что отображено в таблице 6.2.5. Если переход выполнен, инструкция задержки выполняется.

Таблица 6.2.5 – Невыполненный переход при а = 1

PC	nPC	Инструкция	Действие
8	12	не СТИ	выполнено
12	16	ветвление к 40 по условию (а = 1)	переход не выполнен
16	20	не СТИ	не выполнено (аннулировано)
20	24	...	выполнено

– По условию при а = 0.

Если в инструкции ветвления по условию а = 0 (включая «всегда-переходить»), инструкция задержки выполняется независимо от того, выполнен переход или нет (см. таблицу 6.2.6).

Таблица 6.2.6 – Невыполненный переход при а = 0

PC	nPC	Инструкция	Действие
8	12	не СТИ	выполнено
12	16	ветвление к 40 по условию (а = 0)	переход не выполнен
16	20	не СТИ	выполнено
20	24	...	выполнено

– Безусловный переход с задержкой.

Если а = 0 в инструкции безусловного перехода («всегда-переходить» или «никогда-не-переходить», т. е. ВА, FBA, CBA, ВN, FBN и CBN), инструкция задержки всегда выполняется. Если а = 1 в инструкции безусловного перехода, инструкция с задержкой не выполняется.

Замечания по программированию

Всегда-переходить с а = 1 может быть использована супервизором во время выполнения программы для динамической замены нереализованной команды операцией ветвления в связанную эмулирующую процедуру, которую он записывает в адресное пространство пользователя. При повторном выполнении накладные расходы на эмуляцию нереализованной команды значительно сокращаются. Первые несколько инструкций эмулирующей процедуры можно специально приспособить под предоставление операндов замененной команды во время выполнения.

Замечания по программированию

Аннулирующий бит повышает вероятность того, что компилятор сможет найти полезную инструкцию для заполнения слота задержки после операции ветвления, тем самым сокращая количество выполняемых программой инструкций. Ниже приведены два примера.

Аннулирующий бит может использоваться для перемещения инструкции из тела цикла в слот задержки операции ветвления, которая находится в конце цикла. Если в *Bicc* (см. таблицу 6.2.7) бит $a = 0$, то компилятор может переместить инструкцию, которая не является инструкцией передачи управления, из тела цикла в позицию *D*. Если в *Bicc* $a = 1$, то компилятор может скопировать инструкцию, которая не является инструкцией передачи управления, с позиции *L* в позицию *D* и изменить точку назначения операции ветвления *Bicc* на L' .

Таблица 6.2.7 – Пример кода цикла

Адрес	Инструкция
L:	не СТИ
L':	не СТИ
	<i>Bicc</i> к L
D:	не СТИ

Аннулирующий бит может использоваться для перемещения инструкции из ветвей «else» или «then» программного блока «if-then-else» в слот задержки операции ветвления, которая выбирает в которую из них зайти. Поскольку инструкции ветвления по условию поддерживают проверку, как истинности, так и ложности для всех доступных условий, компилятор может компоновать код (возможно с инвертированием значения условий проверки ветвления) таким образом, чтобы инструкция, которая не является инструкцией передачи управления, из ветви «else» или «then» была перемещена в слот задержки инструкции ветвления «if». Такая оптимизация показана в таблице 6.2.8.

Таблица 6.2.8 – Оптимизация «if-then-else»

Адрес	Инструкция	Адрес	Инструкция
DELAY:	<i>Bicc</i> (по условию, $a = 1$) THEN инструкция 1 ветви then	DELAY:	<i>Bicc</i> (по условию, $a = 1$) ELSE инструкция 1 ветви else
ELSE:	инструкция 1 ветви else goto ...	THEN:	инструкция 1 ветви then goto ...
THEN:	инструкция 2 ветви then	ELSE:	инструкция 2 ветви else

Инструкции CALL и JMPL

С помощью инструкции *CALL* в $r[15]$ (выходной регистр 7 – %o7) записывается содержимое *PC* (который указывает на саму инструкцию *CALL*). Инструкция *CALL* вызывает передачу управления с задержкой в произвольный адрес назначения, вычисляемый относительно *PC*.

С помощью инструкции *JMPL* в регистр r , определяемый полем *rd*, записывается содержимое *PC* (который указывает на саму инструкцию *JMPL*). Инструкция *JMPL* вызывает передачу управления с задержкой в произвольный адрес назначения.

Инструкция SAVE

Инструкция *SAVE* аналогична инструкции *ADD*, за исключением того, что первая ещё и уменьшает *CWP* на 1. При этом окно ($CWP - 1$) становится новым текущим окном, таким образом «сохраняя» окно вызывающей подпрограммы. Притом, исходные значения

регистров для операции суммирования берутся из окна CWP, в то время как результат записывается в регистр окна (CWP – 1).

Инструкция RESTORE

Инструкция RESTORE также аналогична инструкции ADD, за исключением того, что первая увеличивает CWP на 1. При этом окно (CWP + 1) становится новым текущим окном, таким образом, окно вызывающей программы «восстанавливается». Притом, исходные значения регистров для операции суммирования берутся из окна CWP, в то время как результат записывается в регистр окна (CWP + 1).

Инструкции SAVE и RESTORE сравнивают новое значение CWP с маской недопустимости окна (WIM) на предмет переполнения или обратного переполнения окна.

Замечания по программированию

Вызов процедуры осуществляется через выполнение инструкции CALL (или JMPL). Если процедуре требуется регистровое окно, то она выполняет инструкцию SAVE. Подпрограмма, которая не выделяет регистрового окна под собственные нужды (вероятно «листовая» процедура, т.е. не имеющая в своем составе вложенных вызовов), не должна перезаписывать никакие регистры окна, за исключением выходных регистров 0...6 (следует учитывать, что в %об хранится текущее значение стека).

Возврат из процедуры, использующей регистровое окно, выполняется с помощью инструкций RESTORE и JMPL. Возврат из процедуры, не использующей выделения нового регистрового окна, выполняется с помощью одной только инструкции JMPL. Обычно инструкция JMPL осуществляет возврат к инструкции, следующей за инструкцией задержки инструкций CALL или JMPL; другими словами, стандартный адрес возврата: 8 плюс адрес, сохраненный с помощью CALL или JMPL.

Инструкции SAVE и RESTORE могут использоваться для атомарности установки нового указателя стека памяти в регистр r и обновления CWP.

Инструкции системных прерываний (Ticc)

С помощью инструкции Ticc проводится оценка кодов условий, обозначенных в поле cond и, в случае истинности результата, генерация системного прерывания. Другими словами, они изменяют поле tt базового регистра системных прерываний (TBR) и вызывают передачу управления без задержки по адресу TBR. Если выбранные коды условий оцениваются как ложные, результат выполнения инструкции аналогичен NOP.

Инструкция Ticc может задавать один из 128 типов программного системного прерывания, который может быть помещен в поле tt регистра TBR. После того как Ticc сработала, процессор запрещает системные прерывания, входит в режим супервизора, декрементирует CWP, сохраняет PC и nPC в r[17] и r[18] (локальные регистры 1 и 2) нового окна, помещает значение 128 плюс исходный операнд в поле tt регистра TBR и передает управление по адресу, указанному в TBR. Для получения дополнительной информации – см. подраздел «[5.4 Системные прерывания](#)».

Замечания по программированию

Ticc может использоваться для реализации точек прерывания, отслеживания и передачи управления программному обеспечению супервизора. Ticc может также использоваться для выполнения проверки во время рабочего цикла, например, выхода индекса за пределы массива, целочисленного переполнения и т. д.

Пары передач управления с задержкой (DCTI)

Если инструкция задержки сама является инструкцией передачи управления, такую пару инструкций называют парой инструкции передачи управления с задержкой (парой DCTI). Порядок выполнения пары DCTI представлен в таблице 6.2.10, он базируется на последовательности кода, приведенного в таблице 6.2.9.

Таблица 6.2.9 – Пример кода пары DCTI

адрес	инструкция	адресат
8:	не CTI	
12:	CTI	40
16:	CTI	60
20:	не CTI	
24:	...	
40:	не CTI	
44:	...	
60:	не CTI	
64:	...	

В первых пяти случаях, рассмотренных в таблице 6.2.10, первая инструкция пары DCTI – CTI, которая вызывает передачу управления. Данные блоки характерны для элементов связи DCTI, которые возникают при возврате кода пользователя после обработки сортировщиком системных прерываний с помощью элементов связи инструкции «JMPL, RETT». «JMPL, RETT» и «RETT, CTI пользователя» возникают при возврате после обработки сортировщиком системных прерываний.

В шестом случае из таблицы 6.2.10 первая инструкция пары DCTI (возможно, невыполняемая) – ветвление по условию, при этом адрес назначения пары DCTI принадлежит адресному пространству, в котором располагается пара DCTI, но в остальном он является неопределенным.

Таблица 6.2.10 – Порядок выполнения элементов связи DCTI по адресу

Случай	12: CTI к 40	16: CTI к 60	Порядок выполнения по адресу
1	безусловная DCTI	выполняемая DCTI	12, 16, 40, 60, 64, ...
2	безусловная DCTI	невыполняемая В*сс (а = 0)	12, 16, 40, 44, ...
3	безусловная DCTI	невыполняемая В*сс (а = 1)	12, 16, 44, 48, ... (40 аннулирован)
4	безусловная DCTI	В*А (а = 1)	12, 16, 60, 64, ... (40 аннулирован)
5	В*А (а = 1)	любая CTI	12, 40, 44, ... (16 аннулирован)
6	В*сс	DCTI	12, не определяется

Примечание – Если бит «а» не обозначен, он может быть сброшен или установлен. Аббревиатуры, используемые в данной таблице, сведены в таблицу 6.2.11.

Таблица 6.2.11 – Аббревиатуры, используемые в предыдущей таблице

Аббревиатура	Наименование инструкций
В*А	ВА, FBA или CBA
В*сс	Bicc, FBfсс или CBссс (включая BN, FBN, CBN, но исключая В*А)
безусловная DCTI	CALL, JMPL, RETT или В*А (при а = 0)
выполняемая DCTI	CALL, JMPL, RETT, В*А (при а = 0) или выполняемый В*сс

6.2.4 Чтение/запись регистров состояния

Инструкции чтения / записи регистра состояния осуществляют доступ к видимым для программы регистрам состояния и статуса. С помощью данных инструкций выполняется считывание / запись регистров состояния в / из регистры г. Инструкция чтения / записи вспомогательного регистра состояния является привилегированной, если регистр, к которому выполняется доступ, является привилегированным.

6.2.5 Инструкции операций с плавающей запятой (FPop)

Инструкции операций с плавающей запятой (FPop) обычно используют триаду адресов регистров. Они вычисляют результат, являющийся функцией двух исходных операндов, и записывают его в регистр назначения f. Исключения составляют операции преобразования с плавающей запятой (использующие один исходный операнд и один операнд назначения) и операции сравнения с плавающей запятой (которые не выполняют записи в регистр f, но обновляют поле fcc регистра FSR). Если блок с плавающей запятой не присутствует или если $PSR.EF = 0$, то инструкция FPop генерирует системное прерывание `fp_disabled`.

Термин «FPop» относится к инструкциям с кодами операций FPop1 и FPop2, он не включает в себя инструкций ветвления, основанные на кодах условий операций с плавающей запятой (FBfcc) или инструкций загрузки / сохранения с плавающей запятой.

Все инструкций FPop сбрасывают поле `fit` и устанавливают поле `sехs`, если их выполнение не было прервано системным прерыванием. Некоторые инструкций FPop также осуществляют запись в поле `fcc`. Все инструкций FPop, которые могут генерировать исключения IEEE, устанавливают поля `sехs` и `аехs`, если их выполнение не было прервано системным прерыванием. Инструкций FABS, FMOV и FNEG не могут генерировать исключения IEEE, поэтому они сбрасывают поле `sехs`, а поле `аехs` оставляют в неизменном виде.

6.2.6 Инструкции сопроцессора (CPop)

Инструкции сопроцессора выполняются присоединенным сопроцессором. Если сопроцессора нет или $PSR.EC = 0$, то CPop вызывают системное прерывание `cp_disabled`.

Поля инструкций CPop, за исключением `ор` и `ор3` интерпретируются исключительно самим сопроцессором.

Термин «CPop» относится к инструкциям с кодами операций CPop1 и CPop2, он не включает в себя инструкций ветвления, основанные на кодах условий сопроцессора (CBcc), или инструкций загрузки / сохранения сопроцессора.

7 Программно-аппаратный комплекс средств разработки и отладки

7.1 Интегрированная среда разработки и отладки приложений

Интегрированная среда разработки (далее ИСР) предназначена для поддержки процесса разработки программного обеспечения (ПО) для 32-разрядного процессора архитектуры SPARC V8 (далее LEON4) и предоставляет пользователю следующую функциональность:

- управление проектами и конфигурациями разрабатываемого ПО;
- синтаксически ориентированное редактирование исходных текстов на языках C++, C и ассемблер;
- автоматическая проверка синтаксической корректности исходных текстов в процессе редактирования;
- отображение подсказок, автоматическое дополнение и рефакторинг на основе структурного анализа исходного текста;
- поддержка процесса сборки проекта с использованием утилит командной строки (компилятор C++, ассемблер, линкер и др.);
- структурированное отображение диагностических сообщений по результатам сборки проекта (ошибок, предупреждений) с привязкой к позициям в исходном тексте;
- обеспечение процесса интерактивной (высокоуровневой и низкоуровневой) отладки ПО;
- поддержка отладки с использованием аппаратного отладчика;
- отображение и редактирование данных, содержащихся в памяти и регистрах общего и специального назначения.

ИСР выполнена на основе Eclipse CDT и плагина LEON C/C++ IDE for Eclipse и предоставляет пользователю графический интерфейс к следующим компонентам:

- компилятору C/C++;
- ассемблеру;
- линкеру и утилитами;
- аппаратному отладчику.

7.1.1 Состав ИСР

В состав ИСР входят:

- менеджер проектов;
- редактор исходных текстов;
- подсистема структурного анализа исходного текста;
- подсистема сборки проекта;
- подсистема отладки.

7.1.2 Интерфейс пользователя

По умолчанию в ИСР поддерживаются две перспективы – «разработка проекта» и «отладка». Во втором случае пользователь имеет возможность создавать дополнительные перспективы, а также модифицировать набор, размер и расположение отображаемых интерфейсных элементов в рамках любой из перспектив.

Первоначальное расположение окон пользовательского интерфейса в рамках перспективы «разработка проекта» представлено на рисунке Рисунок 7.1.1.

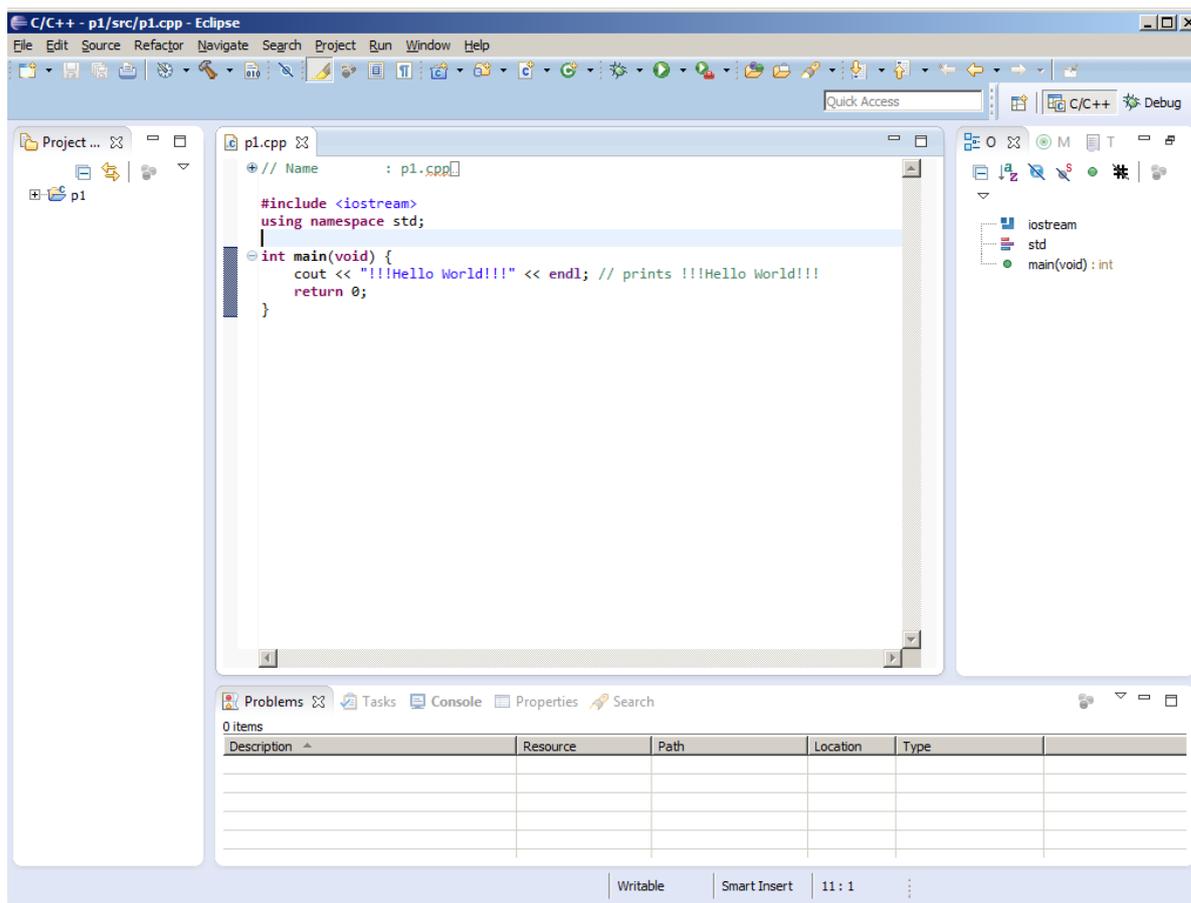


Рисунок 7.1.1 – Пользовательский интерфейс (перспектива «разработка проекта»)

Содержимое окон пользовательского интерфейса:

1 Область отображения проектов содержит список проектов рабочей области. Каждый проект представлен деревом, содержащим подключённые к проекту каталоги и файлы.

2 Область редактирования содержит окна с содержимым редактируемых файлов. Переключение между окнами осуществляется с помощью интерфейсного механизма закладок.

3 Область отображения структурных элементов содержит список структурных элементов исходного текста программы, содержащегося в текущем редактируемом файле.

4 Область отображения дополнительной информации содержит следующие окна:

- окно отображения списка синтаксических и семантических ошибок, обнаруженных подсистемой структурного анализа исходного текста;
- окно отображения результата мультифайлового поиска;
- окно отображения диагностических сообщений компилятора, ассемблера и линкера.

Переключение между окнами осуществляется с помощью интерфейсного механизма закладок.

Первоначальное расположение окон пользовательского интерфейса в рамках перспективы «отладка» представлено на рисунке 7.1.2.

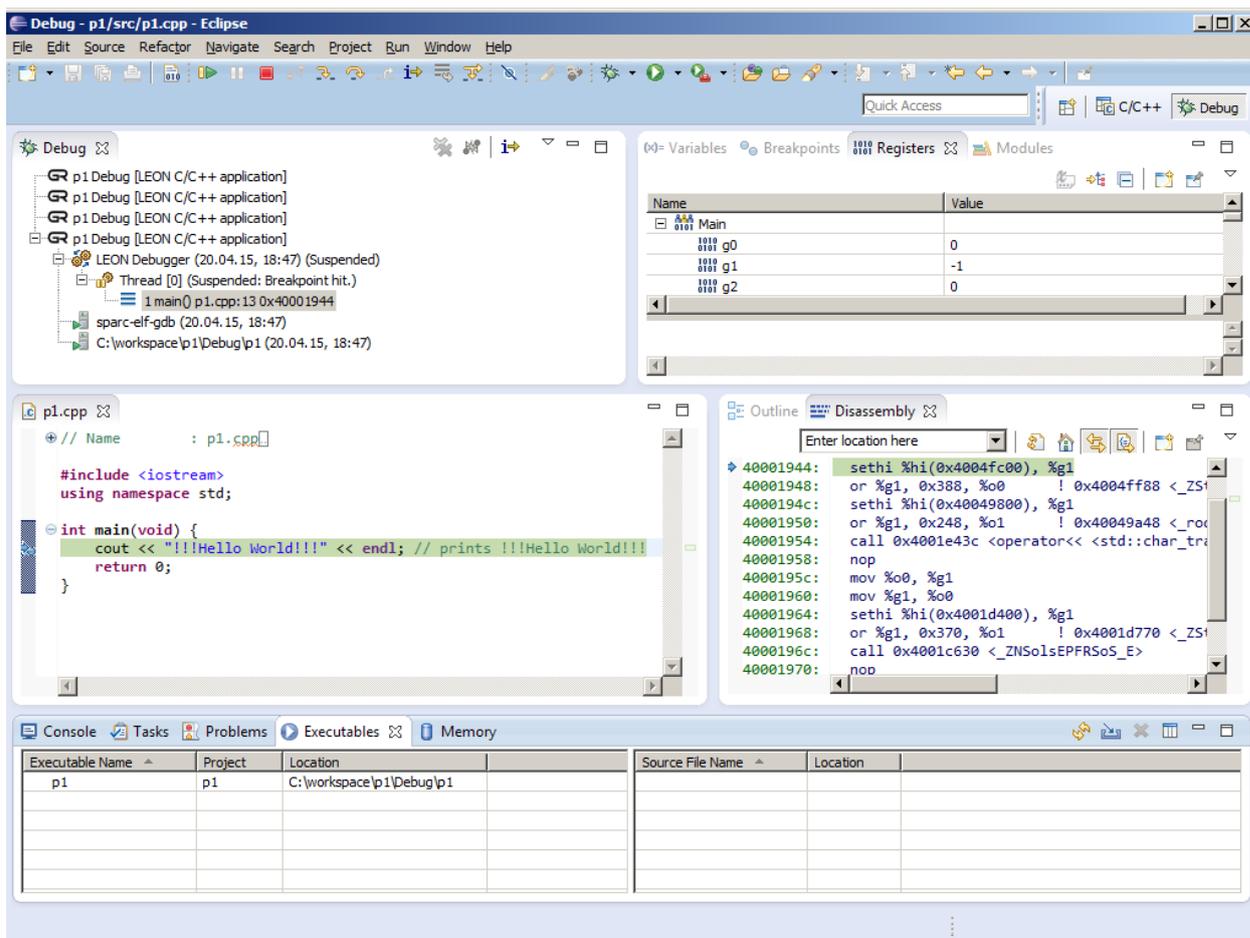


Рисунок 7.1.2 – Пользовательский интерфейс (перспектива «отладка»)

Содержимое окон пользовательского интерфейса:

1 Область подсистемы отладки содержит структурированную в виде дерева информацию о состоянии подсистемы отладки.

2 Область отображения переменных и точек останова содержит следующие окна:

- окно отображения и редактирования указанных пользователем переменных;
- окно отображения и редактирования регистров общего назначения;
- окно отображения и редактирования регистров специального назначения;
- окно с описанием заданных пользователем точек останова.

3 Область отображения исходного текста содержит исходный текст текущего отлаживаемого модуля программы.

4 Область отображения дизассемблера содержит дизассемблированный исполняемый код отлаживаемой программы.

5 Область отображения дополнительной информации содержит следующие окна:

- окно консоли;
- окна отображения и редактирования памяти;
- окно с динамическим списком исполняемых файлов и связанных с ними файлов исходного текста.

Переключение между окнами осуществляется с помощью интерфейсного механизма закладок.

Диалоги настроек предоставляют доступ к различным параметрам ИСР, которые могут быть заданы или изменены пользователем. Настройки делятся на следующие категории:

- настройки ИСР в целом;

- настройки, связанные с конкретным проектом;
- настройки, связанные с конкретным исходным файлом проекта.

Для каждой категории настройки делятся на смысловые группы. Диалог настроек разделен на две части. Слева расположено дерево, отображающее иерархию групп настроек данной категории, с возможностью фильтрации по названию группы. Справа – панель для доступа к настройкам выбранной группы.

Основные типы настроек ИСР:

1 Общие настройки графического интерфейса, связанные с отображением его элементов, а также горячие клавиши.

2 Управление перспективами.

3 Настройки менеджера проектов (порядок сборки проектов, действия при запуске/завершении).

4 Общие настройки текстового редактора.

5 Языково-ориентированные настройки текстового редактора:

- стиль отображения синтаксиса;
- настройки и шаблоны автоматического форматирования и автодополнения;
- настройки, задающие параметры стиля программирования;
- настройки, связанные со структурным анализом исходного текста.

6 Общие настройки подсистемы сборки (переменные окружения, журналирование и др.).

7 Общие настройки подсистемы отладки.

Часть типов настроек проекта является полным аналогом общих настроек ИСР (в части настроек текстового редактора, подсистем сборки и отладки). Значения этих настроек действуют при работе с указанным проектом, либо с файлами, входящими в проект (например, настройки редактора). По умолчанию, значения этих настроек наследуются из общих настроек ИСР, однако, они могут быть и заданы явно.

Кроме того, настройки проекта содержат дополнительную специфическую часть, а именно:

- параметры сборки (группируются в рамках конфигураций). Используются подсистемой сборки проекта для задания опций утилит командной строки;
- зависимости между проектом и другими проектами;
- управление сессиями отладки.

Настройки конкретного файла служат для перекрытия части настроек проекта, в основном, это касается параметров сборки. Данный механизм позволяет, в частности, производить компиляцию отдельных исходных файлов с значениями опций, отличных от значений для всех остальных файлов проекта, либо полностью исключить конкретный файл из процесса сборки в рамках заданной конфигурации.

7.1.3 Функциональные блоки

Менеджер проектов

Менеджер проектов отвечает за работу с проектами. Он обеспечивает загрузку проектов в ИСР, управление составом проектов, а также набором конфигураций проекта – параметрами, связанными как с проектом в целом, так и с отдельными файлами, входящими в проект.

Менеджер проектов поддерживает следующую функциональность:

а) работа с файлами проекта (содержащими информацию о проекте) – загрузка в ИСР и сохранение изменений;

б) поддержка работы со списком существующих проектов в области отображения проектов – загрузка/выгрузка, создание, удаление и переименование проектов, управление зависимостями между проектами;

в) поддержка работы с составом проекта – подключение, создание новых, переименование и удаление исходных файлов и каталогов;

г) анализ и отображение зависимостей исходных файлов и включаемых (include) файлов;

д) управление редактированием исходных файлов, входящих в проект;

е) поддержка доступа к настройкам проекта и отдельных исходных файлов в рамках конфигураций, управление списком конфигураций;

ж) управление подсистемой сборки проекта (передача необходимых параметров).

Редактор исходных текстов

Данная компонента предоставляет возможность пользователю создавать и модифицировать контент текстовых файлов как входящих в проект, так и загружаемых отдельно. Хотя редактор может быть успешно использован для работы с текстовыми файлами общего вида (например, исходниками документации, файлами описания релиза и прочее), основное его назначение – редактирование исходных (в том числе включаемых) файлов на языках C/C++ и ассемблер.

Исходя из этого, редактор содержит специфическую функциональность (в дополнение к стандартной функциональности текстовых редакторов офисного уровня), поддерживающую синтаксически-ориентированное редактирование и позволяющую в несколько раз ускорить написание программ, а именно:

1 Автоматическое выделение цветом:

– ключевых слов языков C++, C и ассемблера;

– имен регистров общего и специального назначения;

– разрешенных подсистемой структурного анализа исходного текста имен (переменных, методов, классов и пр.).

2 Предварительный синтаксический анализ:

– нотификация пользователя об ошибочных (синтаксически некорректных) элементах редактируемого текста;

– нотификация пользователя об ошибочных (не разрешенных подсистемой структурного анализа исходного текста) именах.

3 Поддержка работы со структурой текста:

– автоматическая расстановка отступов и переносов строк;

– свертка/развертка описания структурных элементов (классов, методов, функций, типов и пр.);

– свертка/развертка многострочных комментариев.

4 Поддержка работы с семантически значимыми элементами входного языка:

– автоматическое дописывание текста (например, добавление скобок после оператора «if»);

– автоматическое дополнение (подсказка с возможностью выбора) вложенных структурных элементов (например, предъявление списка полей при вводе имени переменной структурного типа);

– автоматическое переименование переменных, функций, методов, классов и пр. во всех файлах проекта (рефакторинг);

– автоматическое отображение строк объявления имени при наведении курсора на разрешенное имя;

– переход (например, по нажатию Ctrl + Right click) в строку объявления разрешенного имени в исходном тексте.

7.1.4 Подсистема структурного анализа исходных текстов

Подсистема структурного анализа исходного текста занимается составлением и поддержкой в актуальном состоянии списка всех объявленных в проекте идентификаторов. Для этого подсистема структурного анализа исходного текста производит парсинг и интерпретацию всех исходных и включаемых (include) файлов проекта. Интерпретация производится как при подключении нового файла к проекту, так и при сохранении отредактированного файла. Далее эта информация используется редактором исходных текстов и менеджером проектов.

В редакторе эта информация используется для поддержки функций синтаксически-ориентированного редактирования.

В менеджере проектов эта информация используется для индикации состояния файла (наличие синтаксических ошибок) в дереве проекта.

7.1.5 Подсистема отладки

Подсистема отладки обеспечивает загрузку, запуск на исполнение и отладку исполняемого кода на реальном микроконтроллере LEON4, с использованием аппаратного отладчика, работающего по JTAG-интерфейсу.

На уровне интерфейса пользователя, подсистема отладки предоставляет доступ к:

– исходному и объектному коду программы, с указанием текущей позиции счетчика команд;

– текущим значениям переменных программы пользователя;

– стеку вызовов функций;

– различным ресурсам микроконтроллера (регистры, память и т.п.);

– списку пользовательских точек останова.

С точки зрения взаимодействия с целевой архитектурой, подсистема отладки обеспечивает:

– загрузку исполняемого кода в память целевого процессора;

– запуск на исполнение программы на целевом процессоре;

– останов (паузу) исполнения по команде пользователя;

– установку точек останова по коду;

– установку точек останова по данным (события чтения/записи);

– чтение / запись данных из памяти и регистров.

7.2 Программное обеспечение «GRAIP»

Программное обеспечение «GRAIP» РОФ.КФДЛ.00398 представляет собой консольное приложение, позволяющее выполнять программирование и отладку программ, разработанных для ИС 1906BM016.

7.3 Аппаратная часть

На рисунке показана плата отладочного устройства КФДЛ.424939.013 для ИС 1906BM016.

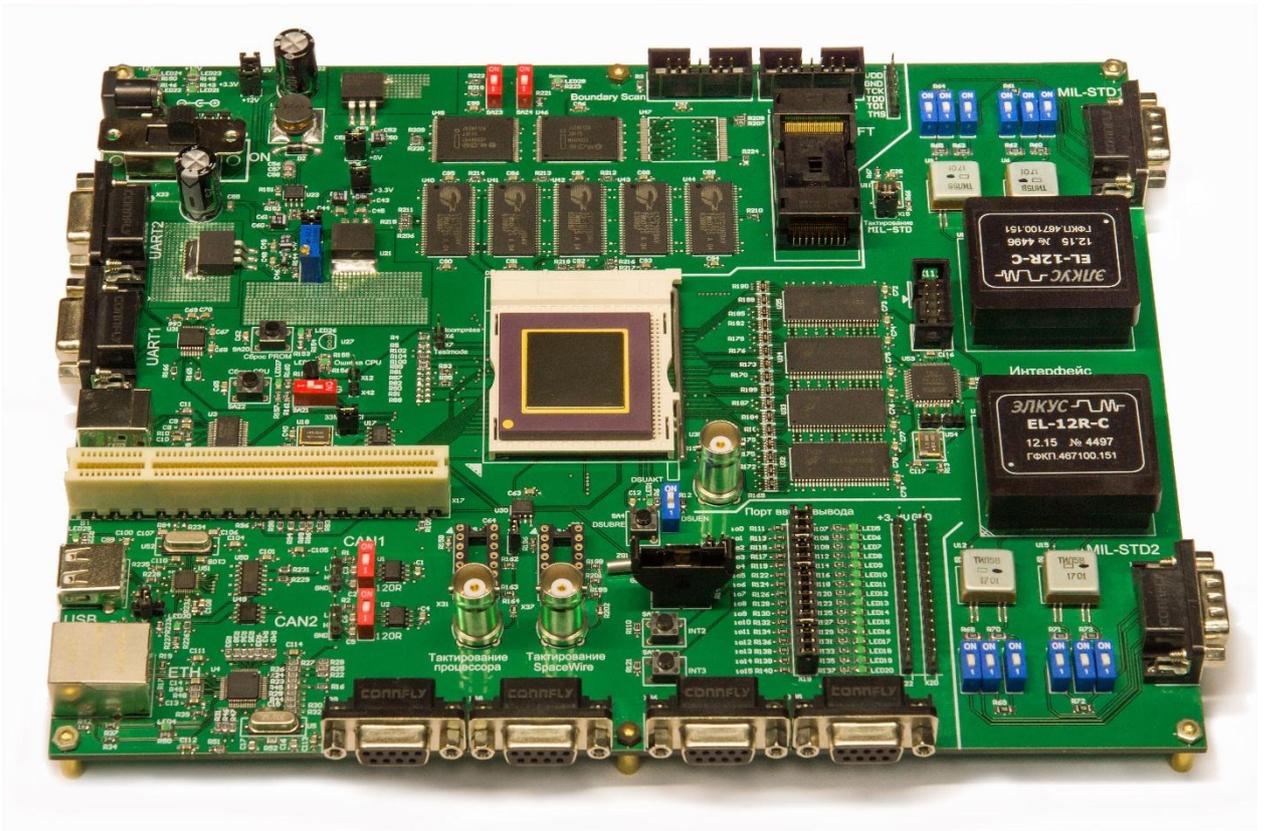


Рисунок 7.3.1 – Внешний вид платы отладочного устройства КФДЛ.424939.013

Для обеспечения взаимодействия ПО ИСР и отладочной платы служит адаптер JEM – LEON, подключаемый к USB–разъему персонального компьютера и JTAG–разъему на базовой отладочной плате (см. рисунок 7.3.2).



Рисунок 7.3.2 – Адаптер JEM – LEON

Адаптер выполнен в пластиковом корпусе и имеет разъем USB для подключения к персональному компьютеру с одной стороны и разъем для подключения отлаживаемого устройства с другой стороны. Электропитание адаптера осуществляется от порта USB компьютера.

Контакты отладочного разъема (рисунок 7.3.3) должны подключаться к плате пользователя в соответствии с таблицей 7.3.1.

Таблица 7.3.1– Контакты отладочного разъема

Название контакта	Номер контакта		Название контакта
VCC	1	2	VCC
NC	3	4	TRST
TDI	5	6	GND
TMS	7	8	GND
TCK	9	10	GND
TDO	11	12	GND
RSTN	13	14	GND

Описание назначения контактов, приведенных в таблице 7.3.1:

- VCC – напряжение питания +3,3 В на плате пользователя, соединяется с выводами VCC2 микропроцессора;
- GND – общий, соединяется с выводами GND микропроцессора;
- RSTN – сброс, соединяется с выводом RESETN# микропроцессора;
- TMS – соединяется с выводом TMS микропроцессора;
- TDI – соединяется с выводом TDI микропроцессора;
- TDO – соединяется с выводом TDO микропроцессора;
- TCK – соединяется с выводом TCK микропроцессора;
- TRST – сброс JTAG порта (выход отладчика, открытый сток с подтяжкой к VCC), может оставаться неподключенным;
- NC – не подключается.

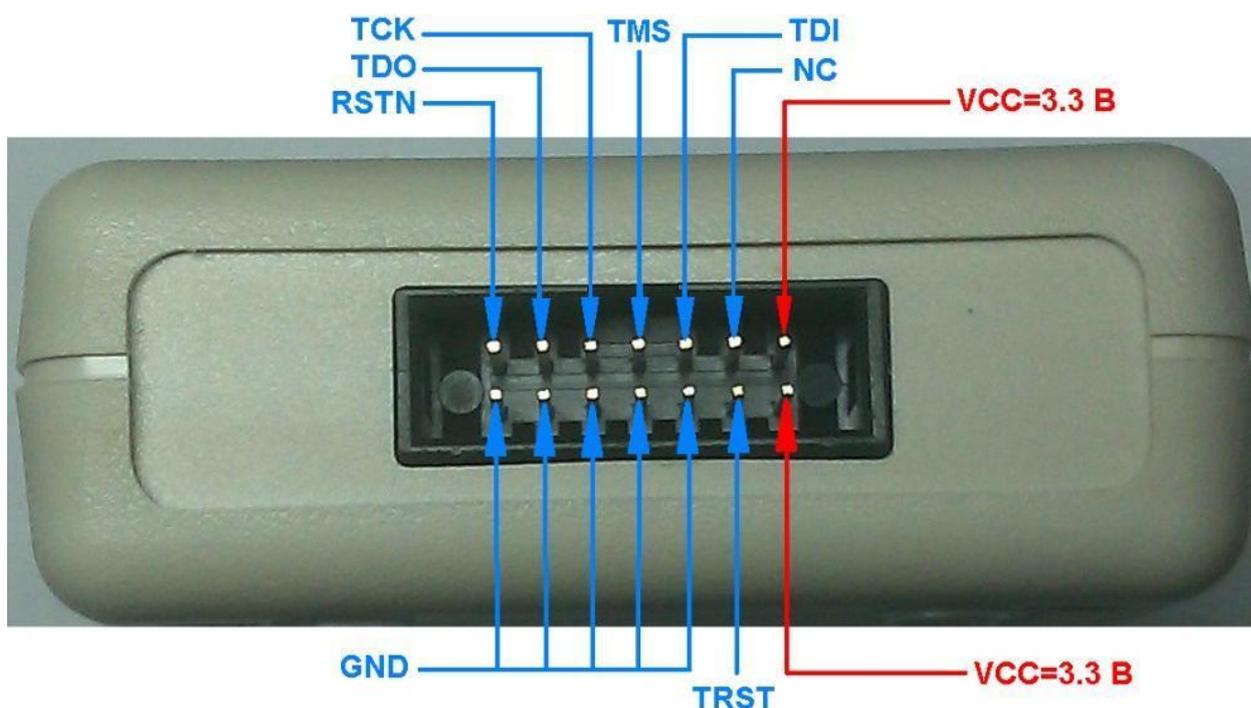


Рисунок 7.3.3– Разъем аппаратного блока адаптера

8 Заключение

В настоящем руководстве пользователя приведено подробное описание архитектуры, функционального построения, системы команд и особенностей применения ИС 1906BM016, которая представляет собой 32-разрядный процессор на базе ядра LEON4 архитектуры SPARC V8, с поддержкой расширения V8e, с контроллерами интерфейсов PCI 2.2, Ethernet 10/100, SpaceWire, CAN 2.0B, USB 2.0, MIL-STD-1553, JTAG, DSU, UART, таймерами/счетчиками общего назначения, сторожевым таймером, портом ввода/вывода общего назначения.

Микропроцессор предназначен для применения в перспективных системах управления аппаратами авиационных и космических направлений.

Все значения электрических параметров микросхем приведены в технических условиях АЕНВ.431280.039ТУ. Значения параметров, приведенные в настоящем РП, являются справочными.

Руководство пользователя может служить практическим руководством по применению микропроцессора для разработчиков систем на основе ИС 1906BM016 и программистов.

Приложение А

(обязательное)

Описание инструкций

В настоящем приложении приводятся обозначения, используемые в описаниях синтаксических структур языка ассемблера, а также список некоторых искусственных инструкций, предусмотренных ассемблером архитектуры SPARC для удобства программистов, работающих с языком ассемблера.

Используемые обозначения

Описание синтаксических структур в данном приложении построено на использовании различных типов шрифтов. Элементы, выделенные полужирным шрифтом, – литеральные константы, которые должны записываться в том виде, в котором приведены. Элементы, выделенные курсивом, – метасимволы, которые должны заменяться числовыми или символьными значениями при записи фактического кода на языке ассемблера SPARC. Например, «*asi*» должно быть заменено числом в диапазоне от 0 до 255 (значение битов *asi* в двоичной инструкции) или символом, соответствующим такому числу.

Нижний индекс символов языка обозначает размещение компонента операции в сгенерированной двоичной инструкции. Например, *reg_{rs2}* – это *reg* (имя регистра), чье двоичное значение размещается в поле *rs2* результирующей инструкции.

Имена регистров

reg – имя целочисленного регистра. Оно может принимать одно из следующих значений:

%r0 ... %r31
%g0 ... %g7 (глобальные регистры; эквивалент **%r0 ... %r7**)
%o0 ... %o7 (выходные регистры; эквивалент **%r8 ... %r15**)
%l0 ... %l7 (локальные регистры; эквивалент **%r16...%r23**)
%i0 ... %i7 (входные регистры; эквивалент **%r24 ... %r31**)
%fp (указатель фрейма; условное обозначение **%i6**)
%sp (указатель стека; условное обозначение **%o6**)

Фактически, предпочтение отдается формам **%sp**, **%fp**, **%gn**, **%on**, **%ln** и **%in**, а не **%rn**.

Нижний индекс обозначает размещение компонента операции в бинарной инструкции:

reg_{rs1} (поле *rs1*)
reg_{rs2} (поле *rs2*)
reg_{rd} (поле *rd*)

freg – имя регистра с плавающей запятой. Оно может принимать одно из следующих значений:

%f0 ... %f31

Нижний индекс обозначает размещение компонента операции в бинарной инструкции:

freg_{rs1} (поле *rs1*)

freg_{rs2} (поле rs2)

freg_{rd} (поле rd)

creg – имя регистра сопроцессора. Оно может иметь одно из следующих значений:
%c0 ... %c31

Нижний индекс обозначает размещение компонента операции в бинарной инструкции:

creg_{rs1} (поле rs1)

creg_{rs2} (поле rs2)

creg_{rd} (поле rd)

asr_{reg} – имя вспомогательного регистра состояния. Оно может принимать одно из следующих значений:

%asr1 ... %asr31

Нижний индекс обозначает размещение компонента операции в бинарной инструкции:

asr_{reg_{rs1}} (поле rs1)

asr_{reg_{rd}} (поле rd)

Имена специальных символов

Специальные символы в таблице синтаксических структур обозначены полужирным шрифтом. Они должны записываться в таком же виде, включая знак процента вначале (%). Знак процента является частью имени символа и должен записываться вначале.

Имена символов и регистры или операторы, на которых они ссылаются:

%psr регистр состояния процессора

%wim регистр маски недопустимости окна

%tbr базовый регистр системных прерываний

%y регистр Y

%fsr регистр состояния операций с плавающей запятой

%csr регистр состояния сопроцессора

%fq очередь операций с плавающей запятой

%cq очередь сопроцессора

%hi унарный оператор, извлекающий старшие 22 бита своего операнда

%lo унарный оператор, извлекающий младшие 10 битов своего операнда

Непосредственные значения:

imm7 Непосредственная константа в диапазоне от –64 до 127
(представляет собой 7 бит, со знаком или без знака)

uimm7 Непосредственная константа в диапазоне от 0 до 127
(представляет собой 7 бит, без знака)

simm13 Непосредственная константа в диапазоне от –4 096 до 4 095
(представляет собой 13 бит, со знаком)

const22 Константа, которая может быть представлена с помощью 22-х битов

asi Идентификатор адресного пространства.

Непосредственная константа в диапазоне от 0 до 255.
(представляет собой 8 бит, без знака).

Метки

Метка – это последовательность символов из букв алфавита «a – z, A – Z» (верхнего и нижнего регистра), подчеркивания «_», знака доллара «\$», точек «.» и десятичных цифр «0 – 9». Метка может содержать десятичные цифры, но не может начинаться с них.

Другие синтаксические структуры компонентов операции

В некоторых инструкциях используются разные синтаксические структуры компонента операции:

address:

reg_{rs1} (эквивалентно: *reg_{rs1}* + %g0)

reg_{rs1} + *reg_{rs2}*

reg_{rs1} + *simm13*

reg_{rs1} – *simm13*

simm13 (эквивалентно: %g0 + *simm13*)

simm13 + *reg_{rs1}* (эквивалентно: *reg_{rs1}* + *simm13*)

regaddr («адрес только из регистра»):

reg_{rs1} (эквивалентно: *reg_{rs1}* + %g0)

reg_{rs1} + *reg_{rs2}*

reg_or_imm («значение из регистра или непосредственное значение»):

reg_{rs2}

simm13

software_trap#:

reg_{rs1} (эквивалентно: *reg_{rs1}* + %g0)

reg_{rs1} + *reg_{rs2}*

reg_{rs1} + *imm7*

reg_{rs1} – *imm7*

uimm7 (эквивалентно: %g0 + *uimm7*)

imm7 + *reg_{rs1}* (эквивалентно: *reg_{rs1}* + *imm7*)

Итоговое значение операнда (номер программного системного прерывания) должно находиться в диапазоне от 0 до 127 включительно.

Комментарии

Большинство ассемблеров SPARC поддерживают два типа комментариев: комментарии в стиле языка C «/*...*/» (которые могут занимать несколько строк) и комментарии «! ...», которые начинаются с символа «!» и длятся до конца строки.

Структура синтаксиса

Предлагаемая синтаксическая структура языка ассемблера SPARC обеспечивает следующее:

- операнд назначения (если имеется) всегда определяется, как последний (крайний справа) операнд в выражении языка ассемблера;

- ссылка на содержимое ячейки памяти (в инструкциях загрузки, сохранения или SWAP) всегда обозначается квадратными скобками «[]». Ссылка на адрес в памяти (такая, как в JMPL, CALL или SETHI) указывается без квадратных скобок.

Искусственные инструкции

В таблице A.1 приводится порядок преобразования набора искусственных инструкций (или «псевдо-инструкций») в фактические инструкции SPARC. Ассемблер SPARC поддерживает данные инструкции для удобства программистов, работающих с языком ассемблера.

Следует отметить, что искусственные инструкции не следует путать с «псевдо-операциями», которые обычно предоставляют информацию компоноющей программе, но не генерируют инструкции. Искусственные инструкции всегда генерируют инструкции; они обеспечивают больше мнемонических синтаксических структур для стандартных инструкций SPARC.

Таблица A.1 – Преобразование искусственных инструкций в инструкции SPARC

Искусственная инструкция	Инструкция(-и) SPARC	Комментарий
1	2	3
cmp <i>reg_{rs1}, reg_or_imm</i>	subcc <i>reg_{rs1}, reg_or_imm, %g0</i>	сравнение
jmp <i>адрес</i>	jmp <i>адрес, %g0</i>	
call <i>адрес</i>	jmp <i>адрес, %o7</i>	
tst <i>reg_{rs2}</i>	orcc <i>%g0, reg_{rs2}, %g0</i>	проверка
ret retl	jmp <i>%i7 + 8, %g0</i> jmp <i>%o7 + 8, %g0</i>	возврат из подпрограммы возврат из листовой подпрограммы
restore save ¹⁾	restore <i>%g0, %g0, %g0</i> save <i>%g0, %g0, %g0</i>	стандартное восстановление стандартное сохранение
set ²⁾ <i>значение, reg_{rd}</i>	sethi <i>%hi(значение), reg_{rd}</i> или or <i>%g0, значение, reg_{rd}</i> или sethi <i>%hi(значение), reg_{rd}</i> ; or <i>reg_{rd}, %lo(значение), reg_{rd}</i>	(значение & 0x1fff) равно 0 (-4096 ≤ значение ≤ 4095) (в противном случае)
not <i>reg_{rs1}, reg_{rd}</i>	xnor <i>reg_{rs1}, %g0, reg_{rd}</i>	поразрядное дополнение до единицы (обратный код)
not <i>reg_{rd}</i>	xnor <i>reg_{rd}, %g0, reg_{rd}</i>	поразрядное дополнение до единицы (обратный код)
neg <i>reg_{rs2}, reg_{rd}</i>	sub <i>%g0, reg_{rs2}, reg_{rd}</i>	поразрядное дополнение до двух (дополнительный код)
neg <i>reg_{rd}</i>	sub <i>%g0, reg_{rd}, reg_{rd}</i>	поразрядное дополнение до двух (дополнительный код)
inc <i>reg_{rd}</i>	add <i>reg_{rd}, 1, reg_{rd}</i>	увеличение на 1
inc <i>const13, reg_{rd}</i>	add <i>reg_{rd}, const13, reg_{rd}</i>	увеличение на const13
inccc <i>reg_{rd}</i>	addcc <i>reg_{rd}, 1, reg_{rd}</i>	увеличение на 1 и установка icc
inccc <i>const13, reg_{rd}</i>	addcc <i>reg_{rd}, const13, reg_{rd}</i>	увеличение на const13 и установка icc
dec <i>reg_{rd}</i>	sub <i>reg_{rd}, 1, reg_{rd}</i>	уменьшение на 1
dec <i>const13, reg_{rd}</i>	sub <i>reg_{rd}, const13, reg_{rd}</i>	уменьшение на const13
deccc <i>reg_{rd}</i>	subcc <i>reg_{rd}, 1, reg_{rd}</i>	уменьшение на 1 и установка icc
deccc <i>const13, reg_{rd}</i>	subcc <i>reg_{rd}, const13, reg_{rd}</i>	уменьшение на const13 и установка icc

Окончание таблицы А.1 Таблица А.

1	2	3
btst <i>reg_or_imm, reg_{rs1}</i>	andcc <i>reg_{rs1}, reg_or_imm, %g0</i>	проверка бита
bset <i>reg_or_imm, reg_{rd}</i>	or <i>reg_{rd}, reg_or_imm, reg_{rd}</i>	установка бита
bclr <i>reg_or_imm, reg_{rd}</i>	andn <i>reg_{rd}, reg_or_imm, reg_{rd}</i>	сброс бита
btog <i>reg_or_imm, reg_{rd}</i>	xor <i>reg_{rd}, reg_or_imm, reg_{rd}</i>	переключение бита
clr <i>reg_{rd}</i>	or <i>%g0, %g0, reg_{rd}</i>	сбросить (обнулить) регистр
clrb [<i>адрес</i>]	stb <i>%g0, [адрес]</i>	сбросить байт
clrh [<i>адрес</i>]	sth <i>%g0, [адрес]</i>	сбросить полуслово
clr [<i>адрес</i>]	st <i>%g0, [адрес]</i>	сбросить слово
mov <i>reg_or_imm, reg_{rd}</i>	or <i>%g0, reg_or_imm, reg_{rd}</i>	
mov <i>%y, reg_{rd}</i>	rd <i>%y, reg_{rd}</i>	
mov <i>%asrn, reg_{rd}</i>	rd <i>%asrn, reg_{rd}</i>	
mov <i>%psr, reg_{rd}</i>	rd <i>%psr, reg_{rd}</i>	
mov <i>%wim, reg_{rd}</i>	rd <i>%wim, reg_{rd}</i>	
mov <i>%tbr, reg_{rd}</i>	rd <i>%tbr, reg_{rd}</i>	
mov <i>reg_or_imm, %y</i>	wr <i>%g0, reg_or_imm, %y</i>	
mov <i>reg_or_imm, %asrn</i>	wr <i>%g0, reg_or_imm, %asrn</i>	
mov <i>reg_or_imm, %psr</i>	wr <i>%g0, reg_or_imm, %psr</i>	
mov <i>reg_or_imm, %wim</i>	wr <i>%g0, reg_or_imm, %wim</i>	
mov <i>reg_or_imm, %tbr</i>	wr <i>%g0, reg_or_imm, %tbr</i>	
<p>1) Стандартное сохранение должно использоваться только в коде ядра. 2) Не используйте инструкцию set в слоте задержки DCTI.</p>		

Определение инструкций

Далее по тексту приведено описание каждой инструкции SPARC. Взаимосвязанные инструкции сгруппированы в подразделы, каждый из которых состоит из пяти частей:

1. Таблица кодов операций, определяемых в подразделе, со значениями поля(-ей), однозначно идентифицирующие инструкцию(-и).
2. Иллюстрация применяемого формата(-ов) инструкции. Описание самих форматов приведено в пункте «6.1.1 Форматы инструкций».
3. Список предлагаемых синтаксических структур на языке ассемблера.
4. Описание существенных характеристик, ограничений и условий возникновения системных прерываний. Следует отметить, что в данном описании символ «&» обозначает соединение битовых векторов. Запятая «,» в левой части выражения разделяет части, которые объединяются для осуществления присвоения. Например, если X, Y и Z – однобитовые векторы и двухбитовый вектор T равен 11₂, то: (X, Y, Z) ← 0&T – обозначает, что X = 0, Y = 1 и Z = 1.
5. Список системных прерываний, которые могут произойти при попытке выполнения инструкции(-ий). Системные прерывания `instruction_access_error`, `instruction_access_exception` или `r_register_access_error`, а также внешние запросы на прерывание не указаны в списке, поскольку они могут произойти при выполнении любой инструкции. Также, любая инструкция может вызвать системное прерывание `illegal_instruction`, если она не была реализована аппаратно.

В настоящем приложении не приводится какая-либо информация о временных характеристиках (ни в периодах, ни во временных отсчетах), т.к. они зависят от реализации.

В таблице А.2 приводится набор инструкций, определение каждой из этих инструкций приводится в таблицах А.3 – А.48.

Таблица А.2 – Набор инструкций

Код операции	Имя
LDSB (LDSBA*)	Загрузка байта со знаком (из альтернативного адресного пространства)
LDSH (LDSHA*)	Загрузка полуслова со знаком (из альтернативного адресного пространства)
LDUB (LDUBA*)	Загрузка байта без знака (из альтернативного адресного пространства)
LDUH (LDUHA*)	Загрузка полуслова без знака (из альтернативного адресного пространства)
LD (LDA*)	Загрузка слова (из альтернативного адресного пространства)
LDD (LDDA*)	Загрузка двойного слова (из альтернативного адресного пространства)
LDF	Загрузка слова данных с плавающей запятой
LDDF	Загрузка двойного слова данных с плавающей запятой
LDFSR	Загрузка в регистр состояния операций с плавающей запятой
LDC	Загрузка слова данных сопроцессора
LDDC	Загрузка двойного слова данных сопроцессора
LDCSR	Загрузка в регистр состояния сопроцессора
STB (STBA*)	Сохранение байта (в альтернативное адресное пространство)
STH (STHA*)	Сохранение полуслова (в альтернативное адресное пространство)
ST (STA*)	Сохранение слова (в альтернативное адресное пространство)
STD (STDA*)	Сохранение двойного слова (в альтернативное адресное пространство)
STF	Сохранение слова данных с плавающей запятой
STDF	Сохранение двойного слова данных с плавающей запятой
STFSR	Сохранение регистра состояния операций с плавающей запятой
STDFQ*	Сохранение двойного слова очереди отложенных системных прерываний операций с плавающей запятой
STC	Сохранение слова данных сопроцессора
STDC	Сохранение двойного слова данных сопроцессора
STCSR	Сохранение регистра состояния сопроцессора
STDCQ*	Сохранение двойного слова очереди отложенных системных прерываний сопроцессора
LDSTUB (LDSTUBA*)	Атомарная загрузка-сохранение байта без знака (в альтернативном адресном пространстве)
SWAP (SWAPA*)	Обмен содержимого регистра r и памяти (в альтернативном адресном пространстве)
SETHI	Установка старших 22 битов регистра r
NOP	Нет операции
AND (ANDcc)	И (с модификацией iss)
ANDN (ANDNcc)	НЕ-И (с модификацией iss)
OR (ORcc)	Включающее ИЛИ (с модификацией iss)
ORN (ORNcc)	Включающее НЕ-ИЛИ (с модификацией iss)
XOR (XORcc)	Исключающее ИЛИ (с модификацией iss)
XNOR (XNORcc)	Исключающее НЕ-ИЛИ (с модификацией iss)
SLL	Логический сдвиг влево
SRL	Логический сдвиг вправо
SRA	Арифметический сдвиг вправо
ADD (ADDcc)	Сложение (с модификацией iss)
ADDX (ADDXcc)	Сложение с учетом переноса (с модификацией iss)
TADDcc (TADDccTV)	Сложение с меткой и с модификацией iss (системное прерывание при переполнении)
SUB (SUBcc)	Вычитание (с модификацией iss)
SUBX (SUBXcc)	Вычитание с учетом переноса (с модификацией iss)

Окончание таблицы А.2

Код операции	Имя
TSUBcc (TSUBccTV)	Вычитание с меткой и с модификацией iss (системное прерывание при переполнении)
MULScc	Шаг умножения (с модификацией iss)
UMUL (UMULcc)	Целочисленное умножение без знака (с модификацией iss)
SMUL (SMULcc)	Целочисленное умножение со знаком (с модификацией iss)
UDIV (UDIVcc)	Целочисленное деление без знака (с модификацией iss)
SDIV (SDIVcc)	Целочисленное деление со знаком (с модификацией iss)
SAVE	Сохранение окна вызывающей подпрограммы
RESTORE	Восстановление окна вызывавшей подпрограммы
Bicc	Ветвление по целочисленным кодам условий
FBfcc	Ветвление по кодам условий операций с плавающей запятой
CBccc	Ветвление по кодам условий сопроцессора
CALL	Вызов подпрограммы и создание связи
JMPL	Переход и создание связи
RETT*	Возврат из системного прерывания
Ticc	Системное прерывание по целочисленным кодам условий
RDASR**	Считывание вспомогательного регистра состояния
RDY	Считывание регистра Y
RDPSR*	Считывание регистра состояния процессора
RDWIM*	Считывание регистра маски недопустимости окна
RDTBR*	Считывание базового регистра системных прерываний
WRASR**	Запись вспомогательного регистра состояния
WRY	Запись регистра Y
WRPSR*	Запись регистра состояния процессора
WRWIM*	Запись регистра маски недопустимости окна
WRTBR*	Запись базового регистра системных прерываний
STBAR	Барьер сохранений
UNIMP	Не реализовано
FLUSH	Сброс памяти инструкций
FPop	Операций с плавающей запятой: FiTO(s,d,q), F(s,d,q)TOi, FsTOd, FsTOq, FdTOs, FdTOq, FqTOs, FqTOd, FMOVs, FNEGs, FABSSs, FSQRT(s,d,q), FADD(s,d,q), FSUB(s,d,q), FMUL(s,d,q), FDIV(s,d,q), FsMULd, FdMULq, FCMp(s,d,q), FCMPE(s,d,q)
CPop	Операции сопроцессора (в зависимости от реализации)
<p>* Привилегированная инструкция. ** Инструкция привилегирована, если ссылается на привилегированный регистр ASR.</p>	

Инструкции целочисленной загрузки

Таблица А.3 – Инструкции целочисленной загрузки

Код операции	op3	Операция
LDSB	001001	Загрузка байта со знаком
LDSH	001010	Загрузка полуслова со знаком
LDUB	000001	Загрузка байта без знака
LDUH	000010	Загрузка полуслова без знака
LD	000000	Загрузка слова
LDD	000011	Загрузка двойного слова

Окончание таблицы А.3

Код операции	op3	Операция
LDSBA*	011001	Загрузка байта со знаком из альтернативного адресного пространства
LDSHA*	011010	Загрузка полуслова со знаком из альтернативного адресного пространства
LDUBA*	010001	Загрузка байта без знака из альтернативного адресного пространства
LDUHA*	010010	Загрузка полуслова без знака из альтернативного адресного пространства
LDA*	010000	Загрузка слова из альтернативного адресного пространства
LDDA*	010011	Загрузка двойного слова из альтернативного адресного пространства
* Привилегированная инструкция.		

Формат 3:

11	rd	op3	rs1	i = 0	asi	rs2
31 30	29 25 24		19 18 14	13 12		5 4 0
11	rd	op3	rs1	i = 1	simm13	
31 30	29 25 24		19 18 14	13 12		

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

```

ldsb  [адрес],      регrd
ldsh  [адрес],      регrd
ldub  [адрес],      регrd
lduh  [адрес],      регrd
ld    [адрес],      регrd
ldd   [адрес],      регrd
ldsba [регaddr] asi,  регrd
ldsha [регaddr] asi,  регrd
lduba [регaddr] asi,  регrd
lduha [регaddr] asi,  регrd
lda   [регaddr] asi,  регrd
ldda  [регaddr] asi,  регrd
    
```

Описание

Инструкция целочисленной загрузки копирует байт, полуслово или слово из памяти в $r[rd]$. Извлеченный байт или полуслово будут размещены в регистре назначения $r[rd]$ с выравниванием по правому краю; левая часть заполняется либо разрядом знака, либо нулями, в зависимости от того, была ли задана через код операции операция со знаком или без знака соответственно.

Инструкция целочисленной загрузки двойного слова (LDD, LDDA) перемещает двойное слово из памяти в пару регистров r . Старшее значащее слово из эффективного адреса памяти перемещается в четный регистр r . Младшее значащее слово (из эффективного адреса памяти + 4) перемещается в следующий нечетный регистр r . Следует отметить, что при загрузке двойного слова при $rd = 0$ изменяется только $r[1]$. Младший значащий бит поля rd не используется и должен быть сброшен программным обеспечением. Попытка выполнения инструкции загрузки двойного слова, которая ссылается на неверно выравненный номер регистра назначения (нечетный), может вызвать системное прерывание `illegal_instruction`.

Эффективный адрес инструкции загрузки – « $r[rs1] + r[rs2]$ », если бит i сброшен, или « $r[rs1] + \text{sign_ext}(simm13)$ », если бит i установлен. Инструкции, осуществляющие загрузку из альтернативного адресного пространства, в поле `asi` содержат идентификатор

адресного пространства, используемого при загрузке, при этом бит *i* должен быть сброшен, в противном случае срабатывает системное прерывание `illegal_instruction`. Инструкции загрузки, которые выполняются без задания альтернативного адресного пространства, реализуют доступ либо к пространству данных пользователя, либо к пространству данных системы, в соответствии с состоянием бита *S* в PSR.

Успешное выполнение инструкции загрузки (особенно загрузки двойного слова) осуществляется атомарно.

LD и LDA вызывают системное прерывание `mem_address_not_aligned`, если эффективный адрес не выровнен по границе слова; LDUH, LDSH, LDUHA и LDSHA, если эффективный адрес не выровнен по границе полуслова; LDD и LDDA, если эффективный адрес не выровнен по границе двойного слова.

Замечание по реализации

В ходе выполнения инструкции загрузки двойного слова, если в цикле памяти генерируется ошибка в момент загрузки второго слова, регистр(-ы) назначения может(-гут) быть изменен(-ы) до обработки системного прерывания.

Системные прерывания:

- `illegal_instruction` (загрузка в альтернативное адресное пространство при $i = 1$; LDD, LDDA при нечетном *rd*);
- `privileged_instruction` (только для загрузки в альтернативное адресное пространство);
- `mem_address_not_aligned` (исключая LDSB, LDSBA, LDUB, LDUBA);
- `data_access_exception`;
- `data_access_error`.

Инструкции загрузки данных с плавающей запятой

Таблица А.4 – Инструкции загрузки данных с плавающей запятой

Код операции	op3	Операция
LDF	100000	Загрузка слова данных с плавающей запятой
LDDF	100011	Загрузка двойного слова данных с плавающей запятой
LDFSR	100001	Загрузка в регистр состояния операций с плавающей запятой

Формат 3:

11	rd	op3	rs1	$i = 0$	unused (zero)	rs2
31 30 29	25 24		19 18 14	13 12	5 4	0
11	rd	op3	rs1	$i = 1$	simm13	
31 30 29	25 24		19 18 14	13 12	0	

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

ld [*адрес*], *freg_{rd}*

ldd [*адрес*], *freg_{rd}*

ld [*адрес*], **%fsr**

Описание

Инструкция загрузки слова данных с плавающей запятой (LDF) осуществляет перемещение слова данных из памяти в *f[rd]*.

Инструкция загрузки двойного слова данных с плавающей запятой (LDDF) перемещает двойное слово из памяти в пару регистров *f*. Старшее значащее слово из эффективного адреса памяти перемещается в четный регистр *f*. Младшее значащее слово (из эффективного адреса памяти + 4) перемещается в следующий нечетный регистр *f*.

Младший значащий бит поля rd не используется и должен быть сброшен программным обеспечением. Если данный бит установлен, рекомендуется чтобы LDDF вызвала системное прерывание fp_exception с FSR.ftt = invalid_fp_register.

Инструкция загрузки в регистр состояния операций с плавающей запятой (LDFSR) ждет, пока не будут выполнены все инструкции FPop, после чего слово из памяти загружается в FSR. Если какая-либо из трех инструкций, выполняемых после (по времени) LDFSR является FBfsc, значение поля fsc в FSR, видимое для FBfsc, будет не определено.

Эффективный адрес инструкции загрузки – « $r[rs1] + r[rs2]$ », если бит i сброшен, или « $r[rs1] + \text{sign_ext}(\text{simm13})$ », если бит i установлен.

LDF и LDFSR вызывают системное прерывание mem_address_not_aligned, если эффективный адрес не выровнен по границе слова; LDDF, если эффективный адрес не выровнен по границе двойного слова. Если бит EF в PSR сброшен, или если FPU отсутствует, инструкция загрузки данных с плавающей запятой вызовет системное прерывание fp_disabled.

Замечание по реализации

Если выполнении инструкции загрузки данных с плавающей запятой было прервано системным прерыванием data_access_exception, регистр(-ы) назначения f либо остается(-ются) неизменным(-и), либо в него(них) попадет, зависящая от реализации, предопределенная константа.

Системные прерывания:

- fp_disabled;
- fp_exception (sequence_error, invalid_fp_register(LDDF));
- data_access_exception;
- data_access_error;
- mem_address_not_aligned.

Инструкции загрузки сопроцессора

Таблица А.5– Инструкции загрузки сопроцессора

Код операции	op3	Операция
LDC	110000	Загрузка слова данных сопроцессора
LDDC	110011	Загрузка двойного слова данных сопроцессора
LDCSR	110001	Загрузка в регистр состояния сопроцессора

Формат 3:

11	rd	op3	rs1	i = 0	unused (zero)	rs2
31 30	29 25 24		19 18 14	13 12	5 4	0
11	rd	op3	rs1	i = 1	simm13	
31 30	29 25 24		19 18 14	13 12		0

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

ld [адрес], cregrd
ldd [адрес], cregrd
ld [адрес], %csr

Описание

Инструкция загрузки слова данных сопроцессора (LDC) перемещает слово данных из памяти в регистр сопроцессора. Инструкция загрузки двойного слова данных сопроцессора (LDDC) перемещает двойное слово из памяти в пару регистров сопроцессора. Инструкция загрузки данных в регистр статуса сопроцессора (LDCSR)

перемещается слово данных из памяти в регистр состояния сопроцессора. Семантика данных инструкций зависит от реализации присоединенного сопроцессора.

Эффективный адрес инструкции загрузки – « $r[rs1] + r[rs2]$ », если бит i сброшен, или « $r[rs1] + sign_ext(simm13)$ », если бит i установлен.

LDC и LDCSR вызывают системное прерывание `mem_address_not_aligned`, если эффективный адрес не выровнен по границе слова; LDDC, если эффективный адрес не выровнен по границе двойного слова. Если бит EC в PSR сброшен, или если сопроцессор отсутствует, инструкция загрузки сопроцессора вызывает системное прерывание `cp_disabled`.

Замечание по реализации

Конкретная реализация может вызывать системное прерывание `data_access_exception` из-за ошибки, «после которой невозможно восстановление в автоматическом режиме», во время выполнении доступа к памяти «по эффективному адресу + 4», хотя в соответствующий доступ «по эффективному адресу» не вызвал ошибки. Таким образом, в данном случае четный регистр назначения сопроцессора может измениться. Следует отметить, что подобное не может произойти на границе страницы, ввиду ограничений по выравниванию по границе двойного слова.

Системные прерывания:

- `cp_disabled`;
- `cp_exception`;
- `mem_address_not_aligned`;
- `data_access_exception`;
- `data_access_error`.

Инструкции целочисленного сохранения

Таблица А.6 – Инструкции целочисленного сохранения

Код операции	оп3	Операция
STB	000101	Сохранение байта
STH	000110	Сохранение полуслова
ST	000100	Сохранение слова
STD	000111	Сохранение двойного слова
STBA*	010101	Сохранение байта в альтернативное адресное пространство
STHA*	010110	Сохранение полуслова в альтернативное адресное пространство
STA*	010100	Сохранение слова в альтернативное адресное пространство
STDA*	010111	Сохранение двойного слова в альтернативное адресное пространство
* Привилегированная инструкция.		

Формат 3:

11	rd	op3	rs1	i = 0	asi	rs2
31 30 29	25 24		19 18 14 13	12		5 4 0
11	rd	op3	rs1	i = 1	simm13	
31 30 29	25 24		19 18 14 13	12	0	

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

- stb** *reg_{rd}*, [*адрес*] (эквивалентно **stwb**, **stsb**)
sth *reg_{rd}*, [*адрес*] (эквивалентно **stwh**, **stsh**)
st *reg_{rd}*, [*адрес*]

std *reg_{rd}*, [*adpec*]
stba *reg_{rd}*, [*regaddr*] *asi* (эквивалентно **stuba**, **stsba**)
stha *reg_{rd}*, [*regaddr*] *asi* (эквивалентно **stuha**, **stsha**)
sta *reg_{rd}*, [*regaddr*] *asi*
stda *reg_{rd}*, [*regaddr*] *asi*

Описание

Инструкция целочисленного сохранения копирует слово, младшее значащее полуслово или младший значащий байт из $r[rd]$ в память.

Инструкция целочисленного сохранения двойного слова (STD, STDA) копирует двойное слово из пары регистров r в память. Старшее значащее слово (в регистре r с четным номером) записывается в память по эффективному адресу. Младшее значащее слово (в следующем регистре r с нечетным номером) записывается в память по «эффективному адресу + 4». Младший значащий бит поля rd в инструкции сохранения двойного слова не используется и должен быть сброшен программным обеспечением. Попытка выполнения инструкции сохранения двойного слова, которая ссылается на не выровненный rd (нечетный), вызовет системное прерывание `illegal_instruction`.

Эффективный адрес инструкции сохранения – « $r[rs1] + r[rs2]$ », если бит i сброшен, или « $r[rs1] + \text{sign_ext}(\text{imm13})$ », если бит i установлен. Инструкции, осуществляющие сохранение в альтернативное адресное пространство, в поле *asi* содержат идентификатор адресного пространства, используемого при сохранении, при этом бит i должен быть сброшен, в противном случае срабатывает системное прерывание `illegal_instruction`. Инструкции сохранения, которые выполняются без задания альтернативного адресного пространства, реализуют доступ либо к пространству данных пользователя, либо к пространству данных системы, в соответствии с состоянием бита S в PSR.

Успешное выполнение инструкции сохранения (особенно сохранения двойного слова) осуществляется атомарно.

ST и STA вызывают системное прерывание `mem_address_not_aligned`, если эффективный адрес не выровнен по границе слова; STH и STHA, если эффективный адрес не выровнен по границе полусллова; STD и STDA, если эффективный адрес не выровнен по границе двойного слова.

Замечание по реализации

Конкретная реализация может вызывать системное прерывание `data_access_exception` из-за ошибки, «после которой невозможно восстановление в автоматическом режиме», во время выполнении доступа к памяти «по эффективному адресу + 4», хотя в соответствующий доступ «по эффективному адресу» не вызвал ошибки. Таким образом, в данном случае данные в памяти, которые располагаются по эффективному адресу, могут измениться. Следует отметить, что подобное не может произойти на границе страницы, ввиду ограничений по выравниванию по границе двойного слова.

Системные прерывания:

- `illegal_instruction` (сохранение в альтернативное адресное пространство при $i = 1$; STD, STDA при нечетном rd);
- `privileged_instruction` (только для сохранения в альтернативное адресное пространство);
- `mem_address_not_aligned` (исключая STB и STBA);
- `data_access_exception`;
- `data_access_error`;
- `data_store_error`.

Инструкции сохранения данных с плавающей запятой

Таблица А.7 – Инструкции сохранения данных с плавающей запятой

Код операции	op3	Операция
STF	100100	Сохранение слова данных с плавающей запятой
STDF	100111	Сохранение двойного слова данных с плавающей запятой
STFSR	100101	Сохранение регистра состояния операций с плавающей запятой
STDFQ*	100110	Сохранение двойного слова очереди отложенных системных прерываний операций с плавающей запятой
* Привилегированная инструкция.		

Формат 3:

11	rd	op3	rs1	i = 0	unused (zero)	rs2
31 30 29	25 24		19 18 14	13 12	5 4	0
11	rd	op3	rs1	i = 1	simm13	
31 30 29	25 24		19 18 14	13 12	0	

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

st *freg_{rd}*, [*адрес*]

std *freg_{rd}*, [*адрес*]

st **%fsr**, [*адрес*]

std **%fq**, [*адрес*]

Описание

Инструкции сохранения слова данных с плавающей запятой (STF) копирует $f[rd]$ в память.

Инструкция сохранения двойного слова данных с плавающей запятой (STDF) копирует двойное слово из пары регистров f в память. Старшее значащее слово (в регистре f с четным номером) записывается в память по эффективному адресу; младшее значащее слово (в регистре f с нечетным номером) записывается в память по «эффективному адресу + 4». Младший значащий бит поля rd не используется и должен быть сброшен программным обеспечением. Если данный бит установлен, рекомендуется чтобы STDF вызвала системное прерывание $fp_exception$ с $FSR.ftt = invalid_fp_register$.

Инструкция сохранения данных очереди отложенных прерываний операций с плавающей запятой (STDFQ) сохраняет первое двойное слово очереди операций с плавающей запятой (FQ) в память. Попытка выполнения инструкции STDFQ, если в реализации отсутствует очередь операций с плавающей запятой, вызовет системное прерывание $fp_exception$ с $FSR.ftt$ равным 4 (*sequence_error*). Если в реализации присутствует очередь операций с плавающей запятой, то при попытке выполнения инструкции STDFQ при пустой FQ ($FSR.qne = 0$) будет сгенерировано системное прерывание $fp_exception$ с $FSR.ftt$ равным 4 (*sequence_error*). Дополнительная семантика данной инструкции зависит от реализации.

Инструкция сохранения данных в регистр состояния операций с плавающей запятой (STFSR) ждет, пока не будут выполнены все инструкции FPop, после чего FSR записывается в память. STFSR может сбрасывать $FSR.ftt$ после записи FSR в память.

Эффективный адрес инструкции сохранения – « $r[rs1] + r[rs2]$ », если бит i сброшен, или « $r[rs1] + sign_ext(simm13)$ », если бит i установлен.

STF и STFSR вызывают системное прерывание *mem_address_not_aligned*, если эффективный адрес не выровнен по границе слова; STDF и STDFQ, если эффективный адрес не выровнен по границе двойного слова. Если бит EF в PSR сброшен, либо если FPU

отсутствует, инструкция сохранения данных с плавающей запятой вызовет системное прерывание `fp_disabled`.

Замечание по реализации

Конкретная реализация может вызывать системное прерывание `data_access_exception` из-за ошибки, «после которой невозможно восстановление в автоматическом режиме», во время выполнении доступа к памяти «по эффективному адресу + 4», хотя в соответствующий доступ «по эффективному адресу» не вызвал ошибки. Таким образом, в данном случае данные в памяти, которые располагаются по эффективному адресу, могут измениться. Следует отметить, что подобное не может произойти на границе страницы, ввиду ограничений по выравниванию по границе двойного слова.

Системные прерывания:

- `fp_disabled`;
- `fp_exception (sequence_error(STDFQ), invalid_fp_register(STDF, STDFQ))`;
- `privileged_instruction` (только при `STDFQ`);
- `mem_address_not_aligned`;
- `data_access_exception`;
- `data_access_error`;
- `data_store_error`.

Инструкции сохранения сопроцессора

Таблица А.8 – Инструкции сохранения сопроцессора

Код операции	op3	Операция
STC	110100	Сохранение слова данных сопроцессора
STDC	110111	Сохранение двойного слова данных сопроцессора
STCSR	110101	Сохранение регистра состояния сопроцессора
STDCQ*	110110	Сохранение двойного слова очереди отложенных системных прерываний сопроцессора
* Привилегированная инструкция.		

Формат 3:

11	rd	op3	rs1	i = 0	unused (zero)	rs2
31 30	29 25 24		19 18 14	13 12	5 4	0
11	rd	op3	rs1	i = 1	simm13	
31 30	29 25 24		19 18 14	13 12	0	

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

```

st   cregrd, [адрес]
std  cregrd, [адрес]
st   %csr, [адрес]
std  %cq, [адрес]

```

Описание

Инструкция сохранения слова данных сопроцессора (STC) копирует содержимое регистра сопроцессора в память.

Инструкции сохранения двойного слова данных сопроцессора (STDC) копирует содержимое пары регистров сопроцессора в память.

Инструкция сохранения регистра состояния сопроцессора (STCSR) копирует содержимое регистра состояния сопроцессора в память. Инструкция сохранения двойного слова очереди сопроцессора (STDCQ) перемещает первую запись очереди сопроцессора в память. Если в реализации отсутствует очередь сопроцессора, STDCQ может вызвать системное прерывание `cp_exception`. Семантика данных инструкций зависит от реализации присоединенного сопроцессора, если таковой имеется.

Эффективный адрес инструкции сохранения – « $r[rs1] + r[rs2]$ », если бит *i* сброшен, или « $r[rs1] + \text{sign_ext}(\text{simml3})$ », если бит *i* установлен.

STC и STCSR вызывают системное прерывание `mem_address_not_aligned`, если эффективный адрес не выровнен по границе слова. STDC и STDCQ, если эффективный адрес не выровнен по границе двойного слова. Если бит EC в PSR сброшен, либо если сопроцессор отсутствует, инструкция сохранения сопроцессора вызывает системное прерывание `cp_disabled`.

Системные прерывания:

- `cp_disabled`;
- `cp_exception`;
- `privileged_instruction` (только для STDCQ);
- `mem_address_not_aligned`;
- `data_access_exception`;
- `illegal_instruction` (только для STDCQ; зависит от реализации);
- `data_access_error`;
- `data_store_error`.

Инструкции атомарной загрузки-сохранения байта без знака

Таблица А.9 – Инструкции атомарной загрузки-сохранения байта без знака

Код операции	оп3	Операция
LDSTUB	001101	Атомарная загрузка-сохранение байта без знака
LDSTUBA	011101	Атомарная загрузка-сохранение байта без знака в альтернативном адресном пространстве

Формат 3:

11	rd	op3	rs1	i = 0	asi	rs2
31 30 29	25 24		19 18 14	13 12	5 4	0
11	rd	op3	rs1	i = 1	simml3	
31 30 29	25 24		19 18 14	13 12	0	

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

ldstub [*адрес*], *reg_{rd}*

ldstuba [*regaddr*] *asi*, *reg_{rd}*

Описание

При помощи инструкций атомарной загрузки-сохранения байта без знака байт из памяти копируется в $r[rd]$, после чего адресуемый байт в памяти перезаписывается со всеми установленными битами. Операция выполняется атомарно, т.е. без допуска промежуточных прерывающих или отложенных системных прерываний. В мультипроцессорной системе два или более процессора, выполняющие инструкции атомарной загрузки-сохранения байта без знака, инструкции SWAP или SWAPA, одновременно адресующие один и тот же байт или слово, гарантированно будут выполнять инструкции последовательно, но порядок их следования будет не определен.

Эффективный адрес инструкции атомарной загрузки-сохранения – « $r[rs1] + r[rs2]$ », если бит i сброшен, или « $r[rs1] + \text{sign_ext}(\text{simml3})$ », если бит i установлен. Бит i в LDSTUBA должен быть сброшен, в противном случае произойдет системное прерывание `illegal_instruction`. Идентификатор адресного пространства, используемый для доступа к памяти, берется из поля `asi`. Для LDSTUB доступно или адресное пространство данных пользователя или пространство данных системы, в соответствии с состоянием бита `S` в PSR.

Замечание по реализации

Конкретная реализация может вызывать системное прерывание `data_access_exception` из-за ошибки, «после которой невозможно восстановление в автоматическом режиме», во время выполнения сохранения в память, хотя соответствующий доступ загрузки не вызвал ошибки. Таким образом, в данном случае регистр назначения может измениться.

Системные прерывания:

- `illegal_instruction` (только для LDSTUBA при $i = 1$);
- `privileged_instruction` (только для LDSTUBA);
- `data_access_exception`;
- `data_access_error`;
- `data_store_error`.

Инструкции обмена содержимого регистра и памяти

Таблица А.10 – Инструкции обмена содержимого регистра и памяти

Код операции	op3	Операция
SWAP	001111	Обмен содержимого регистра и памяти
SWAPA*	011111	Обмен содержимого регистра и памяти в альтернативном адресном пространстве
* Привилегированная инструкция.		

Формат 3:

11	rd	op3	rs1	$i = 0$	asi	rs2
31 30 29	25 24		19 18 14 13 12		5 4	0
11	rd	op3	rs1	$i = 1$	simml3	
31 30 29	25 24		19 18 14 13 12			0

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

```

swap [адрес], regrd
swapa [regaddr] asi, regrd

```

Описание

Инструкций SWAP и SWAPA выполняют обмен данных $r[rd]$ и содержимого слова в адресуемой ячейке памяти. Операция выполняется атомарно, т.е. без допуска прерывающих или отложенных системных прерываний. В мультипроцессорной системе два или более процессора, выполняющие инструкции SWAP, SWAPA или инструкции атомарной загрузки-сохранения байта без знака, одновременно адресующие одно и то же слово или байт, гарантированно будут выполнять инструкции последовательно, но порядок их следования будет не определен.

Эффективный адрес инструкции SWAP – « $r[rs1] + r[rs2]$ », если бит i сброшен, или « $r[rs1] + \text{sign_ext}(\text{simml3})$ », если бит i установлен. Бит i в SWAPA должен быть сброшен, в

противном случае срабатывает системное прерывание `illegal_instruction`. Идентификатор адресного пространства, используемый для доступа к памяти, берется из поля `asi`. Для SWAP доступно или адресное пространство данных пользователя или пространство данных системы, в соответствии с состоянием бита `S` в `PSR`.

Данные инструкции вызывают системное прерывание `mem_address_not_aligned`, если эффективный адрес не выровнен по границе слова.

Замечание по реализации

Конкретная реализация может вызывать системное прерывание `data_access_exception` из-за ошибки, «после которой невозможно восстановление в автоматическом режиме», во время выполнения сохранения в память, хотя соответствующий доступ загрузки не вызвал ошибки. Таким образом, в данном случае регистр назначения может измениться.

Системные прерывания:

- `illegal_instruction` (только для SWAPA при $i = 1$);
- `privileged_instruction` (только для SWAPA);
- `mem_address_not_aligned`;
- `data_access_exception`;
- `data_access_error`;
- `data_store_error`.

Инструкция `SETHI`

Таблица A.11 – Инструкция `SETHI`

Код операции	op	op2	Операция
<code>SETHI</code>	00	100	Установка 22 битов старшего разряда

Формат 2:

00	rd	100	imm22	0
31 30 29	25 24	22 21		

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

```
sethi const22, regrd
sethi %hi(значение), regrd
```

Описание

Инструкция `SETHI` сбрасывает 10 младших значащих битов в $r[rd]$ и заменяет старшие 22 разряда значением поля `imm22`.

`SETHI` не изменяет коды условий.

Инструкция `SETHI` при `rd = 0` и `imm22 = 0` определяется, как инструкция `NOP`.

Системные прерывания: отсутствуют.

Инструкция `NOP`

Таблица A.12 – Инструкция `NOP`

Код операции	op	op2	Операция
<code>NOP</code>	00	100	Операция отсутствует

Формат 2:

00	00000	100	000000000000000000000000	0
31 30 29	25 24 22 21			

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:
nop

Описание

Инструкция NOP не изменяет видимое программным путем состояние (за исключением PC и nPC).

Следует отметить, что NOP – это частный случай инструкции SETHI с $imm22 = 0$ и $rd = 0$.

Системные прерывания: отсутствуют.

Инструкции логических операций

Таблица А.13 – Инструкции логических операций

Код операции	op3	Операция
AND	000001	И
ANDcc	010001	И с модификацией icc
ANDN	000101	НЕ-И
ANDNcc	010101	НЕ-И с модификацией icc
OR	000010	Включающее ИЛИ
ORcc	010010	Включающее ИЛИ с модификацией icc
ORN	000110	Включающее НЕ-ИЛИ
ORNcc	010110	Включающее НЕ-ИЛИ с модификацией icc
XOR	000011	Исключающее ИЛИ
XORcc	010011	Исключающее ИЛИ с модификацией icc
XNOR	000111	Исключающее НЕ-ИЛИ
XNORcc	010111	Исключающее НЕ-ИЛИ с модификацией icc

Формат 3:

10	rd	op3	rs1	i = 0	unused (zero)	rs2
31 30 29	25 24		19 18 14	13 12	5 4	0
10	rd	op3	rs1	i = 1	simm13	
31 30 29	25 24		19 18 14	13 12	0	

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

and *reg_{rs1}, reg_or_imm, reg_{rd}*
andcc *reg_{rs1}, reg_or_imm, reg_{rd}*
andn *reg_{rs1}, reg_or_imm, reg_{rd}*
andncc *reg_{rs1}, reg_or_imm, reg_{rd}*
or *reg_{rs1}, reg_or_imm, reg_{rd}*
orcc *reg_{rs1}, reg_or_imm, reg_{rd}*
orn *reg_{rs1}, reg_or_imm, reg_{rd}*
orncc *reg_{rs1}, reg_or_imm, reg_{rd}*
xor *reg_{rs1}, reg_or_imm, reg_{rd}*
xorcc *reg_{rs1}, reg_or_imm, reg_{rd}*
xnor *reg_{rs1}, reg_or_imm, reg_{rd}*
xnorcc *reg_{rs1}, reg_or_imm, reg_{rd}*

Описание

Данные инструкции осуществляют поразрядные логические операции. Они выполняют расчет « $r[rs1]$ операция $r[rs2]$ », если бит i сброшен, или « $r[rs1]$ операция $sign_ext(simm13)$ », если бит i установлен, с записью результата в $r[rd]$.

ANDcc, ANDNcc, ORcc, ORNcc, XORcc и XNORcc модифицируют целочисленные коды условий (icc).

В инструкциях ANDN, ANDNcc, ORN и ORNcc перед осуществлением основной операции (И или ИЛИ) над вторым операндом выполняется логическая операция НЕ.

Замечания по программированию

XNOR и XNORcc логически реализуют XOR-Not и XOR-Not-cc, соответственно.

Системные прерывания: отсутствуют.

Инструкции сдвига

Таблица А.14 – Инструкции сдвига

Код операции	op3	Операция
SLL	100101	Логический сдвиг влево
SRL	100110	Логический сдвиг вправо
SRA	100111	Арифметический сдвиг вправо

Формат 3:

10	rd	op3	rs1	i = 0	unused (zero)	rs2
31 30	29 25	24	19 18	14 13	12	5 4 0
10	rd	op3	rs1	i = 1	unused (zero)	shcnt
31 30	29 25	24	19 18	14 31	12	5 4 0

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

sll *reg_{rs1}*, *reg_or_imm*, *reg_{rd}*

srl *reg_{rs1}*, *reg_or_imm*, *reg_{rd}*

sra *reg_{rs1}*, *reg_or_imm*, *reg_{rd}*

Описание

Величина сдвига для данных инструкций определяется пятью младшими значащими битами $r[rs2]$, если бит i сброшен, или значением *shcnt*, если бит i установлен.

Если бит i сброшен, 27 старших значащих разрядов значения в $r[rs2]$ не учитываются.

Если бит i установлен, биты пятого по двенадцатый инструкции смещения зарезервированы и должны быть сброшены программным обеспечением.

При выполнении SLL значение $r[rs1]$ смещается влево на количество битов, задаваемых величиной сдвига.

При выполнении SRL и SRA значение $r[rs1]$ смещается вправо на количество битов, задаваемых величиной сдвига.

При выполнении SLL и SRL освобожденные позиции заменяются нулями, при выполнении SRA освобожденные позиции заполняются старшим значащим битом $r[rs1]$. Если величина сдвига равна 0, то сдвиг не выполняется.

При выполнении данных инструкций результат сдвига записывается в $r[rd]$.

При выполнении данных инструкций коды условий не модифицируются.

Замечания по программированию

«Арифметического сдвига влево на 1 (и расчета переполнения)» можно добиться при помощи инструкции ADDcc.

Замечание по реализации

В инструкциях сдвига *shcnt* соответствует 5 младшим значащим битам *sim13* в других инструкциях формата 3. Однако биты с пятого по двенадцатый в инструкциях смещения должны быть сброшены.

Системные прерывания: отсутствуют.

Инструкции сложения

Таблица А.15 – Инструкции сложения

Код операции	op3	Операция
ADD	000000	Сложение
ADDcc	010000	Сложение с модификацией <i>icc</i>
ADDX	001000	Сложение с учетом переноса
ADDXcc	011000	Сложение с учетом переноса и с модификацией <i>icc</i>

Формат 3:

10	rd	op3	rs1	i = 0	unused (zero)	rs2
31 30 29	25 24		19 18 14	13 12	5 4	0
10	rd	op3	rs1	i = 1	sim13	
31 30 29	25 24		19 18 14	13 12		0

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

add *reg_{rs1}, reg_{or_imm}, reg_{rd}*

addcc *reg_{rs1}, reg_{or_imm}, reg_{rd}*

addx *reg_{rs1}, reg_{or_imm}, reg_{rd}*

addxcc *reg_{rs1}, reg_{or_imm}, reg_{rd}*

Описание

При выполнении ADD и ADDcc рассчитывается « $r[rs1] + r[rs2]$ », если бит *i* сброшен, или « $r[rs1] + \text{sign_ext}(\text{sim13})$ », если бит *i* установлен, с записью суммы в *r[rd]*.

При выполнении ADDX и ADDXcc («ADD eXtended») к итоговой сумме также добавляется бит переноса (*c*) регистра PSR; т.е., рассчитывается « $r[rs1] + r[rs2] + c$ » или « $r[rs1] + \text{sign_ext}(\text{sim13}) + c$ », с записью результата в *r[rd]*.

При выполнении ADDcc и ADDXcc модифицируются целочисленные коды условий (*icc*). Переполнение при сложении происходит, если оба операнда имеют один знак, а знак суммы – другой.

Системные прерывания: отсутствуют.

Инструкции сложения с меткой

Таблица А.16 – Инструкции сложения с меткой

Код операции	op3	Операция
TADDcc	100000	Сложение с меткой и с модификацией <i>icc</i>
TADDccTV	100010	Сложение с меткой, с модификацией <i>icc</i> и системным прерыванием при переполнении

Формат 3:

10	rd	op3	rs1	i = 0	unused (zero)	rs2
31 30 29	25 24		19 18 14	13 12	5 4	0
10	rd	op3	rs1	i = 1	sim13	
31 30 29	25 24		19 18 14	13 12		0

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

taddcc *reg_{rs1}, reg_or_imm, reg_{rd}*

taddcctv *reg_{rs1}, reg_or_imm, reg_{rd}*

Описание

При выполнении данных инструкций рассчитывается сумма « $r[rs1] + r[rs2]$ », если бит *i* сброшен, или « $r[rs1] + \text{sign_ext}(\text{simml3})$ », если бит *i* установлен.

При выполнении TADDcc модифицируются целочисленные коды условий (icc); при выполнении TADDccTV также модифицируются целочисленные коды условий, если не происходит системного прерывания.

Переполнение tag_overflow происходит, если бит 1 или бит 0 любого операнда установлен, или если при сложении генерируется арифметическое переполнение (оба компонента операции имеют один знак, а знак суммы – другой).

Если TADDccTV вызывает tag_overflow, генерируется системное прерывание tag_overflow, при этом $r[rd]$ и коды условий не меняются. Если TADDccTV не вызывает tag_overflow, выполняется обновление целочисленных кодов условий (в частности, бит переполнения (v) сбрасывается) с записью суммы в $r[rd]$.

Если TADDcc вызывает tag_overflow, бит переполнения (v) в PSR устанавливается; если TADDcc не вызывает tag_overflow, бит переполнения сбрасывается. В обоих случаях выполняется обновление остальных целочисленных кодов условий с записью суммы в $r[rd]$.

Системные прерывания:

- tag_overflow (только TADDccTV).

Инструкции вычитания

Таблица А.17 – Инструкции вычитания

Код операции	op3	Операция
SUB	000100	Вычитание
SUBcc	010100	Вычитание с модификацией icc
SUBX	001100	Вычитание с учетом переноса
SUBXcc	011100	Вычитание с учетом переноса и с модификацией icc

Формат 3:

10	rd	op3	rs1	i = 0	unused (zero)	rs2
31 30 29 25 24			19 18 14 13 12		5 4	0
10	rd	op3	rs1	i = 1	simml3	
31 30 29 25 24			19 18 14 13 12		0	

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

sub *reg_{rs1}, reg_or_imm, reg_{rd}*

subcc *reg_{rs1}, reg_or_imm, reg_{rd}*

subx *reg_{rs1}, reg_or_imm, reg_{rd}*

subxcc *reg_{rs1}, reg_or_imm, reg_{rd}*

Описание

При выполнении данных инструкций рассчитывается « $r[rs1] - r[rs2]$ », если бит *i* сброшен, или « $r[rs1] - \text{sign_ext}(\text{simml3})$ », если бит *i* установлен, с записью разности в $r[rd]$.

При выполнении SUBX и SUBXcc («SUBtract eXtended») из итоговой разности также вычитается бит переноса (c) PSR; т.е. рассчитывается « $r[rs1] - r[rs2] - c$ » или « $r[rs1] - \text{sign_ext}(\text{simml3}) - c$ » с записью результата в $r[rd]$.

При выполнении SUBcc и SUBXcc модифицируются целочисленные коды условий (icc). Переполнение при вычитании происходит, если оба операнда имеют разный знак, а знак разности отличается от знака $r[rs1]$.

Замечания по программированию

SUBcc с $rd = 0$ используется для выполнения целочисленного сравнения со знаком или без знака.

Системные прерывания: отсутствуют.

Инструкции вычитания с меткой

Таблица А.18 – Инструкции вычитания с меткой

Код операции	op3	Операция
TSUBcc	100001	Вычитание с меткой, с модификацией icc
TSUBccTV	100011	Вычитание с меткой, модификацией icc и системным прерыванием при переполнении

Формат 3:

10	rd	op3	rs1	i = 0	unused (zero)	rs2
31 30 29	25 24		19 18 14	13 12		5 4 0
10	rd	op3	rs1	i = 1	simml3	
31 30 29	25 24		19 18 14	13 12	0	

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

tsubcc *reg_{rs1}, reg_or_imm, reg_{rd}*

tsubcctv *reg_{rs1}, reg_or_imm, reg_{rd}*

Описание

При выполнении данных инструкций рассчитывается « $r[rs1] - r[rs2]$ », если бит i сброшен, или « $r[rs1] - \text{sign_ext}(\text{simml3})$ », если бит i установлен.

При выполнении TSUBcc модифицируются целочисленные коды условий (icc); при выполнении TSUBccTV также модифицируются целочисленные коды условий, если не происходит системного прерывания.

Переполнение tag_overflow происходит, если бит 1 или бит 0 любого операнда установлен, или если при вычитании генерируется арифметическое переполнение (оба компонента операции имеют разный знак, а знак разности отличается от знака $r[rs1]$).

Если TSUBccTV вызывает tag_overflow, генерируется системное прерывание tag_overflow, при этом регистр назначения и коды условий не меняются. Если TSUBccTV не вызывает tag_overflow, выполняется обновление целочисленных кодов условий (в частности, бит переполнения (v) сбрасывается) с записью разности в $r[rd]$.

Если TSUBcc вызывает tag_overflow, бит переполнения (v) в PSR устанавливается; если TSUBcc не вызывает tag_overflow, бит переполнения сбрасывается. В обоих случаях выполняется обновление остальных целочисленных кодов условий с записью разности в $r[rd]$.

Системные прерывания:

- tag_overflow (только TSUBccTV).

Инструкция шага умножения

Таблица А.19 – Инструкция шага умножения

Код операции	op3	Операция
MULScc	100100	Шаг умножения с модификацией icc

Формат 3:

10	rd	op3	rs1	i = 0	reserved	rs2
31 30	29 25 24	19 18	14 13	12	5 4	0
10	rd	op3	rs1	i = 1	simm13	
31 30	29 25 24	19 18	14 13	12	0	

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

mulsc *reg_{rs1}, reg_{or_imm}, reg_{rd}*

Описание

MULScc рассматривает $r[rs1]$ и регистр Y как один 64-битовый регистром двойного слова с возможностью сдвига вправо. Младший значащий бит $r[rs1]$ трактуется как ближайший к старшему значащему биту регистра Y. MULScc осуществляет сложение по условию, основанному на значении младшего значащего бита регистра Y.

Умножение предполагает, что регистр Y первоначально содержит множитель, $r[rs1]$ – старшие значащие биты произведения, а $r[rs2]$ – сомножитель. После выполнения умножения регистр Y содержит младшие значащие биты произведения.

Следует отметить, что обычно при выполнении инструкции MULScc $rs1 = rd$. Пример умножения со знаком $32 \times 32 \rightarrow 64$ на базе MULScc.

Выполнение инструкции MULScc:

1) В качестве множителя принимается $r[rs2]$, если бит i сброшен, или $sign_ext(simm13)$, если бит i установлен.

2) 32-битовое значение вычисляется смещением $r[rs1]$ вправо на один бит, старший разряд заменяется результатом «N ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ V» из PSR (это корректный знак предыдущего промежуточного произведения).

3) Если младший значащий бит регистра Y равен 1, к смещаемому значению из этапа 2 прибавляется множитель. Если младший значащий бит регистра Y равен 0, к смещаемому значению из этапа 2 прибавляется 0.

4) Сумма из этапа 3 записывается в $r[rd]$.

5) Целочисленные коды условий (icc), обновляются в соответствии с операцией сложения, выполненной на этапе 3.

6) Регистр Y смещается вправо на один бит, при этом младший значащий бит несмещенного регистра $r[rs1]$ заменяет старший значащий бит регистра Y.

Системные прерывания: отсутствуют.

Инструкции умножения

Таблица А.20 – Инструкции умножения

Код операции	op3	Операция
UMUL	001010	Целочисленное умножение без знака
SMUL	001011	Целочисленное умножение со знаком
UMULcc	011010	Целочисленное умножение без знака и с модификацией icc
SMULcc	011011	Целочисленное умножение со знаком и с модификацией icc

Формат инструкции:

10	rd	op3	rs1	i = 0	unused (zero)	rs2
31 30 29	25 24		19 18 14	13 12	5 4	0
10	rd	op3	rs1	i = 1	simm13	
31 30 29	25 24		19 18 14	13 12	0	

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

umul *reg_{rs1}, reg_or_imm, reg_{rd}*

smul *reg_{rs1}, reg_or_imm, reg_{rd}*

umulcc *reg_{rs1}, reg_or_imm, reg_{rd}*

smulcc *reg_{rs1}, reg_or_imm, reg_{rd}*

Описание

При помощи инструкций умножения выполняется перемножение 32 бит на 32 бита с получением 64-битового результата. В ходе выполнения данных инструкций рассчитывается « $r[rs1] \times r[rs2]$ », если бит *i* сброшен, или « $r[rs1] \times \text{sign_ext}(simm13)$ », если бит *i* установлен. В регистр *Y* записываются 32 старших значащих бита произведения, в регистр *r[rd]* – 32 младших значащих бита.

При выполнении умножения без знака (UMUL, UMULcc) операндами являются целочисленные слова без знака, при этом рассчитывается целочисленное произведение двойного слова без знака. При выполнении умножения со знаком (SMUL, SMULcc) компонентами операции являются целочисленные слова со знаком, при этом рассчитывается целочисленное произведение двойного слова со знаком.

При выполнении UMUL и SMUL биты кодов условий не изменяются. При выполнении UMULcc и SMULcc биты целочисленных кодов условий (icc), записываются согласно таблице, приведенной ниже. Следует отметить, что отрицательное значение (N) и ноль (Z) устанавливаются в соответствии с младшим значащим словом произведения.

Таблица A.21 – Определение флагов при выполнении операции умножения

Бит icc	UMULcc	SMULcc
N	Устанавливается, если результат[31] = 1	Устанавливается, если результат[31] = 1
Z	Устанавливается, если результат[31:0] = 0	Устанавливается, если результат[31:0] = 0
V	Ноль*	Ноль*
C	Ноль*	Ноль*

* Спецификация данного кода условия в последующих версиях архитектуры может измениться. Программное обеспечение не должно проверять данный код условия.

Замечания по программированию

32-битовое переполнение после UMUL / UMULcc обозначается $Y \neq 0$. 32-битовое переполнение после SMUL / SMULcc обозначается $Y \neq (r[rd] \gg 31)$.

Замечание по реализации

В конкретной реализации может предполагаться, что меньший операнд обычно будет размещен в *r[rs2]* или *simm13*.

Системные прерывания: отсутствуют.

Инструкции деления

Таблица А.22 – Инструкции деления

Код операции	оп3	Операция
UDIV	001110	Целочисленное деление без знака
SDIV	001111	Целочисленное деление со знаком
UDIVcc	011110	Целочисленное деление без знака и с модификацией iss
SDIVcc	011111	Целочисленное деление со знаком и с модификацией iss

Формат 3:

10	rd	op3	rs1	i = 0	unused (zero)	rs2
31 30	29 25 24	19 18	14 13	12	5 4	0
10	rd	op3	rs1	i = 1	simm13	
31 30	29 25 24	19 18	14 13	12	0	

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

udiv *reg_{rs1}, reg_or_imm, reg_{rd}*

sdiv *reg_{rs1}, reg_or_imm, reg_{rd}*

udivcc *reg_{rs1}, reg_or_imm, reg_{rd}*

sdivcc *reg_{rs1}, reg_or_imm, reg_{rd}*

Описание

При помощи инструкций деления выполняется деление 64 бит на 32 бита с получением 32-битового результата. Если бит *i* сброшен, при помощи данных инструкций рассчитывается « $(Y \& r[rs1]) \div r[rs2]$ ». В противном случае (бит *i* установлен) при выполнении инструкций деления рассчитывается « $(Y \& r[rs1]) \div \text{sign_ext}(\text{simm13})$ ». В обоих случаях 32 бита целочисленного частного записываются в *r[rd]*. Остаток (если он есть) не учитывается.

При выполнении деления без знака (UDIV, UDIVcc) делимым является целочисленное двойное слово без знака ($Y \& r[rs1]$), делителем является целочисленное слово (*r[rs2]*), в результате получается целочисленное частное слово без знака (*r[rd]*). При выполнении деления со знаком (SDIV, SDIVcc) делимым является целочисленное двойное слово со знаком ($Y \& r[rs1]$), делителем является целочисленное слово со знаком (*r[rs2]*) либо $\text{sign_ext}(\text{simm13})$, в результате получается целочисленное частное слово со знаком (*r[rd]*).

При делении со знаком неточное частное округляется в направлении нуля, если получен ненулевой остаток. Например, при делении минус 3 на 2 результат равен минус 1 с остатком минус 1 (не минус 2 с остатком 1). Реализация может строго придерживаться этого округления, и в этом случае при отрицательном результате для обнаружения переполнения должен использоваться метод [А], приведенный ниже. Или в ней может быть сделано исключение округления с получением максимального отрицательного эквивалента, и в этом случае при отрицательном результате для обнаружения переполнения должен использоваться метод [Б].

Результат инструкции деления при определенных условиях может вызывать переполнение 32-битового регистра назначения *r[rd]*. В случае переполнения (вне зависимости от того, устанавливаются ли коды условий в *iss* или нет) максимальное соответствующее целое число возвращается, как частное в *r[rd]*. Условия переполнения и возвращаемое в *r[rd]* значение при данных условиях обозначены в таблице А.23.

Таблица А.23 – Условия детектирования переполнения и возвращаемое в r[rd] значение

Инструкция	Условия переполнения («результат» имеет частное и остаток)	Значение, возвращаемое в r[rd]
UDIV, UDIVcc	результат $> (2^{32} - 1$ с остатком (делитель $- 1$))	$2^{32} - 1$ (0xFFFFFFFF)
SDIV, SDIVcc (положительный результат)	результат $> (2^{31} - 1$ с остатком (делитель $- 1$))	$2^{31} - 1$ (0x7FFFFFFF)
SDIV, SDIVcc (отрицательный результат)	или метод [А]*: результат $< (-2^{31}$ с остатком $- (делитель - 1)$) или метод [Б]*: результат $< (-2^{31}$ с остатком 0)	-2^{31} (0x80000000)

* Использование одного из двух условий детектирования переполнения зависит от реализации и постоянно в рамках данной реализации.

При выполнении UDIV и SDIV биты кодов условий не изменяются. При выполнении UDIVcc и SDIVcc биты кодов условий записываются согласно таблице А.24. Следует отметить, что отрицательное значение (N) и ноль (Z) устанавливаются в соответствии со значением частного (после того как было обозначено переполнение, если оно возникает), а также что при выполнении UDIVcc и SDIVcc переполнение (V) устанавливается по-разному.

Таблица А.24 – Определение флагов при выполнении операции деления

Бит ics	UDIVcc	SDIVcc
N	Устанавливается, если частное[31] = 1	Устанавливается, если частное[31] = 1
Z	Устанавливается, если частное[31:0] = 0	Устанавливается, если частное[31:0] = 0
V	Устанавливается при переполнении (согласно предыдущей таблице)	Устанавливается при переполнении (согласно предыдущей таблице)
C	Ноль	Ноль

Для обеспечения совместимости с последующими версиями программное обеспечение должно предполагать, что содержимое регистра Y не сохраняется инструкциями деления.

Замечание по реализации

При выполнении целочисленных инструкций деления может генерироваться остаток. В таком случае рекомендуется сохранять остаток в регистр Y.

Системные прерывания:
- division_by_zero.

Инструкции SAVE и RESTORE

Таблица А.25 – Инструкции SAVE и RESTORE

Код операции	op3	Операция
SAVE	111100	Сохранение окна вызывающей подпрограммы
RESTORE	111101	Восстановление окна вызывавшей подпрограммы

Формат 3:

10	rd	op3	rs1	i = 0	unused (zero)	rs2
31 30 29 25 24			19 18 14 13 12		5 4	0
10	rd	op3	rs1	i = 1	simm13	
31 30 29 25 24			19 18 14 13 12			0

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

save *reg_{rs1}, reg_{or_imm}, reg_{rd}*
restore *reg_{rs1}, reg_{or_imm}, reg_{rd}*

Описание

Инструкция **SAVE** вычитает из CWP (по модулю NWINDOWS) единицу, полученное значение (*new_CWP*) сравнивается с содержимым регистра маски недействительности окна (WIM). Если бит WIM, соответствующий *new_CWP*, установлен, т.е. $(WIM \text{ and } 2^{\text{new_CWP}}) = 1$, генерируется системное прерывание *window_overflow*. Если бит WIM, соответствующий *new_CWP* сброшен, системное прерывание *window_overflow* не генерируется, и *new_CWP* записывается в CWP. При этом текущим окном становится окно $(CWP - 1)$, сохраняя окно вызывающей подпрограммы.

Инструкция **RESTORE** прибавляет к CWP (по модулю NWINDOWS) единицу, полученное значение (*new_CWP*) сравнивается с содержимым регистра маски недействительности окна (WIM). Если бит WIM, соответствующий *new_CWP* установлен, т.е. $(WIM \text{ and } 2^{\text{new_CWP}}) = 1$, то генерируется системное прерывание *window_underflow*. Если бит WIM, соответствующий *new_CWP* сброшен, системное прерывание *window_underflow* не генерируется, и *new_CWP* записывается в CWP. При этом окно $(CWP + 1)$ становится текущим окном, восстанавливая окно вызывавшей подпрограммы.

Более того, только в том случае, если системное прерывание переполнения или обратного переполнения не генерируется, инструкции **SAVE** и **RESTORE** работают аналогично обычным инструкциям **ADD**. Единственным отличием является то, что исходные компоненты операции $r[rs1]$ и / или $r[rs2]$ считываются из старого окна (т.е. окна, на которое указывает первоначальный CWP), а сумма записывается в $r[rd]$ нового окна (т.е. окна, на которое указывает *new_CWP*).

Следует отметить, что арифметика CWP выполняется по модулю количества реализованных окон NWINDOWS.

Замечания по программированию

Инструкция **SAVE** может быть использована для автоматического выделения нового окна в регистровом файле и нового стекового кадра программного обеспечения в основной памяти.

Как правило, если при выполнении инструкции **SAVE** (**RESTORE**) срабатывает системное прерывание, обработчик системного прерывания при переполнении (обратном переполнении) возвращается к инструкции, в ходе выполнения которой сработало системное прерывание, для ее повторного выполнения. Поэтому, хотя операция **ADD** не выполняется в первый раз (когда срабатывает системное прерывание), она выполняется во второй раз.

Системные прерывания:

- *window_overflow* (только **SAVE**);
- *window_underflow* (только **RESTORE**).

Инструкции ветвления по целочисленным кодам условий

Таблица А.26 – Инструкции ветвления по целочисленным кодам условий

Код операции	cond	Операция	Проверка icc
BA	1000	Всегда выполнять переход	1
BN	0000	Никогда не выполнять переход	0
BNE	1001	Переход, если не равно	not Z
BE	0001	Переход, если равно	Z
BG	1010	Переход, если больше	not (Z or (N xor V))
BLE	0010	Переход, если меньше или равно	Z or (N xor V)
BGE	1011	Переход, если больше или равно	not (N xor V)
BL	0011	Переход, если меньше	N xor V
BGU	1100	Для значений без знака, переход, если больше	not (C or Z)
BLEU	0100	Для значений без знака, переход, если меньше или равно	(C or Z)
BCC	1101	Переход при сбросе переноса (больше или равно, для значений без знака)	not C
BCS	0101	Переход при установке переноса (меньше, для значений без знака)	C
BPOS	1110	Переход, если значение положительное	not N
BNEG	0110	Переход, если значение отрицательное	N
BVC	1111	Переход, если переполнение не обнаружено	not V
BVS	0111	Переход, если обнаружено переполнение	V

Формат 2:

00	a	cond	010	disp22
31 30	29 28	25 24	22 21	0

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

ba{,a} *метка*
bn{,a} *метка*
bne{,a} *метка* (эквивалентно: **bnz**)
be{,a} *метка* (эквивалентно: **bz**)
bg{,a} *метка*
ble{,a} *метка*
bge{,a} *метка*
bl{,a} *метка*
bgu{,a} *метка*
bleu{,a} *метка*
bcc{,a} *метка* (эквивалентно: **bgeu**)
bcs{,a} *метка* (эквивалентно: **blu**)
bpos{,a} *метка*
bneg{,a} *метка*
bvc{,a} *метка*
bvs{,a} *метка*

Примечание – Для установки «аннулирующего» бита инструкций Bicc, необходимо добавить «**a**» к мнемоническому коду операции. Например, «**bgu,a** *метка*». Для того чтобы указать, что «**a**» является опциональной возможностью, данный символ взят в фигурные скобки ({}).

Описание

Безусловные переходы (BA, BN)

Если аннулирующий бит сброшен, то инструкция BN (никогда не выполнять переход) выполняется как NOP. Если аннулирующий бит установлен, то следующая инструкция (инструкция задержки) аннулируется (не выполняется). В обоих случаях передача управления не выполняется.

BA (всегда выполнять переход) вызывает передачу управления относительно PC с задержкой по адресу «PC + (4 x sign_ext(*disp22*))», независимо от значений битов целочисленных кодов условий. Если аннулирующий бит инструкции ветвления установлен, то инструкция задержки аннулируется (не выполняется). Если аннулирующий бит сброшен, инструкция задержки выполняется.

Ис-условные переходы

Инструкции условных Bicc (все остальные, за исключением BA и BN) оценивают целочисленные коды условий (icc) в соответствии со значением поля cond инструкции. Такая оценка порождает «истинный» или «ложный» результат. Если результат «истинный», переход выполняется, т.е. инструкция вызывает передачу управления относительно PC с задержкой по адресу «PC + (4 x sign_ext(*disp22*))». Если результат «ложный», переход не выполняется.

Если выполняется условный переход, инструкция задержки всегда выполняется, независимо от значения аннулирующего бита. Если условный переход не выполняется и бит a (аннулирование) установлен, инструкция задержки аннулируется (не выполняется). Следует отметить, что аннулирующий бит воздействует на условные переходы иначе, чем на безусловные переходы.

Аннулирование, инструкции задержки и передача управления с задержкой подробнее описаны в пункте «6.2.3 Инструкции передачи управления (СТП)». Также следует отметить, что инструкции Bicc не следует помещать в слот задержки инструкции условного перехода.

Системные прерывания: отсутствуют.

Инструкции ветвления по кодам условий операций с плавающей запятой

Таблица А.27 – Инструкции ветвления по кодам условий операций с плавающей запятой

Код операции	cond	Операция	Проверка fcc
FBA	1000	Всегда выполнять переход	1
FBN	0000	Никогда не выполнять переход	0
FBU	0111	Переход, если значения не упорядочены	U
FBG	0110	Переход, если больше	G
FBUG	0101	Переход, если больше или значения не упорядочены	G or U
FBL	0100	Переход, если меньше	L
FBUL	0011	Переход, если меньше или значения не упорядочены	L or U
FBLG	0010	Переход, если меньше или больше	L or G
FBNE	0001	Переход, если не равно	L or G, or U
FBE	1001	Переход, если равно	E
FBUE	1010	Переход, если равно или значения не упорядочены	E or U
FBGE	1011	Переход, если больше или равно	E or G
FBUGE	1100	Переход, если больше, меньше или значения не упорядочены	E or G or U
FBLE	1101	Переход, если меньше или равно	E or L
FBULE	1110	Переход, если меньше, равно или значения не упорядочены	E or L or U
FBO	1111	Переход, если значения упорядочены	E or L or G

Формат 2:

00	a	cond	110	disp22			
31 30	29 28	25 24	22 21	0			

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

fba {,a}	метка	
fbn {,a}	метка	
fbu {,a}	метка	
fbg {,a}	метка	
fbug {,a}	метка	
fbl {,a}	метка	
fbul {,a}	метка	
fblg {,a}	метка	
fbne {,a}	метка	(эквивалентно: fbnz)
fbe {,a}	метка	(эквивалентно: fbz)
fbue {,a}	метка	
fbge {,a}	метка	
fbuge {,a}	метка	
fble {,a}	метка	
fbule {,a}	метка	
fbo {,a}	метка	

Примечание – Для установки «аннулирующего» бита инструкций FBfсс, необходимо добавить «,a» к мнемоническому коду операции. Например, «**fbl,a** метка». Для того чтобы указать, что «,a» является опциональной возможностью, данный символ взят в фигурные скобки ({}).

Описание

Безусловные переходы (FBA, FBN)

Если аннулирующий бит сброшен, инструкция FBN (никогда не выполнять переход) выполняется как NOP. Если аннулирующий бит установлен, то следующая инструкция (инструкция задержки) аннулируется (не выполняется). В обоих случаях передача управления не выполняется.

FBA (всегда осуществлять переход) вызывает передачу управления относительно PC с задержкой по адресу «PC + (4 x sign_ext(*disp22*))», независимо от значения битов кодов условий операций с плавающей запятой. Если аннулирующий бит инструкции ветвления установлен, то инструкция задержки аннулируется (не выполняется). Если аннулирующий бит сброшен, то инструкция задержки выполняется.

Fсс-условные переходы

Инструкций условных FBfсс (все остальные, за исключением FBA и FBN) оценивают коды условий операций с плавающей запятой (fсс) в соответствии со значением поля cond инструкции. Такая оценка порождает «истинный» или «ложный» результат. Если результат «истинный», переход выполняется, т.е. инструкция вызывает передачу управления относительно PC с задержкой по адресу «PC + (4 x sign_ext(*disp22*))». Если результат «ложный», переход не выполняется.

Если выполняется условный переход, инструкция задержки всегда выполняется, независимо от значения аннулирующего поля. Если условный переход не выполняется и бит a (аннулирование) установлен, инструкция задержки аннулируется (не выполняется). Следует отметить, что аннулирующий бит воздействует на условные переходы иначе, чем на безусловные переходы.

Аннулирование, инструкции задержки и передача управления с задержкой подробнее описаны в пункте «6.2.3 Инструкции передачи управления (СТП)». Также

следует отметить, что инструкции FBfсс не следует помещать в слот задержки инструкции условного перехода.

Если в PSR бит EF сброшен, либо если FPU отсутствует, инструкция FBfсс не вызывает перехода, следующая инструкция не аннулируется, и срабатывает системное прерывание fp_disabled.

Если непосредственно перед FBfсс выполняется инструкция FPop2, то результат FBfсс будет неопределенным. Поэтому между FPop2 и последующей инструкцией FBfсс должна выполняться хотя бы одна не-FPop2 инструкция.

Если одна из этих трех инструкций, выполняемых после (по времени) LDFSR, является инструкцией FBfсс, значение поля fсс в FSR, видимое для FBfсс, не определено.

Системные прерывания:

- fp_disabled;
- fp_exception.

Инструкции ветвления по кодам условий сопроцессора

Таблица А.28 – Инструкции ветвления по кодам условий сопроцессора

Код операции	cond	Проверка bp_CP_cc[1:0]
СВА	1000	Всегда выполнять переход
СВN	0000	Никогда не выполнять переход
СВ3	0111	3
СВ2	0110	2
СВ23	0101	2 или 3
СВ1	0100	1
СВ13	0011	1 или 3
СВ12	0010	1 или 2
СВ123	0001	1 или 2, или 3
СВ0	1001	0
СВ03	1010	0 или 3
СВ02	1011	0 или 2
СВ023	1100	0 или 2 или 3
СВ01	1101	0 или 1
СВ013	1110	0 или 1 или 3
СВ012	1111	0 или 1 или 2

Формат 2:

00	a	cond	111	disp22
31 30	29 28	25 24 22 21		0

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

- cba**{,a} *метка*
- cbn**{,a} *метка*
- cb3**{,a} *метка*
- cb2**{,a} *метка*
- cb23**{,a} *метка*
- cb1**{,a} *метка*
- cb13**{,a} *метка*
- cb12**{,a} *метка*
- cb123**{,a} *метка*
- cb0**{,a} *метка*
- cb03**{,a} *метка*

cb02{,a} метка
cb023{,a} метка
cb01{,a} метка
cb013{,a} метка
cb012{,a} метка

Примечание – Для установки «аннулирующего» бита инструкций СВссс, необходимо добавить «,а» к мнемоническому коду операции. Например, «**cb12,a** метка». Для того чтобы указать, что «,а» является опциональной возможностью, данный символ взят в фигурные скобки ({}).

Описание

Безусловные переходы (CBA, CBN)

Если аннулирующий бит сброшен, инструкция CBN (никогда не выполнять переход) выполняется как NOP. Если аннулирующий бит установлен, следующая инструкция (инструкция задержки) аннулируется (не выполняется). В обоих случаях передача управления не выполняется.

CBA (всегда выполнять переход) вызывает передачу управления относительно РС с задержкой по адресу «PC + (4 x sign_ext(*disp22*))», независимо от значения битов кодов условий сопроцессора. Если аннулирующий бит инструкции ветвления установлен, то инструкция задержки аннулируется (не выполняется). Если аннулирующий бит сброшен, инструкция задержки выполняется.

Ссс-условные переходы

Инструкций условных СВссс (все остальные, за исключением CBA и CBN) оценивают коды условий сопроцессора (ссс) в соответствии со значением поля cond инструкции. Такая оценка порождает «истинный» или «ложный» результат. Если результат «истинный», переход выполняется, т.е. инструкция вызывает передачу управления относительно РС с задержкой по адресу «PC + (4 x sign_ext(*disp22*))». Если результат «ложный», переход не выполняется.

Если выполняется условный переход, всегда выполняется инструкция задержки, независимо от значения аннулирующего поля. Если условный переход не выполняется и бит а (аннулирование) установлен, инструкция задержки аннулируется (не выполняется). Следует отметить, что аннулирующий бит воздействует на условные переходы иначе, чем на безусловные переходы.

Аннулирование, инструкции задержки и передача управления с задержкой подробнее описаны в пункте «6.2.3 Инструкции передачи управления (СТП)». Также следует отметить, что инструкции СВссс не следует помещать в слот задержки инструкции условного перехода.

Если в PSR бит ЕС сброшен, либо если сопроцессор отсутствует, инструкция СВссс не вызывает перехода, следующая инструкция не аннулируется, и срабатывает системное прерывание *cp_disabled*.

Системные прерывания:

- *cp_disabled*;
- *cp_exception*.

Инструкция вызова подпрограммы и создания связи

Таблица А.29 – Инструкция вызова подпрограммы и создания связи

Код операции	ор	Операция
CALL	01	вызов подпрограммы и создание связи

Формат 1:

01	disp30	
31 30 29		0

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

call *метка*

Описание

Инструкции CALL вызывает безусловную передачу управления относительно PC с задержкой по адресу «PC + (4 x disp30)». Поскольку поле слова замены (disp30) вмещает 30 бит, адрес назначения может находиться на произвольном удалении. Замена PC выполняется с помощью добавления двух нулевых младших значащих разрядов к 30-ти битовому полю слова замены в инструкции.

При выполнении инструкции CALL также в регистр r[15] (выходной регистр 7) записывается значение PC, содержащее адрес CALL.

Системные прерывания: (отсутствуют).

Инструкция перехода и создания связи

Таблица А.30 – Инструкция перехода и создания связи

Код операции	op3	Операция
JMPL	111000	Переход и создание связи

Формат 3:

10	rd	op3	rs1	i = 0	unused (zero)	rs2
31 30 29	25 24		19 18 14	13 12	5 4	0
10	rd	op3	rs1	i = 1	simm13	
31 30 29	25 24		19 18 14	13 12		0

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

jmp *адрес, рег_{rd}*

Описание

Инструкция JMPL выполняет передачу управления с задержкой по адресу, косвенно вычисляемому из значения(-й) регистра(-ов). Итоговый адрес равняется «r[rs1] + r[rs2]», если бит i сброшен, или «r[rs1] + sign_ext(simm13)», если бит i установлен.

Инструкция JMPL копирует PC, содержащий адрес самой инструкции JMPL, в r[rd].

Если хотя бы один из двух младших разрядов адреса перехода установлен, то срабатывает системное прерывание mem_address_not_aligned.

Замечания по программированию

Инструкция JMPL с rd = 15 выполняется как команда вызова с косвенным расчетом адреса, исходя из значения(-й) регистра(-ов), которая использует стандартный регистр связи.

Инструкция JMPL с rd = 0 может использоваться для возврата из подпрограммы. Стандартный адрес возврата – «r[31] + 8», если подпрограмма, вызываемая инструкцией CALL, является не-листовой (используется инструкция SAVE), или «r[15] + 8», если вызываемая инструкцией CALL подпрограмма является листовой (без использования SAVE).

Замечание по реализации

Когда инструкция RETT находится в слоте задержки JMPL, адрес назначения JMPL в обязательном порядке извлекается из адресного пространства, обусловленного новым значением (т.е. после RETT) бита S в PSR. В частности, это относится к возврату из системного прерывания в адресное пространство пользователя.

Системные прерывания:

- mem_address_not_aligned.

Инструкция возврата из системного прерывания

Таблица А.31 – Инструкция возврата из системного прерывания

Код операции	op3	Операция
RETT*	111001	Возврат из системного прерывания
* Привилегированная инструкция.		

Формат 3:

10	unused (zero)	op3	rs1	i = 0	unused (zero)	rs2
31 30 29	25 24	19 18	14 13	12	5 4	0
10	unused (zero)	op3	rs1	i = 1	simm13	
31 30 29	25 24	19 18	14 13	12	0	

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

rett *адрес*

Описание

RETT используется для возврата из обработчика системных прерываний. При определенных условиях RETT может сама вызывать системное прерывание. Если инструкция RETT не вызывает системное прерывание, то к CWP добавляется 1 (по модулю NWINDOWS), выполняется передача управления с задержкой по адресу назначения, из бита PS регистра PSR восстанавливается значения бита S, устанавливается бит ET в PSR. Адрес назначения – « $r[rs1] + r[rs2]$ », если бит i сброшен, или « $r[rs1] + \text{sign_ext}(\text{simm13})$ », если бит i установлен.

При выполнении RETT может произойти одно из приведенных ниже системных прерываний. Описание приводится в порядке приоритетности (сначала системные прерывания высокого приоритета):

- если системные прерывания разрешены ($ET = 1$) и процессор находится в режиме пользователя ($S=0$), срабатывает системное прерывание `privileged_instruction`;

- если системные прерывания разрешены ($ET = 1$) и процессор находится в режиме супервизора ($S=1$), срабатывает системное прерывание `illegal_instruction`;

- если системные прерывания не разрешены ($ET = 0$) и процессор находится в режиме пользователя ($S = 0$), или обнаружено выполнение условия `window_underflow` ($WIM \text{ and } 2^{\text{new-CWP}} = 1$), или один из двух младших разрядов адреса назначения установлен, тогда процессор указывает о возникновении одного из следующих системных прерываний: `privileged_instruction`, или `window_underflow`, или `mem_address_not_aligned` (соответственно) в поле `tt` регистра TBR, и входит в режим `error_mode`.

Инструкция, выполняемая непосредственно перед RETT, должна быть инструкцией JMPL. В противном случае, один или более доступов инструкций, которые следуют за RETT, могут быть выполнены в некорректное адресное пространство.

Замечания по программированию

Для повторного выполнения инструкции, на которую пришлось системное прерывание, при возврате из обработчика системного прерывания необходимо использовать следующую последовательность:

```
jmpl  %r17, %r0  ! old PC
rett %r18      ! old nPC
```

Для возврата к инструкции, которая выполняется после инструкции, на которую пришлось системное прерывание (например, после эмулирования инструкции), необходимо использовать следующую последовательность:

```
jmpl  %r18, %r0  ! old nPC
rett %r18 + 4   ! old nPC + 4
```

Системные прерывания:

- illegal_instruction;
- privileged_instruction;
- privileged_instruction (может вызвать вход процессора в режим error_mode);
- mem_address_not_aligned (может вызвать вход процессора в режим error_mode);
- window_underflow (может вызвать вход процессора в режим error_mode).

Инструкции системного прерывания по целочисленным кодам условий

Таблица А.32 – Инструкции системного прерывания по целочисленным кодам условий

Код операции	cond	Операция	Проверка icc
TA	1000	Системное прерывание происходит всегда	1
TN	0000	Системное прерывание никогда не происходит	0
TNE	1001	Системное прерывание, если не равно	not Z
TE	0001	Системное прерывание, если равно	Z
TG	1010	Системное прерывание, если больше	not (Z or (N xor V))
TLE	0010	Системное прерывание, если меньше или равно	Z or (N xor V)
TGE	1011	Системное прерывание, если больше или равно	not (N xor V)
TL	0011	Системное прерывание, если меньше	N xor V
TGU	1100	Системное прерывание, если больше, для значения без знака	not (C or Z)
TLEU	0100	Системное прерывание, если меньше или равно, для значения без знака	(C or Z)
TCC	1101	Системное прерывание, если бит переноса сброшен (больше или равно, для значений без знака)	not C
TCS	0101	Системное прерывание, если бит переноса установлен (меньше, для значений без знака)	C
TPOS	1110	Системное прерывание, если значение положительное	not N
TNEG	0110	Системное прерывание, если значение отрицательное	N
TVC	1111	Системное прерывание, если бит переполнения сброшен	not V
TVS	0111	Системное прерывание, если бит переполнения установлен	V

Формат 3:

10	reserved	cond	111010	rs1	i = 0	reserved	rs2
31 30	29	28	25 24	19 18	14 13	12	5 4 0
10	reserved	cond	111010	rs1	i = 1	reserved	imm7
31 30	29	28	25 24	19 18	14 13	12	7 6 0

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

```

ta   software_trap#
tn   software_trap#
tne  software_trap#   (эквивалентно: tnz)
te   software_trap#   (эквивалентно: tz)
tg   software_trap#
tle  software_trap#
tge  software_trap#
tl   software_trap#
tgu  software_trap#
tleu software_trap#
tcc  software_trap#   (эквивалентно: tgeu)
tcs  software_trap#   (эквивалентно: tlu)
tpos software_trap#
tneg software_trap#
tvc  software_trap#
tvs  software_trap#
  
```

Описание

Инструкция Ticc проводит оценку целочисленных кодов условий (icc) в соответствии со значением поля cond инструкции, получая либо «истинный» либо «ложный» результат. Если результат «истинный» и более высокоприоритетные исключения или запросы на прерывания не ожидают обработки, то генерируется системное прерывание trap_instruction. Если результат «ложный», системное прерывание trap_instruction не происходит и инструкция выполняется аналогично NOP.

Если системное прерывание trap_instruction генерируется, то в поле tt базового регистра системных прерываний (TBR) записывается 128 плюс семь младших значащих битов «r[rs1] + r[rs2]», если бит i сброшен, или 128 плюс семь младших значащих битов «r[rs1] + sign_ext(software_trap#)», если бит i установлен.

При выполнении Ticc процессор входит в режим супервизора, системные прерывания запрещаются, CWP уменьшается (по модулю NWINDOWS), PC и nPC сохраняются в r[17] и r[18] (локальные регистры 1 и 2) нового окна.

Замечания по программированию

Ticc можно использовать для реализации точки останова, трассировки и вызовов программного обеспечения супервизора. Данные инструкции также могут использоваться для динамической проверки, например, выхода индекса за пределы массива, целочисленного переполнения и т.д.

Системные прерывания:

- trap_instruction.

Инструкции считывания регистров состояния

Таблица А.33 – Инструкции считывания регистров состояния

Код операции	op3	rs1	Операция
RDY	101000	0	Считывание регистра Y
RDASR**	101000	1–15	Считывание вспомогательного регистра состояния (зарезервировано)
RDASR**	101000	16–31	Считывание вспомогательного регистра состояния (в зависимости от реализации)
RDPSR*	101001	зарезервировано	Считывание регистра состояния процессора
RDWIM*	101010	зарезервировано	Считывание регистра маски недопустимости окна
RDTBR*	101011	зарезервировано	Считывание базового регистра системного прерывания
<p>* Привилегированная инструкция. ** Привилегированная инструкция, если исходный регистр привилегирован.</p>			

Формат 3:

10	rd	op3	rs1	unused (zero)	unused (zero)
31 30 29	25 24	19 18	14	13 12	0

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

rd %y, reg_{rd}

rd asr_reg_{rs1}, reg_{rd}

rd %psr, reg_{rd}

rd %wim, reg_{rd}

rd %tbr, reg_{rd}

Описание

Данные инструкции осуществляют считывание определенного регистра состояния IU в r[rd].

Следует отметить, что RDY отличается от RDASR только значением поля rs1. Для считывания регистра Y поле rs1 должно обнулено, а op3 = 0x28.

Если rs1 не равно 0 и op3 = 0x28, выполняется считывание зависящего от конкретной реализации вспомогательного регистра состояния. Значения rs1 в диапазоне от 1 до 14 зарезервированы для последующих версий архитектуры; значения 16–31 доступны для использования в конкретных реализациях. Инструкция RDASR при rs1 = 15 и rd = 0 определена как инструкция STBAR. Инструкции RDASR при rs1 = 15 и значении поля rd не равном 0 зарезервированы для последующих версий архитектуры.

Если значение rs1 инструкции RDASR находится в диапазоне от 1 до 14, её итоговый результат не определен, при этом системное прерывание illegal_instruction не генерируется.

Если значение rs1 инструкции RDASR находится в диапазоне 16–31, интерпретация битов с 13-го по 0-й и с 29-го по 25-й инструкции зависит от реализации, независимо от того, является данная инструкция привилегированной или нет, и вызывает ли данная инструкция системное прерывание illegal_instruction или нет.

Замечание по реализации

Вспомогательные регистры состояния могут включать в себя (например) таймеры, счетчики, регистры диагностики, самодиагностики и управления прерываниями.

Системные прерывания:

- privileged_instruction (за исключением RDY);
- illegal_instruction (только RDASR; зависит от реализации).

Инструкции записи регистров состояния

Таблица А.34 – Инструкции записи регистра статуса

Код операции	op3	rd	Операция
WRY	110000	0	Запись регистра Y
WRASR**	110000	1–15	Запись вспомогательного регистра состояния (зарезервировано)
WRASR**	110000	16–31	Запись вспомогательного регистра состояния (в зависимости от реализации)
WRPSR*	110001	зарезервировано	Запись регистра состояния процессора
WRWIM*	110010	зарезервировано	Запись регистра маски недопустимости окна
WRTBR*	110011	зарезервировано	Запись базового регистра системных прерываний
<p>* Привилегированная инструкция. ** Привилегированная инструкция, если регистр назначения привилегирован.</p>			

Формат 3:

10	rd	op3	rs1	i = 0	unused (zero)	rs2
31 30 29 25 24			19 18 14	13 12	5 4	0
10	rd	op3	rs1	i = 1	simm13	
31 30 29 25 24			19 18 14	13 12	0	

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

```

wr regrs1, reg_or_imm, %y
wr regrs1, reg_or_imm, asr_regrd
wr regrs1, reg_or_imm, %psr
wr regrs1, reg_or_imm, %wim
wr regrs1, reg_or_imm, %tbr

```

Описание

При помощи WRY, WRPSR, WRWIM и WRTBR выполняется запись «r[rs1] xor r[rs2]», если бит i сброшен, или «r[rs1] xor sign_ext(simm13)», если бит i установлен, в поля для записи определенного регистра состояния IU.

Следует отметить, что WRY отличается от WRASR только значением поля rd. Для записи в регистр Y поле rd должно быть обнулено, а op3 = 0x30.

Инструкция WRASR выполняет запись значения во вспомогательный регистр состояния (ASR), указанный в rd. Операция, при помощи которой генерируется записываемое значение, может зависеть от rd или от реализации (см. ниже). Инструкция WRASR выполняется при rd не равном 0 и op3 = 0x30.

Инструкции WRASR со значениями rd, лежащими в диапазоне от 1 до 15, зарезервированы для последующих версий архитектуры, результат их выполнения не определен.

Инструкции WRASR со значениями rd, лежащими в диапазоне от 16 до 31, доступны для использования в конкретных реализациях. Для таких инструкций следующие особенности являются зависимыми от реализации: интерпретация битов с 18-го по 0-й, выполнение операции(-ий) (например, операции исключающего ИЛИ) для генерации записываемого в ASR значения, является ли данная инструкция

привилегированной или нет, вызывает ли данная инструкция системное прерывание `illegal_instruction` или нет. В некоторых существующих реализациях, при помощи инструкций `WRASR` можно осуществлять запись в регистр `Y`. В новых реализациях инструкция `WRASR` не должна использоваться для записи регистра `Y`.

Если в результате выполнения инструкции `WRPSR` приводит к тому, что поле `CWP` в `PSR` начинает указывать на недопустимое окно, происходит системное прерывание `illegal_instruction`, запись в `PSR` не выполняется.

Инструкции записи регистра состояния являются инструкциями записи с задержкой. То есть, завершение операции записи может длиться до окончания выполнения третьей инструкции, идущей после инструкции записи. Количество инструкций задержки (от 0 до 3) зависит от реализации.

Инструкция `WRPSR` выполняет запись полей `ET` и `PIL` немедленно по отношению к прерываниям.

В описании ниже приведена взаимосвязь между записью поля регистра состояния и выполнением одновременного или последовательного доступа к данному полю:

1) Если одна из трех инструкций, следующих после инструкции записи регистра состояния, записывает какое-либо поле того же регистра состояния, то последующее содержимое данного поля не определено. Исключением из данного правила будет являться случай, когда экземпляр той же самой инструкции записи регистра состояния (например, инструкция `WRPSR`, располагающаяся в пределах трех инструкций от другой `WRPSR`) будет записывать поле, как предполагалось.

Замечание по программированию

Многие инструкции в неявной форме перезаписывают `CWP` или поле `icc` в `PSR`. Например, `SAVE`, `RESTORE`, системные прерывания и `RETT` перезаписывают `CWP`, многие инструкции осуществляют запись `icc`.

2) Если одна из трех инструкций, следующих после инструкции записи регистра состояния, считывает какое-либо поле того же регистра состояния, которое было изменено первоначальной инструкцией записи регистра, то значение поля, считываемое данной инструкцией, не определено.

Замечания по программированию

Многие инструкции в неявной форме считывают `CWP` или `icc`. Например, `CALL` выполняет неявное считывание `CWP`, инструкции, которые ссылаются на целочисленные не глобальные (принадлежащие какому-либо окну) регистры, также неявно считывают `CWP`; `SAVE`, `RESTORE`, системные прерывания (включая `Ticc`) и `RETT` считывают `CWP`, `Wicc` и `Ticc` считывают поле `icc`.

`SAVE`, `RESTORE` и `RETT` в неявной форме считывают `WIM`. Если любая из них выполняется в пределах трех инструкций после `WRWIM`, которая изменяет содержимое `WIM`, то предсказать, возникнет ли одно из системных прерываний `window_overflow` или `window_underflow`, не представляется возможным.

`MULScs`, `RDY`, `SDIV`, `SDIVcc`, `UDIV` и `UDIVcc` в неявной форме считывают регистр `Y`. Если какая-либо из данных инструкции выполняется в пределах трех инструкций после `WRY`, которая изменяет содержимое регистра `Y`, то результат выполнения инструкции не определен.

3) В некоторых реализациях, если инструкция `WRPSR` обновляет значение поля `PIL` регистра `PSR` и одновременно устанавливает бит `ET`, то может произойти прерывающее системное прерывание с уровнем, соответствующим старому значению `PIL`.

Замечания по программированию

При разрешении системных прерываний и изменении значения `PIL` следует использовать пару инструкций `WRPSR`. Первая `WRPSR` устанавливает `ET = 0` и новое значение `PIL`; вторая `WRPSR` выставляет `ET = 1` и новое значение `PIL`.

Если системные прерывания разрешены (`ET = 1`), необходимо соблюдать осторожность в случае, если программное обеспечение собирается их запретить (`ET = 0`).

Поскольку последовательность «RDPSR, WRPSR» может выполняться с прерываниями – регистр PSR может быть изменен между выполнением данных двух инструкций – такая последовательность не является надежным механизмом запрещения системных прерываний. Существует две альтернативы:

а. генерация системного прерывания TISS, обработчик которого запретит системные прерывания. Перед тем как возвратиться из прерывания в режим супервизора обработчик системного прерывания должен проверить, действительно ли он был «вызван» из режима супервизора (через контроль бита PS в PSR);

б. использовать последовательность «RDPSR, WRPSR», но тогда все обработчики системных прерываний и внешних запросов на прерывания должны быть составлены так, чтобы перед возвратом в режим супервизора они восстанавливали значение PSR на момент входа в обработчик прерывания.

4) Если выполнение одной из трех инструкций, которые следуют за WRPSR, привело к системному прерыванию, то значения полей S и CWP, считанные из PSR при обработке системного прерывания, могут быть как прежними, так и уже обновленными.

5) Если выполнение одной из трех инструкций, которые следуют за WRTBR, привело к системному прерыванию, то используемый базовый адрес системных прерываний (ТВА) может иметь как прежнее, так и новое значение.

6) Если при выполнении одной из трех инструкций, следующих за любой инструкцией записи регистра состояния, происходит системное прерывание, при последующем считывании регистра состояния обработчик системных прерываний получит новое значение регистра состояния.

Замечания по реализации

Вспомогательные регистры состояния могут включать в себя (например) таймеры, счетчики, регистры диагностики, самодиагностики и управления прерываниями.

Два возможных способа реализации инструкцией WRPSR немедленной записи ET и PIL по отношению к прерываниям:

- немедленная запись ET и PIL (с распространением по конвейеру по мере необходимости);

- запрещение прерываний в течение последующих трех инструкций.

Системные прерывания:

- privileged_instruction (за исключением WRY);

- illegal_instruction (WRPSR, если $CWP \geq NWINDOWS$);

- illegal_instruction (WRASR в зависимости от реализации).

Инструкция STBAR

Таблица А.35 – Инструкция STBAR

Код операции	op3	Операция
STBAR	101000	Барьер сохранений

Формат 3:

10	00000	op3	01111	0	unused (zero)	0				
31	30	29	25	24	19	18	14	13	12	0

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

stbar

Описание

Инструкция барьера сохранений (STBAR) принуждает завершить все операции сохранения и атомарной загрузки-сохранения, выданные процессору перед STBAR, перед тем как совершить любую из операций сохранения и атомарной загрузки-сохранения, выданной процессору после STBAR, в памяти.

STBAR выполняется как NOP в системах, в которых реализуется только модель «Строгой консистентности памяти» или модель «Полного упорядочивания сохранения» (TSO), а также в системах, которые реализуют модель «Частичного упорядочивания сохранения» (PSO), но запущены с отключенным режимом PSO.

Следует отметить, что кодирование STBAR соответствует кодированию инструкции RDASR с $rs1 = 15$ и $rd = 0$.

Замечание по реализации

Для обеспечения корректной работы процессору достаточно прекратить подачу новых операций сохранения и атомарной загрузки-сохранения при обнаружении STBAR и продолжить их выдачу только после того, как все операции сохранения завершены и наблюдаются в памяти всеми процессорами. Более эффективные реализации используют тот факт, что процессор может выдавать операции сохранения и атомарной загрузки-сохранения после STBAR, при условии, что данные операции гарантированно не будут выполняться памятью до завершения предыдущих операций сохранения и атомарной загрузки-сохранения.

Системные прерывания: отсутствуют.

Нереализованная инструкция

Таблица A.36 – Нереализованная инструкция

Код операции	op	op2	Операция
UNIMP	00	000	Операция не реализована

Формат 2:

00	reserved	000	const22
31 30 29		25 24 22 21	0

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

unimp *const22*

Описание

Инструкция UNIMP вызывает системное прерывание `illegal_instruction`. Значение `const22` не учитывается аппаратным обеспечением; в частности, значения `const22` не зарезервированы архитектурой для использования в последующих версиях.

Замечания по программированию

Данная инструкция может использоваться как часть протокола вызова функции, которая должна возвращать составное значение, например, такое как **struct** или **union** языка C или как **record** языка Паскаль.

1) Инструкцию UNIMP располагают после слота задержки (не в самом слоте) инструкции CALL вызова функции.

2) Если вызванная функция возвращает структуру, она может найти размер структуры, который ожидается вызывающей программой в качестве результата, в поле `const22` инструкции UNIMP. Вызываемая функция может проверить кода операции, чтобы убедиться, что это действительно UNIMP.

3) Если в функции не планировалось возвращать структуру, то при возврате будет осуществлена попытка выполнения инструкции UNIMP, а не её пропуск, как это подразумевалось. Это вызывает завершение работы программы. Такое поведение добавляет некоторую проверку во время выполнения программы интерфейсам, которые нельзя полноценно проверить во время компиляции.

Системные прерывания:
- illegal_instruction.

Инструкция сброса памяти инструкций

Таблица А.37 – Инструкция сброса памяти инструкций

Код операции	op3	Операция
FLUSH	111011	Сброс памяти инструкций

Формат 3:

10	unused (zero)	op3	rs1	i = 0	unused (zero)	rs2
31 30 29	25 24		19 18 14	13 12	5 4	0
10	unused (zero)	op3	rs1	i = 1	simm13	
31 30 29	25 24		19 18 14	13 12	0	

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:
flush *адрес*

Описание

Инструкция FLUSH гарантирует, что выборка последующих инструкций в процессор, осуществляющий FLUSH, будет произведена после всех загрузок, сохранений и атомарных загрузок-сохранений данным процессором до FLUSH.

В мультипроцессорных системах FLUSH также гарантирует, что операции сохранения и атомарной загрузки-сохранения адрес назначения инструкции FLUSH, выполненные до FLUSH данным процессором, станут видимыми для выборки инструкций всех остальных процессоров через некоторое время после выполнения FLUSH.

При выполнении процессором последовательности сохранений и атомарных загрузок-сохранений наряду с соответствующими инструкциями FLUSH и STBAR, (последняя из них требуется только для модели памяти PSO), изменения в выборке инструкций всех процессоров будут проявляться в порядке их выполнения.

FLUSH действует на двойное слово, которое содержится по заданному адресу.

FLUSH требуется выполнять исключительно между сохранением и последующим доступом к инструкции в измененной ячейке. Модель памяти сама по себе гарантирует, что результат операции загрузки данных будет соответствовать последнему произведенному сохранению, даже если промежуточные FLUSH не выполняются.

Операндом действительного виртуального адреса инструкции FLUSH является «r[rs1] + r[rs2]», если бит i сброшен, или «r[rs1] + sign_ext(simm13)», если бит i установлен. Два младших значащих адресных бита результата не используются и должны быть сброшены программным обеспечением. Бит 2 адреса не учитывается.

К моменту выполнения пяти инструкций, следующих после FLUSH, любая внутренняя копия адресуемой ячейки в процессоре, выдающем команды, будет содержать такое же значение, которое было бы при считывании из памяти. В качестве примера можно привести конвейер процессора или буфер инструкций, которые могут содержать внутреннюю копию адресуемой ячейки.

Замечания по программированию

- 1) FLUSH обычно используется в самомодифицирующемся коде.
- 2) Хотя FLUSH обеспечивает поддержку самомодифицирующегося кода, использование подобного кода не рекомендуется. В некоторых реализациях выполнение FLUSH является затратным по времени.

Замечания по реализации

1) FLUSH может работать не только с двойным словом, но и с большими блоками информации, обозначенными в действительном адресе. В частности, при помощи данной инструкции может сбрасываться одна или более строк или блоков, содержащих кэш.

2) В однопроцессорной системе с совмещенным кэшем инструкций и данных (или без кэша) и общей глубиной конвейера (буфер сохранения плюс буфер инструкций) не более пяти инструкций, FLUSH может не выполнять никаких операций.

В однопроцессорной системе с отдельными кэшами инструкций и данных FLUSH гарантирует, что если оба кэша содержат копию адресуемой позиции, то эти кэшированные копии в конечном итоге станут согласованными.

В мультипроцессорной системе с кэшами FLUSH гарантирует согласованность всех копий кэшируемого содержимого адресуемой ячейки.

Согласованность кэша может быть реализована через любую комбинацию операций признания недействительности, обратной записи кэшируемых данных или другими зависящими от реализации механизмами согласования.

3) Если инструкция FLUSH не реализована аппаратно, как описано выше, FLUSH вызывает системное прерывание `unimplemented_FLUSH` (или `illegal_instruction`), при этом функции FLUSH выполняются программным обеспечением системы. Будет ли происходить системное прерывание при выполнении FLUSH или нет, зависит от реализации. Если она вызывает системное прерывание, то при выполнении FLUSH срабатывает системное прерывание `unimplemented_FLUSH` или `illegal_instruction`. В реализациях, в которых `unimplemented_FLUSH` поддерживает более быстрое эмулирование FLUSH программным обеспечением по сравнению с `illegal_instruction`, рекомендуется использовать `unimplemented_FLUSH`. В реализации может быть организован выбор предпочтительного системного прерывания при выполнении инструкции FLUSH, который может осуществляться на базе отдельного вывода или бита в зависящем от конкретной реализации регистре управления.

4) В заданной реализации при помощи FLUSH может сбрасываться буфер инструкций и / или конвейер процессора при условии, что буфер инструкций и конвейер будут согласованы с кэшем за время выполнения пяти инструкций.

5) Количество инструкций, которые должны быть выполнены после FLUSH, перед тем как её эффект будет применен, зависит от реализации, но не может быть более пяти.

Системные прерывания:

- `unimplemented_FLUSH` (зависит от реализации);
- `illegal_instruction` (зависит от реализации).

Инструкции операций с плавающей запятой (FPop)

Таблица А.38 – Инструкции операций с плавающей запятой (FPop)

Код операции	op3	Операция
FPop1	110100	Операции с плавающей запятой
FPop2	110101	Операции с плавающей запятой

Формат 3:

10	rd	110100	rs1	opf	rs2
31 30 29	25 24		19 18	14 13	5 4 0
10	rd	110101	rs1	opf	rs2
31 30 29	25 24		19 18	14 13	5 4 0

Описание

Кодирование инструкций операций с плавающей запятой (FPop) выполняется при помощи двух форматов типа 3: FPop1 и FPop2. Конкретная операция с плавающей запятой указывается в поле opf. Следует отметить, что инструкции загрузки / сохранения данных с плавающей запятой не являются инструкциями FPop.

Инструкции FPop1 не меняют коды условий операций с плавающей запятой. Инструкции FPop2 меняют коды условий операций с плавающей запятой.

Инструкции FPop поддерживают операции с целочисленными словами и операндами с одинарной точностью, с удвоенной точностью и с учетверенной точностью в регистре(ax) f.

Все инструкций FPop производят операции в соответствии со стандартом ANSI/IEEE 754-1985 над форматами данных одинарной, удвоенной и учетверенной точности. Формат записи данных с плавающей запятой приведен в подразделе «5.2 Форматы данных».

При выполнении инструкций FPop удвоенной точности не используется младший значащий бит адреса регистра f; при выполнении инструкций FPop учетверенной точности не используются два младших значащих бита адреса регистра f. Неиспользуемые биты адреса регистра зарезервированы и, для совместимости с последующими версиями, должны быть сброшены программным обеспечением. Если данные биты не сброшены в FPop с компонентами удвоенной и учетверенной точности, рекомендуется, чтобы FPop вызвала системное прерывание fp_exception с FSR.ftt = invalid_fp_register.

Если при помощи инструкции FPop2 (например, FCMP, FCMPE) устанавливаются коды условий операций с плавающей запятой, между FPop2 и последующей инструкцией FBfсс, должна быть выполнена хотя бы одна инструкция не-FPop2 (операция, которая не принадлежит к типу FPop2). В противном случае результат FBfсс не определен.

Инструкция FPop вызывает системное прерывание fp_disabled, если бит EF в PSR сброшен или FPU отсутствует.

Исключения операций с плавающей запятой могут вызывать строгие или отложенные системные прерывания.

Инструкций конвертации целочисленных данных в данные с плавающей запятой

Таблица А.39 – Инструкций конвертации целочисленных данных в данные с плавающей запятой

Код операции	opf	Операция
FiTOs	011000100	Конвертация целочисленных данных в данные с плавающей запятой одинарной точности
FiTOd	011001000	Конвертация целочисленных данных в данные с плавающей запятой удвоенной точности
FiTOq	011001100	Конвертация целочисленных данных в данные с плавающей запятой учетверенной точности

Формат 3:

10	rd	110100	unused (zero)	opf	rs2
31 30	29 25 24		19 18	14 13	5 4 0

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

fitos *freg_{rs2}*, *freg_{rd}*

fitod *freg_{rs2}*, *freg_{rd}*

fitoq *freg_{rs2}*, *freg_{rd}*

Описание

При помощи данных инструкций выполняется конвертация 32-х битового целочисленного слова из *f[rs2]* в число с плавающей запятой в назначенном формате. Результат данных инструкций записывается в регистр(-ы) *f*, заданный(-ые) полем *rd*.

Округление FiTOs выполняется в соответствии со значением поля RD в FSR.

Системные прерывания:

- fp_disabled;
- fp_exception (NX (только FiTOs), invalid_fp_register (FiTOd, FiTOq)).

Инструкций конвертации данных с плавающей запятой в целочисленные данные

Таблица А.40 – Инструкций конвертации данных с плавающей запятой в целочисленные данные

Код операции	opf	Операция
FsTOi	011010001	Конвертация данных с плавающей запятой одинарной точности в целочисленные данные
FdTOi	011010010	Конвертация данных с плавающей запятой удвоенной точности в целочисленные данные
FqTOi	011010011	Конвертация данных с плавающей запятой учетверенной точности в целочисленные данные

Формат 3:

10	rd	110100	rs1	opf	rs2
31 30	29 25 24		19 18	14 13	5 4 0

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

fstoi *freg_{rs2}*, *freg_{rd}*

fdtoi *freg_{rs2}*, *freg_{rd}*

fqtoi *freg_{rs2}*, *freg_{rd}*

Описание

При помощи данных инструкций выполняется конвертация операнда с плавающей запятой из регистра(-ов) *f*, заданного(-ых) полем *rs2*, в 32-х битовое целочисленное слово в *f[rd]*.

Результат всегда округляется в направлении нуля (поле RD регистра FSR игнорируется).

Системные прерывания:

- fp_disabled;
- fp_exception (NV, NX, invalid_fp_register (FdTOi, FqTOi)).

Инструкций конвертации форматов данных с плавающей запятой

Таблица А.41 – Инструкций конвертации форматов данных с плавающей запятой

Код операции	opf	Операция
FsTOd	011001001	Конвертация данных одинарной точности в данные удвоенной точности
FsTOq	011001101	Конвертация данных одинарной точности в данные учетверенной точности
FdTOs	011000110	Конвертация данных удвоенной точности в инструкции одинарной точности
FdTOq	011001110	Конвертация данных удвоенной точности в данные учетверенной точности
FqTOs	011000111	Конвертация данных учетверенной точности в данные одинарной точности
FqTOd	011001011	Конвертация данных учетверенной точности в данные в данные удвоенной точности

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

fstod *freg_{rs2}, freg_{rd}*

fstoq *freg_{rs2}, freg_{rd}*

fdtos *freg_{rs2}, freg_{rd}*

fdtoq *freg_{rs2}, freg_{rd}*

fqtos *freg_{rs2}, freg_{rd}*

fqtod *freg_{rs2}, freg_{rd}*

Формат 3:

10	rd	110100	unused (zero)	opf	rs2
31 30	29 25 24	19 18	14 13	5 4	0

Описание

При помощи данных инструкций выполняется конвертация операнда с плавающей запятой из регистра(-ов) *f*, заданного(-ых) полем *rs2*, в число с плавающей запятой в формате назначения. Результат данных инструкций записывается в регистр(-ы) *f*, заданный(-ые) полем *rd*.

Округление выполняется в соответствии со значением поля *RD* в *FSR*.

При выполнении *FqTOd*, *FqTOs* и *FdTOs* («сужающие» инструкции конвертации) могут возникнуть исключения *OF*, *UF* и *NX*. При выполнении *FdTOq*, *FsTOq* и *FsTOd* («расширяющие» инструкции конвертации) данные исключения не возникают.

При выполнении данных шести инструкций может возникнуть исключение *NV*, если исходный операнд является «сигнализирующим» *NaN* (*SNaN*).

Системные прерывания:

- *fp_disabled*;

- *fp_exception* (*OF*, *UF*, *NV*, *NX*, *invalid_fp_register*).

Инструкции пересылки с плавающей запятой

Таблица А.42 – Инструкции пересылки с плавающей запятой

Код операции	opf	Операция
FMOV _s	000000001	Перемещение
FNEG _s	000000101	Логическая операция НЕ
FABS _s	000001001	Взятие абсолютного значения

Формат 3:

10	rd	110100	unused (zero)	opf	rs2
31 30	29 25 24		19 18	14 13	5 4 0

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

fmovs *freg_{rs2}*, *freg_{rd}*

fnegs *freg_{rs2}*, *freg_{rd}*

fabss *freg_{rs2}*, *freg_{rd}*

Описание

FMOVs копируется содержимое *f[rs2]* в *f[rd]*.

FNEGs копирует содержимое *f[rs2]* в *f[rd]* с комплементарным битом знака.

FABSSs копирует содержимое *f[rs2]* в *f[rd]* со сброшенным битом знака.

Данные инструкций не выполняют округление.

Замечания по программированию

Для передачи значения повышенной точности между регистрами *f* требуется по одной инструкции FMOV на каждое слово данных.

Если исходный регистр и регистр назначения (*freg_{rs2}* и *freg_{rd}*) одинаковы, то при помощи инструкций FNEGs (FABSSs) выполняется операция логического НЕ (взятия абсолютного значения) операнда любой точности, включая удвоенную и учетверенную точность.

Если исходный регистр и регистр назначения отличаются, при помощи инструкций FNEGs (FABSSs) и FMOVs выполняется операция логического НЕ (взятия абсолютное значение) для данных удвоенной точности. Аналогично, при помощи инструкций FNEGs (FABSSs) и трех инструкций FMOVs выполняется операция логического НЕ (взятия абсолютного значения) для данных учетверенной точности.

Системные прерывания:

- fp_disabled.

Инструкции вычисления квадратного корня с плавающей запятой

Таблица А.43 – Инструкции вычисления квадратного корня с плавающей запятой

Код операции	opf	Операция
FSQRTs	000101001	Квадратный корень одинарной точности
FSQRTd	000101010	Квадратный корень удвоенной точности
FSQRTq	000101011	Квадратный корень учетверенной точности

Формат 3:

10	rd	110100	unused (zero)	opf	rs2
31 30	29 25 24		19 18	14 13	5 4 0

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

fsqrts *freg_{rs2}*, *freg_{rd}*

fsqrtd *freg_{rs2}*, *freg_{rd}*

fsqrtq *freg_{rs2}*, *freg_{rd}*

Описание

При помощи данных инструкций генерируется квадратный корень операнда с плавающей запятой из регистре(-ах) *f*, заданном(-ых) полем *rs2*. Результат данных инструкций записывается в регистр(-ы) *f*, заданный(-ые) полем *rd*.

Округление выполняется в соответствии со значением поля *rd* в FSR.

Системные прерывания:

- *fp_disabled*;
- *fp_exception* (NV, NX, *invalid_fp_register* (FSQRTd, FSQRTq)).

Инструкции сложения и вычитания с плавающей запятой

Таблица А.44 – Инструкции сложения и вычитания с плавающей запятой

Код операции	opf	Операция
FADDs	001000001	Сложение одинарной точности
FADDd	001000010	Сложение удвоенной точности
FADDq	001000011	Сложение учетверенной точности
FSUBs	001000101	Вычитание одинарной точности
FSUBd	001000110	Вычитание удвоенной точности
FSUBq	001000111	Вычитание учетверенной точности

Формат 3:

10	rd	110100	rs1	opf	rs2
31 30 29	25 24	19 18	14 13	5 4	0

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

fadds *freg_{rs1}*, *freg_{rs2}*, *freg_{rd}*

faddd *freg_{rs1}*, *freg_{rs2}*, *freg_{rd}*

faddq *freg_{rs1}*, *freg_{rs2}*, *freg_{rd}*

fsubs *freg_{rs1}*, *freg_{rs2}*, *freg_{rd}*

fsubd *freg_{rs1}*, *freg_{rs2}*, *freg_{rd}*

fsubq *freg_{rs1}*, *freg_{rs2}*, *freg_{rd}*

Описание

При помощи инструкций сложения с плавающей запятой выполняется сложение регистра(-ов) *f*, заданного(-ых) полем *rs1*, и регистра(-ов) *f*, заданного(-ых) полем *rs2*, с записью суммы в регистр(-ы) *f*, заданный(-ые) полем *rd*.

При помощи инструкций вычитания с плавающей запятой выполняется вычитание регистра(-ов) *f*, заданного(-ых) полем *rs2*, из регистра(-ов) *f*, заданного(-ых) полем *rs1*, с записью разницы в регистр(-ы) *f*, заданный(-ые) полем *rd*.

Системные прерывания:

- *fp_disabled*;
- *fp_exception* (OF, UF, NX, NV ($\infty - \infty$));
- *invalid_fp_register* (все, за исключением инструкций FADDs и FSUBs).

Инструкции умножения и деления с плавающей запятой

Таблица А.45 – Инструкции умножения и деления с плавающей запятой

Код операции	opf	Операция
FMULs	001001001	Умножение одинарной точности
FMULd	001001010	Умножение удвоенной точности
FMULq	001001011	Умножение учетверенной точности
FsMULd	001101001	Умножение операнда одинарной точности на операнд удвоенной точности
FdMULq	001101110	Умножение операнда удвоенной точности на операнд учетверенной точности
FDIVs	001001101	Деление одинарной точности
FDIVd	001001110	Деление удвоенной точности
FDIVq	001001111	Деление учетверенной точности

Формат 3:

10	rd	110100	rs1	opf	rs2
31 30 29	25 24	19 18	14 13	5 4	0

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

fmuls *freg_{rs1}*, *freg_{rs2}*, *freg_{rd}*

fmuld *freg_{rs1}*, *freg_{rs2}*, *freg_{rd}*

fmulq *freg_{rs1}*, *freg_{rs2}*, *freg_{rd}*

fsmuld *freg_{rs1}*, *freg_{rs2}*, *freg_{rd}*

fdmulq *freg_{rs1}*, *freg_{rs2}*, *freg_{rd}*

fdivs *freg_{rs1}*, *freg_{rs2}*, *freg_{rd}*

fdivd *freg_{rs1}*, *freg_{rs2}*, *freg_{rd}*

fdivq *freg_{rs1}*, *freg_{rs2}*, *freg_{rd}*

Описание

При помощи инструкций умножения с плавающей запятой выполняется умножение регистра(-ов) *f*, заданного(-ых) полем *rs1*, на регистр(ы) *f*, заданный(-ые) полем *rs2*, с записью произведения в регистр(ы) *f*, заданный(-ые) полем *rd*.

Инструкция **FsMULd** реализует точное произведение удвоенной точности двух операндов одинарной точности, без обратного переполнения, переполнения или ошибки округления. Аналогично **FdMULq** обеспечивает точное произведение учетверенной точности двух операндов удвоенной точности.

При помощи инструкций деления с плавающей запятой выполняется деление регистра(-ов) *f*, заданного(-ых) полем *rs1*, на регистр(ы) *f*, заданный(-ые) полем *rs2*, с записью частного в регистр(-ы) *f*, заданный(-ые) полем *rd*.

Системные прерывания:

- `fp_disabled`;
- `fp_exception` (OF, UF, DZ (только **FDIV**), NV, NX);
- `invalid_fp_register` (все, за исключением инструкций **FMULs** и **FDIVs**).

Инструкции сравнения с плавающей запятой

Таблица А.46 – Инструкции сравнения с плавающей запятой

Код операции	opf	Операция
FCMPs	001010001	Сравнение операндов одинарной точности
FCMPd	001010010	Сравнение операндов удвоенной точности
FCMPq	001010011	Сравнение операндов учетверенной точности
FCMPEs	001010101	Сравнение операндов одинарной точности и вызова исключения, если не упорядочено
FCMPEd	001010110	Сравнение операндов удвоенной точности и вызова исключения, если не упорядочено
FCMPEq	001010111	Сравнение операндов учетверенной точности и вызова исключения, если отношение не упорядочено

Формат 3:

10	unused (zero)	110101	rs1	opf	rs2
31 30 29	25 24	19 18	14 13	5 4	0

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

fcmps *freg_{rs1}*, *freg_{rs2}*

fcmpd *freg_{rs1}*, *freg_{rs2}*

fcmpq *freg_{rs1}*, *freg_{rs2}*

fcmpes *freg_{rs1}*, *freg_{rs2}*

fcmped *freg_{rs1}*, *freg_{rs2}*

fcmpeq *freg_{rs1}*, *freg_{rs2}*

Описание

При помощи данных инструкций выполняется сравнение регистра(-ов) *f*, заданного(-ых) полем *rs1*, с регистром(-ами) *f*, заданным(-ыми) полем *rs2*, с установкой кодов условий операций с плавающей запятой в соответствии с таблицей, приведенной ниже.

Таблица А.47 – Коды условий операций с плавающей запятой (fcc)

fcc	Отношение
0	$freg_{rs1} = freg_{rs2}$
1	$freg_{rs1} < freg_{rs2}$
2	$freg_{rs1} > freg_{rs2}$
3	$freg_{rs1} ? freg_{rs2}$ (не упорядочено)

Инструкции «сравнения и вызова исключения, если не упорядочено» (FCMPEs, FCMPEd и FCMPEq) вызывают исключение недействительности (NV), если один из операндов является «сигнализирующим» NaN или «тихим» NaN. FCMP вызывает исключение недействительности (NV), если любой из операндов является «сигнализирующим» NaN.

Инструкция не-FPop2 (операция, которая не принадлежит к типу FPop2) должна быть выполнена между инструкцией FPop2 (FCMP или FCMPE) и последующей инструкцией FBfcc. В противном случае результат FBfcc не определен.

Системные прерывания:

- fp_disabled;

- fp_exception (NV, invalid_fp_register(все инструкций, за исключением FCMPs и FCMPEs)).

Инструкции операций сопроцессора

Таблица А.48 – Инструкции операций сопроцессора

Код операции	ор3	Операция
CPop1	110110	Операции сопроцессора
CPop2	110111	Операции сопроцессора

Формат 3:

10	rd	110110	rs1	opc	rs2
31 30 29	25 24	19 18	14 13	5 4	0
10	rd	110111	rs1	opc	rs2
31 30 29	25 24	19 18	14 13	5 4	0

Предлагаемый синтаксис на языке ассемблера:

сpop1 *opc, creg_{rs1}, creg_{rs2}, creg_{rd}*

сpop2 *opc, creg_{rs1}, creg_{rs2}, creg_{rd}*

Стоит отметить, что выше приведен «универсальный» предлагаемый синтаксис на языке ассемблера для данных инструкций, который может использоваться вне зависимости от конкретной реализации ассемблера SPARC. Предполагается, что ассемблеры, поддерживающие конкретные реализации сопроцессора, (также) поддерживают синтаксис с большим количеством мнемонических имен инструкций и меньшим количеством операндов.

Описание

Кодирование инструкций управления сопроцессора (CPop) выполняется с помощью двух форматов типа 3: CPop1 и CPop2. Интерпретация полей rd, rs1, opc и rs2 зависит от сопроцессора. Следует отметить, что инструкции загрузки / сохранения сопроцессора не являются инструкциями «CPop».

Инструкции CPop1 не изменяют коды условий сопроцессора. Инструкции CPop2 изменяют коды условий сопроцессора.

Все инструкции CPop принимают все входные операнды и возвращают результат только в регистры сопроцессора. Поддерживаемые сопроцессором типы данных зависят от сопроцессора. Выравнивание операндов в сопроцессоре зависит от сопроцессора.

Если бит ЕС в PSR сброшен или сопроцессор отсутствует, инструкция CPop вызывает системное прерывание `cp_disabled`.

Условия, при которых инструкция CPop вызывает системное прерывание `cp_exception`, зависят от сопроцессора.

Системные прерывания:

- `cp_disabled`;

- `cp_exception` (в зависимости от сопроцессора).

Пример программы

```
/* a simple program computing the first n Fibonacci numbers */

extern unsigned * fibonacci();

#define MAX_FIB_REPRESENTABLE 49

/* compute the first n Fibonacci numbers */
unsigned * fibonacci(n)
int n;
{
    static unsigned fib_array[MAX_FIB_REPRESENTABLE] = {0,1};
    unsigned prev_number = 0;
    unsigned curr_number = 1;
    int i;
    if (n >= MAX_FIB_REPRESENTABLE)
    {
        printf("Fibonacci(%d) cannot be represented in a 32 bit word\n", n);
        exit(1);
    }

    for (i = 2; i < n; i++)
    {
        fib_array[i] = prev_number + curr_number;
        prev_number = curr_number;
        curr_number = fib_array[i];
    }

    return(fib_array);
}

main()
{
    int n, i;
    unsigned * result;
    printf("Fibonacci(n):, please enter n:\n");
    scanf("%d", &n);
    result = fibonacci(n);
    for (i = 1; i <= n; i++)
    printf("Fibonacci (%d) is %u\n", i, *result++);
}

! A simple program computing the first n Fibonacci numbers, showing
! various pseudo-operations, sparc and synthetic instructions
!
! pseudo-operations:          .align, .ascii, .file, .global, .ident,
!                               .proc, .section, .size, .skip, .type, .word
! sparc instructions:        add, bg, bge, bl, ble, ld, or, restore,
!                               save, sethi, st
! synthetic instructions:    call, cmp, inc, mov, ret
```

```

.file "fibonacci.c"           ! the original source file name
.section ".text"            ! text section (executable instructions)
.proc 79                    ! subroutine fibonacci, it's return value will be in %i0
.global fibonacci          ! fibonacci() can be referenced outside this file
.align 4                    ! align the beginning of this section to word boundary

fibonacci:
    save %sp,-96,%sp         ! create new stack frame and register window for
                                ! this subroutine

    /* if (n >= MAX_FIB_REPRESENTABLE) { */
                                ! note, C style comment strings are also permitted

    cmp %i0,49                ! n >= MAX_FIB_REPRESENTABLE ?
                                ! note, n, the 1st parameter to fibonacci(), is stored
                                ! in %i0 upon entry

    bl .L77003                ! initialization of variable
                                ! prev_number is executed in the delay slot

    /* printf("Fibonacci(%d) cannot be represented in a 32 bits word\n", n); */
    sethi %hi(.L20),%o0        ! if branch not taken, call printf(), set up 1st,
    or %o0,%lo(.L20),%o0      ! 2nd argument in %o0, %o1;
    call printf,2              ! the ",2" means there are 2 out registers used
    mov %i0,%o1               ! as arguments

    /* exit(1); */
    call exit,1
    mov 1,%o0

.L77003:                       ! initialize variables before the loop
    /* for (i = 2; i < n; i++) { */
    mov 1,%i4                 ! curr_number = 1
    mov 2,%i3                 ! i = 2
    cmp %i3,%i0               ! i <= n?
    bge .L77006               ! if not, return
    sethi %hi(.L16+8),%o0      ! use %i5 to store &fib_array[i]
    add %o0,%lo(.L16+8),%i5

.LY1:                           ! loop body
    /* fib_array[i] = prev_number + curr_number; */
    add %i2,%i4,%i2           ! fib_array[i] = prev_number + curr_number
    st %i2,[%i5]
    /* prev_number = curr_number; */
    mov %i4,%i2               ! prev_number = curr_number
    /* curr_number = fib_array[i]; */
    ld [%i5],%i4              ! curr_number = fib_array[i]
    inc %i3                   ! i++
    cmp %i3,%i0               ! i <= n?
    bl .LY1                   ! if yes, repeat loop
    inc 4,%i5                 ! increment ptr to fib_array[]

```

```

.L77006:
    /* return(fib_array); */
    sethi %hi(.L16),%o0          ! return fib_array in %i0
    add %o0,%lo(.L16),%i0
    ret
    restore                    ! destroy stack frame and register window

.type fibonacci,#function      ! fibonacci() is of type function
.size fibonacci,(-.fibonacci) ! size of function:
                                ! current location counter minus beginning definition
                                ! of function
.proc 18                       ! main program
.global main
.align 4

main:
    save %sp,-104,%sp          ! create stack frame for main()

    /* printf("Fibonacci(n):, please input n:\n"); */
    sethi %hi(.L31),%o0        ! call printf, with 1st arg in %o0
    call printf,1
    or %o0,%lo(.L31),%o0

    /* scanf("%d", &n); */
    sethi %hi(.L33),%o0        ! call scanf, with 1st arg, in %o0
    or %o0,%lo(.L33),%o0      ! move 2nd arg. to %o1, in delay slot
    call scanf,2
    add %fp,-4,%o1

    /* result = fibonacci(n); */
    call fibonacci,1
    ld [%fp-4],%o0

                                ! some initializations before the for-loop,
                                ! put the variables in registers

    /* for (i = 1; i <= n; i++) */
    mov 1,%i5                  ! %i5 <-- i
    mov %o0,%i4                ! %i4 <-- result
    sethi %hi(.L38),%o0        ! %i2 <-- format string for printf
    add %o0,%lo(.L38),%i2
    ld [%fp-4],%o0            ! test if (i <= n) ?
    cmp %i5,%o0               ! note, n is stored in [%fp-4]
    bg .LE27
    nop

.LY2:                          ! loop body
    /* printf("Fibonacci (%d) is %u\n", i, *result++); */
    ld [%i4],%o2              ! call printf, with (*result) in %o2,
    mov %i5,%o1              ! i in %o1, format string in %o0
    call printf,3
    mov %i2,%o0
    inc %i5 ! i++

```

```

    ld [%fp-4],%o0           ! i <= n?
    cmp %i5,%o0
    ble .LY2
    inc 4,%i4                ! result++

.LE27:
    ret
    restore

    .type main,#function    ! type and size of main
    .size main,(-main)
    .section ".data"        ! switch to data section(contains initialized data)
    .align 4

.L16:
    /* static unsigned fib_array[MAX_FIB_REPRESENTABLE] = {0,1}; */
    .align 4                ! initialization of first 2 elements of
    .word 0                  ! fib_array[]
    .align 4
    .word 1
    .skip 188
    .type .L16,#object      ! storage allocation for the rest of fib_array[]
    .section ".data1"      ! the ascii string data are entered into the .data1
                                ! section;
                                ! #alloc: memory would be allocated for this section
                                ! during run time
                                ! #write: the section contains data that is writeable
                                ! during process execution

    .align 4

.L20:                          ! ascii strings used in the printf statements
    .ascii "Fibonacci(%d) cannot be represented in a 32 bit w"
    .ascii "ord\n\0"
    .align 4                ! align the next ascii string to word boundary

.L31:
    .ascii "Fibonacci(n):, please enter n:\n\0"
    .align 4

.L33:
    .ascii "%d\0"
    .align 4

.L38:
    .ascii "Fibonacci (%d) is %u\n\0"
    .ident "acomp: (CDS) SPARCompilers 2.0 05 Jun 1991"
                                ! an identification string produced by the compiler
                                ! to be entered into the .comment section

```

Приложение Б

(обязательное)

Конфигурация plug & play

Общая информация

GRLIB-реализация АНВ шины включает механизм, обеспечивающий поддержку plug & play. Она состоит из трех частей: идентификации подключаемого модуля (ведущий или ведомый), отображения адресов ведомых и маршрутизации прерываний. Информация plug & play для каждого АНВ устройства состоит из конфигурационной записи, содержащей восемь 32-битных слов. Первое слово называется регистром идентификации и содержит информацию о типе устройства и маршрутизации прерывания. Последние четыре слова называются регистрами адресов банков и содержат информацию об отображении адресов ведомых устройств. Оставшиеся три слова не детерминированы и на этапе разработки в них может быть сохранена специфичная для модуля конфигурационная информация. На рисунке Б.1 приведен формат конфигурационной записи в области plug & play.

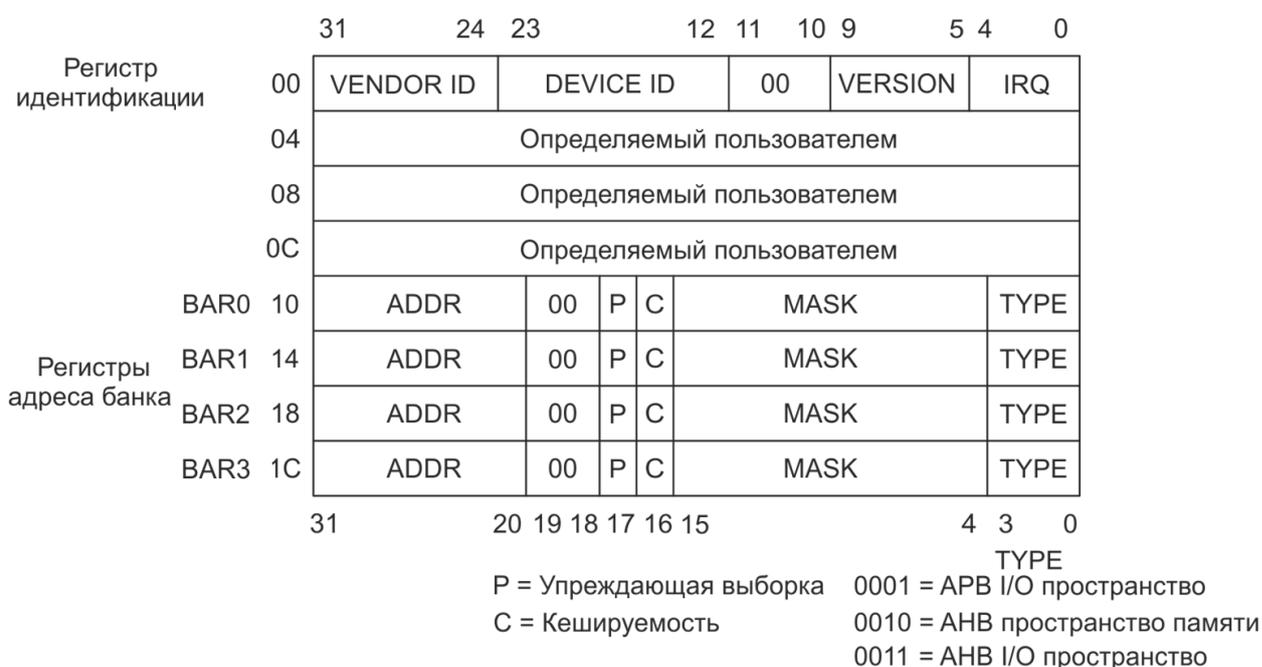


Рисунок Б.1 – Формат конфигурационной записи plug & play

Информация plug & play обо всех подключенных АНВ устройствах приведена в виде доступной только для чтения таблицы, отображенной по фиксированному адресу на шине АНВ, обычно 0xFFFFF000. Конфигурационные записи ведущих АНВ размещены по адресам 0xFFFFF000 – 0xFFFFF800, в то время как записи ведомых располагаются по адресам 0xFFFFF800 – 0xFFFFFFF0. Поскольку каждая запись состоит из восьми слов, в таблице есть место для 64 ведущих и 64 ведомых устройств. Операционная система plug & play (или любое другое приложение) может сканировать конфигурационную таблицу и автоматически определять, какие блоки присутствуют на шине АНВ, как они сконфигурированы и где они размещены (для ведомых).

Поскольку конфигурационная информация является неизменяемой, её хранение может быть эффективно реализовано, через использование небольшого ПЗУ или относительно небольшого количества вентилях.

Идентификация устройства

Идентификационный регистр содержит три поля, позволяющие однозначно идентифицировать подключенное на шину АНВ устройство: идентификатор поставщика (vendor ID), идентификатор устройства (device ID) и номер его версии. Идентификатор поставщика – это уникальный номер, закрепленный за поставщиком IP (Intellectual Property) или организацией. Идентификатор устройства – это уникальный номер, присвоенный поставщиком конкретному IP блоку. Номер версии может быть использован для идентификации различных версий модуля.

Идентификатор поставщика присваивается компанией Cobham Gaisler. В таблице Б.1 приведен список идентификаторов различных поставщиков.

Таблица Б.1 – Идентификаторы устройств различных поставщиков

Поставщик	Идентификатор поставщика
Gaisler Research	0x01
Pender Electronic Design	0x02
European Space Agency	0x04
Astrium EADS	0x06
OpenChip.org	0x07
OpenCores.org	0x08
Various contributions	0x09
Eonic BV	0x0B
Telecom ParisTech	0x0C
DTU Space	0x0D
BSC	0x0E
Radionor	0x0F
Gleichmann Electronics	0x10
Menta	0x11
Sun Microsystems	0x13
Movidia	0x14
Orbita	0x17
Siemens AG	0x1A
Synopsys Inc.	0x21
NASA	0x22
NIET	0x23
S3 Group	0x31
Actel Corporation	0xAC
AppleCore	0xAE
TU Braunschweig C3E	0xC3
CBK PAN	0xC8
Caltech	0xCA
Ceton Corporation	0xCB
Embeddit	0xEA

Идентификатор поставщика 0x00 зарезервирован, чтобы указывать, что на данной позиции нет модуля. Неиспользованные позиции в конфигурационной таблице будут иметь значение идентификационного регистра, равное 0.

Декодирование адреса

Контроллер шины АНВ, в который встроен декодер адреса, использует конфигурационную информацию ведомых устройств для автоматической генерации сигналов выбора ведомого (HSEL).

Диапазон адресов АНВ для каждого ведомого определяется регистрами адреса банка (BAR). Декодирование адреса выполняется сравнением 12-битового поля ADDR регистра BAR с частью АНВ адреса (HADDR). Существует два типа банков, определенных для шины АНВ: банк памяти АНВ и банк области ввода-вывода АНВ. Декодирование АНВ адреса выполняется двумя разными способами.

Для банков памяти АНВ декодирование адреса выполняется сравнением 12-битового поля ADDR в регистре BAR с 12 старшими разрядами адреса АНВ (HADDR[31:20]). В случае равенства будет сгенерирован сигнал HSEL. Это означает, что минимальный диапазон адресов, занимаемый банком памяти АНВ, составляет 1 Мбайт. Для реализации более широкого диапазона адресов при сравнении используются только те биты, которые установлены в поле MASK регистра BAR. Таким образом, сигнал HSEL будет сгенерирован, если следующее равенство будет истинным:

$$((\text{BAR.ADDR} \text{ xor } \text{HADDR} [31:20]) \text{ and } \text{BAR.MASK}) = 0.$$

Для примера, при декодировании 16-Мбайтного банка памяти АНВ, расположенного по адресу 0x24000000, в поле ADDR должно находиться значение 0x240, а в поле MASK – 0xFF0. Стоит отметить, что если поле MASK = 0, то BAR будет заблокирован, вместо того чтобы занимать весь диапазон адресов области АНВ.

Для банков области ввода-вывода АНВ декодирование адреса выполняется сравнением 12-битового поля ADDR в регистре BAR с 12 разрядами АНВ адреса (HADDR[19:8]). В случае равенства будет сгенерирован сигнал HSEL. Это означает, что минимальный диапазон адреса, занимаемый банком области ввода-вывода АНВ, составляет 256 байт. Для реализации более широкого диапазона адресов при сравнении используются только те биты, которые установлены в поле MASK регистра BAR. Таким образом, сигнал HSEL будет сгенерирован, если следующее равенство будет истинным:

$$((\text{BAR.ADDR} \text{ xor } \text{HADDR} [19:8]) \text{ and } \text{BAR.MASK}) = 0.$$

Старшие 12 бит адреса АНВ (HADDR[31:20]) всегда будут содержать фиксированное значение 0xFFF, фактически размещая все банки области ввода-вывода АНВ в адресном пространстве 0xFFF00000 – 0xFFFFFFFF. Для примера, при декодировании 4-Кбайтного банка области ввода-вывода АНВ по адресу 0xFFF24000, в поле ADDR должно находиться значение 0x240, а в поле MASK – 0xFF0. Стоит отметить, что если поле MASK = 0, то BAR будет заблокирован, вместо того чтобы занимать весь диапазон адресов области ввода-вывода АНВ.

Ведомый АНВ может иметь до четырех регистров отображения адреса, посредством этого декодируется до четыре независимых областей адресного пространства АНВ. Сигнал HSEL устанавливается при выборе любой из этих областей.

Кэшируемость

В процессорных системах без MMU кэшируемые области обычно статически определены в контроллерах кэша. В процессорах LEON4 таблица кэшируемости строится на этапе синтеза на основе информации о кэшируемости, приведенной в конфигурационных записях АНВ. В этом случае кэшируемость областей всегда имеет отображение в текущей конфигурации.

В системах с MMU информация о кэшируемости может быть прочитана программным способом из конфигурационных записей. Это позволяет операционной системе строить таблицу страниц MMU с корректным набором битов кэшируемости, установленным в записях таблицы страниц.

Управление прерываниями

GRLIB обеспечивает унифицированную схему обработки прерываний через добавление 32 сигналов прерывания (HIRQ) к АНВ шине, как в качестве входов, так и в качестве выходов. И ведущие, и ведомые шины АНВ могут, как устанавливать, так и считывать любое из прерываний.

Вывод каждого из ведущих включает в себя все 32 сигнала прерывания, объединенные в один вектор. Ведущий шины АНВ может управлять одной (определяется значением поля IRQ) или несколькими линиями (идут по порядку, начиная с IRQ).

То же самое относится к выходу каждого ведомых устройств, которое включает в себя все 32 сигнала прерывания. Управляемые конкретным модулем линии также определены через значение поля IRQ.

Контроллер шины АНВ в GRLIB обеспечивает объединение прерываний. Каждый элемент HIRQ формируется через операцию логического ИЛИ между всеми выходными сигналами прерываний ведущих и ведомых шины АНВ. Объединенный результат возвращается и на входы ведущих и на входы ведомых шины АНВ. Следовательно, ведущие и ведомые АНВ шины совместно используют те же самые 32 сигнала прерывания.

Контроллер прерываний, расположенный на шине АНВ, осуществляет мониторинг объединенного вектора прерываний и генерирует соответствующее системное прерывание процессора.

Приложение В

(справочное)

Версии РП

В таблице отображены изменения, вносимые в РП.

Таблица В.1

Дата, № изм.	Описание внесенных изменений	Всего листов
21.02.18, без изм.	Корректировка РП. Стартовая версия РП	372
26.03.18, изм. 2	Корректировка структуры и оформления РП.	372
20.11.18, изм. 3	<p>Увеличен шрифт и изменен порядок следования части групп выводов в таблице назначения выводов (2.1.1).</p> <p>Внесены уточнения в пункт «2.1.5 Механизмы сбоеустойчивости».</p> <p>Переименован подраздел «2.2».</p> <p>Внесены изменения в описание функционирования вывода RESETN# в подразделах «3.1» и «4.1».</p> <p>Скорректирован пример файла «bdinit.S» в подразделе «3.5».</p> <p>Видоизменен рисунок «4.4.1».</p> <p>В подпункт «Исключения» добавлена ссылка на подраздел «5.4 Системные прерывания»</p> <p>Скорректировано описание полей в таблице 4.8.1.</p> <p>Добавлены значения по сбросу в таблицу 4.8.7.</p> <p>Скорректировано описание в подразделе «4.9.1».</p> <p>Добавлены значения по сбросу и режим доступа к полям регистров пункта «4.9.6 Регистры DSU», скорректировано описание бита HL регистра управления DSU.</p> <p>Исправлена опечатка в таблице «4.10.2».</p> <p>Скорректирован текст пунктов «4.14.1» и «4.14.2», внесено уточнение о синхронности захвата внешних прерываний с выводов, исправлен адрес регистра области plug & play модуля GPIO.</p> <p>Добавлены значения по сбросу и режим доступа к полям регистров пункта «4.14.3 Регистры», в таблицу 4.14.8 добавлены новые поля.</p> <p>Отредактировано описание подпункта «Работа приемника» подраздела «4.15 Интерфейс UART», изменены таблицы 4.15.2, 4.15.5, 4.15.6 и описание полей таблиц 4.15.4, 4.15.6.</p> <p>Изменен формат записи данных в таблицах подраздела «4.16», скорректированы наименования части регистров.</p> <p>Отредактирован пункт «4.16.8 Регистры»: исправлен пропуск в нумерации после таблицы 4.16.15, добавлены значения по сбросу регистров, изменены формулировки некоторых примечаний, в таблице 4.16.17 переименованы битовые поля, изменен формат записи описания поля VCFEAT таблицы 4.16.22, таблица 4.16.46 разделена на две части.</p> <p>Таблица 4.17.14 разделена на две части.</p> <p>Исправлено описание полей в таблице 4.19.27.</p> <p>В таблицах 4.21.19 и 4.21.20 поправлено описание полей BYTE, в таблице 4.21.25 отредактировано описание полей.</p>	378

	<p>Отредактирован текст и рисунки подразделов «4.22» и «4.23».</p> <p>Отредактировано содержимое раздела «5 Описание архитектуры».</p> <p>Отредактировано содержимое раздела «6 Введение в систему команд».</p> <p>Отредактировано содержимое раздела «Приложение А».</p> <p>Отредактирован и расширен раздел «Приложение Б».</p> <p>Добавлен справочный раздел «Приложение В».</p> <p>Обозначение операции умножения по тексту изменено с «*» на «×».</p> <p>По тексту унифицировано наименование полей регистров состояния процессора icss, fcs и scs – «коды условий».</p> <p>Исправлены опечатки по тексту.</p>	

