

МИКРОСХЕМА ИНТЕГРАЛЬНАЯ  
K1273HA03A4  
**Руководство пользователя**

## Содержание

1	Введение .....	3
2	Назначение .....	4
2.1	Основные характеристики микросхемы .....	4
2.2	Конструктивные характеристики микросхемы .....	5
2.3	Электрические характеристики микросхемы .....	6
3	Структурная схема и описание работы микросхемы .....	8
3.1	Последовательный интерфейс .....	11
3.2	ESD защита .....	13
3.3	Последовательность подключения выводов .....	14
3.4	Требования к проектированию печатных плат .....	14
3.5	Требования к шинам земли .....	14
4	Информация по применению .....	15
4.1	Использование микросхемы К1273НА03А4 в униполярном режиме с положительным выходным напряжением .....	16
4.2	Использование микросхемы К1273НА03А4 в биполярном режиме .....	16
4.3	Применение микросхемы К1273НА03А4 для построения программируемого источника тока .....	17
4.4	Применение микросхемы К1273НА03А4 с программируемым диапазоном входного опорного напряжения .....	19
4.5	Выбор источника опорного напряжения .....	21
4.6	Выбор усилителя .....	22

## **1 Введение**

Развитие цифровой техники и цифровых методов обработки сигналов определило современные тенденции в разработке самых разнообразных систем, устройств и приборов. Значительную роль в этих тенденциях занимает аналого-цифровое и цифро-аналоговое преобразование.

Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) – это устройство для перевода цифровых данных в аналоговый сигнал.

Микросхемы ЦАП нашли широкое применение в усилителях звука, аудиокодеках, системах обработки видео, системах распознавания данных, системах калибровки датчиков, измерительных устройствах, системах управления двигателями, системах распределения данных, цифровых потенциометрах, системах цифровой связи и т. д.

Настоящее техническое описание содержит описание принципа работы и технические характеристики интегральной микросхемы K1273HA03A4 и другие сведения, необходимые для обеспечения полного использования технических возможностей микросхемы ЦАП.

## 2 Назначение

Интегральная микросхема K1273HA03A4 – это двухканальный 16-разрядный умножающий ЦАП, с токовым выходом и последовательным интерфейсом.

Микросхема K1273HA03A4 относится к классу прецизионных ЦАП.

Прецизионные ЦАП широко применяются в системах сбора и обработки информации, автоматическом тестовом оборудовании, контрольно-измерительной аппаратуре, автоматизированных системах управления, системах калибровки с цифровым управлением, программируемых аттенуаторах и т. д.

### 2.1 Основные характеристики микросхемы

Диапазон выходного тока определяется внешним опорным напряжением. Встроенный резистор обратной связи  $R_{FB}$  вместе с внешним операционным усилителем (ОУ), позволяют организовать преобразователь ток-напряжение.

Трехпроводной высокоскоростной последовательный интерфейс совместим со стандартными интерфейсами микроконтроллеров, и использует входы: SDI (ввод данных), CLK (тактовый вход) и CS# (выбор микросхемы). Использование входа LDAC# позволяет произвести операцию одновременного обновления содержимого регистров ЦАП из входных регистров. Схема сброса при подаче напряжения питания и динамическом сбросе осуществляет установку выходного сигнала в среднюю или начальную точку шкалы, в зависимости от состояния вывода MSB.

Микросхема питается от одного источника питания напряжением от 4,5 до 5,5 В.

Характеристики ЦАП:

- разрешение 16 бит;
- дифференциальная нелинейность  $\pm 1$  МР;
- интегральная нелинейность  $\pm 1$  МР;
- полная шкала выходного тока  $2 \text{ мА} \pm 20 \%$ , при опорном напряжении  $U_{REF} = 10 \text{ В}$ ;
- время установления 0,5 мкс;

- установка в начальную или среднюю точку шкалы при включении питания;
- динамический сброс в нулевую или среднюю точку шкалы;
- трехпроводной последовательный интерфейс;
- диапазон температур окружающей среды: от минус 60 до 85 °С;
- корпус 4112.16-3.

## 2.2 Конструктивные характеристики микросхемы

Микросхема выполнена в 16-выводном металлокерамическом корпусе 4112.16-3.

Масса микросхемы – не более 2,5 г.

Условное графическое обозначение микросхемы приведено на рисунке 2.1.

Функциональное назначение выводов приведено в таблице 2.1.

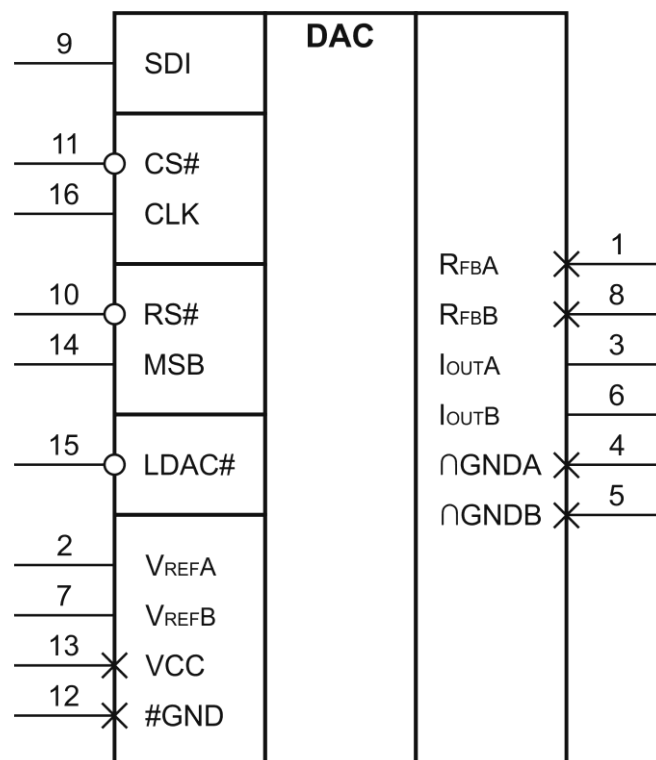


Рисунок 2.1 – Условное графическое обозначение микросхемы K1273HA03A4

Т а б л и ц а 2.1 – Функциональное назначение выводов микросхемы K1273HA03A4

Номер вывода	Обозначение вывода	Функциональное назначение	Тип вывода
1	R <sub>FB</sub> A	Вывод резистора обратной связи канала А	-
2	V <sub>REF</sub> A	Вход опорного напряжения канала А	I
3	I <sub>OUT</sub> A	Токовый выход канала А	O
4	∩GNDА	Вывод аналоговой земли канала А	-
5	∩GNDB	Вывод аналоговой земли канала В	-
6	I <sub>OUT</sub> B	Токовый выход канала В	O
7	V <sub>REF</sub> B	Вход опорного напряжения канала В	I
8	R <sub>FB</sub> B	Вывод резистора обратной связи канала В	-
9	SDI	Вход данных последовательного интерфейса	I
10	RS#	Вход сброса	I
11	CS#	Вход выбора микросхемы	I
12	#GND	Вывод цифровой земли	-
13	VCC	Вывод напряжения питания	-
14	MSB	Вход, задающий значение старшего разряда загружаемого в регистры при сбросе или подаче питания (все остальные разряды равны нулю)	I
15	LDAC#	Вход управления обновлением регистров ЦАП	I
16	CLK	Вход тактового сигнала последовательного интерфейса	I

Примечание – В графе «Тип вывода»: I – вход, O – выход

### 2.3 Электрические характеристики микросхемы

Электрические характеристики микросхем K1273HA03A4 при приемке и поставке приведены в таблице 2.2.

Значения предельно допустимых электрических режимов эксплуатации в диапазоне рабочих температур приведены в таблице 2.3.

Термины, определения, сокращения и буквенные обозначения параметров – по ОСТ В 11 0998-99, ГОСТ Р 57435-2017 и ГОСТ Р 57441-2017.

Термины, определения и буквенные обозначения параметров, неустановленные действующими стандартами, представлены в приложении А.

Т а б л и ц а 2.2 – Значения электрических параметров микросхемы К1273НА03А4 при приемке и поставке

Наименование параметра, единица измерения, режим измерения	Буквенное обозначе- ние параметра	Норма параметра		Температура среды, °С
		не менее	не более	
1	2	3	4	5
1 Ток утечки низкого уровня по выводам SDI, RS#, CS#, MSB, LDAC#, CLK, мкА, $U_{CC} = 5,5 \text{ В}$ , $U_{REF} = 10 \text{ В}$ , $U_{IL} = 0 \text{ В}$	$I_{ILL}$	-10	-	-60 ± 3 25 ± 10 85 ± 3
2 Ток утечки высокого уровня по выводам SDI, RS#, CS#, MSB, LDAC#, CLK, мкА, $U_{CC} = 5,5 \text{ В}$ , $U_{REF} = 10 \text{ В}$ , $U_{IH} = U_{CC}$	$I_{ILH}$	-	10	
3 Выходной ток утечки по выводам $I_{OUTA}$ , $I_{OUTB}$ , нА, $U_{CC} = 5,5 \text{ В}$ , $U_{REF} = 10 \text{ В}$ , постоянный код 0x0000	$I_{OL}$	-20	20	
4 Выходной ток по выводам $I_{OUTA}$ , $I_{OUTB}$ , мА, $U_{CC} = 5,5 \text{ В}$ , $U_{REF} = 10 \text{ В}$ , код 0xFFFF	$I_O$	1,6	2,4	
5 Ток потребления от источника $U_{CC}$ , мкА, $U_{CC} = 5,5 \text{ В}$ , $U_{REF} = 10 \text{ В}$	$I_{CC}$	-	50	
6 Общие гармонические искажения, дБ, $U_{CC} = 5,0 \text{ В}$ , $U_{REF}$ – синусоида с размахом 5 В, частотой 1 кГц	THD	-	-104	
7 Интегральная нелинейность, МР, $U_{CC} = 5,0 \text{ В}$ , $U_{REF} = 10 \text{ В}$	$E_L$	-2	2	-60 ± 3 25 ± 10 85 ± 3
8 Дифференциальная нелинейность, МР, $U_{CC} = 5,0 \text{ В}$ , $U_{REF} = 10 \text{ В}$	$E_{LD}$	-1	1	
9 Время установления (0,1 %), мкс, $U_{CC} = 5,0 \text{ В}$ , $U_{REF} = 10 \text{ В}$ ,	$t_s$	-	0,5	
10 Функциональный контроль $U_{CC} = (4,5; 5,5) \text{ В}$ ; $f_{CI\_CLK} = 50 \text{ МГц}$	ФК	-	-	
Примечание – Параметры $I_{ILL}$ , $I_{ILH}$ , $I_{OL}$ , $I_O$ , $E_{LD}$ , $E_L$ при температуре минус 60 °С не измеряются, а гарантируются нормами при температуре (25 ± 10) °С.				

Т а б л и ц а 2.3 – Предельно допустимые и предельные режимы эксплуатации микросхемы K1273HA03A4

Наименование параметра режима, единица измерения	Буквенное обозначение параметра	Предельно допустимый режим		Предельный режим	
		не менее	не более	не менее	не более
1 Напряжение питания, В	$U_{CC}$	4,5	5,5	-0,3	7,0
2 Входное напряжение низкого уровня по выводам SDI, RS#, CS#, MSB, LDAC#, CLK, В	$U_{IL}$	0	0,8	-0,3	–
3 Входное напряжение высокого уровня по выводам SDI, RS#, CS#, MSB, LDAC#, CLK, В	$U_{IH}$	2,4	$U_{CC}$	–	$U_{CC} + 0,3$
4 Опорное напряжение по выводу $V_{REF}$ относительно потенциала на выводе #GND, В	$U_{REF}$	-10	10	-11	11
5 Частота следования импульсов тактовых сигналов CLK, МГц	$f_{CI\_CLK}$	–	50	–	–
Примечание – Время работы в одном из предельных режимов должно быть не более 5 с.					

### 3 Структурная схема и описание работы микросхемы

Микросхема K1273HA03A4 содержит последовательный регистр, дешифратор адреса, два входных регистра, два регистра ЦАП, два 16-разрядных ЦАП с выходом по току, 3-проводной последовательный интерфейс с дополнительным выводом LDAC# для одновременного обновления содержимого регистров ЦАП из соответствующих входных регистров. Схема сброса предназначена для предустановки выходов ЦАП при включении питания, а также позволяет осуществлять динамический сброс микросхемы в зависимости от состояния вывода MSB. Структурная схема микросхемы приведена на рисунке 3.1.



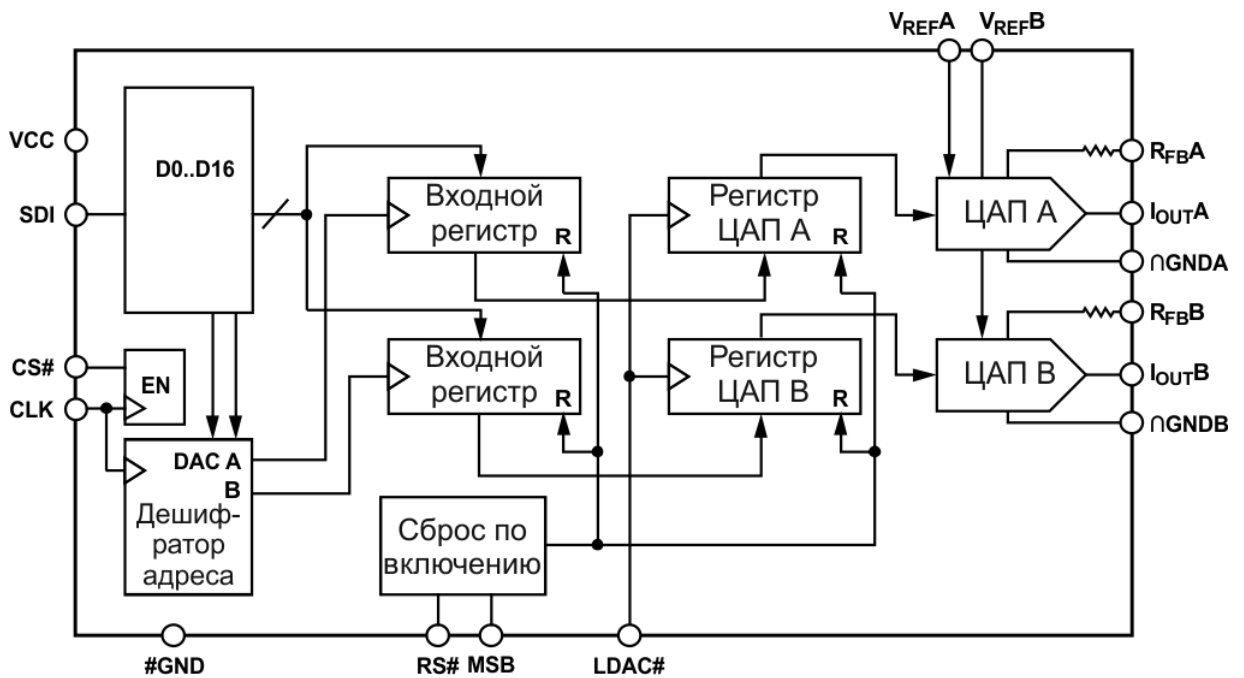


Рисунок 3.1 – Структурная схема микросхемы К1273НА03А4

В архитектуре ЦАП используется сегментированная резистивная матрица. На рисунке 3.2 показана упрощенная схема ЦАП. Кроме того ЦАП содержит внутренний согласованный резистор обратной связи необходимый для построения преобразователя ток-напряжение.

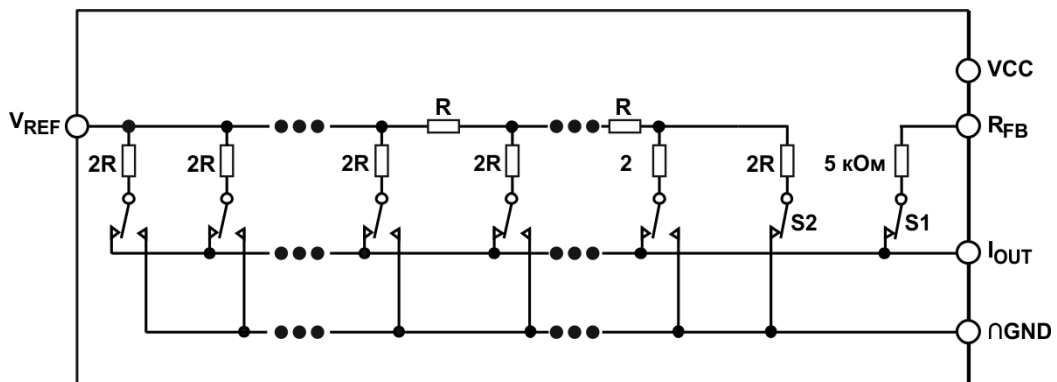


Рисунок 3.2 – Упрощенная схема резистивной матрицы ЦАП

На рисунке 3.3 приведена стандартная схема включения одного канала микросхемы К1273НА03А4. Вывод  $R_{FB A}$  подключается к выходу внешнего ОУ. Вывод  $I_{OUT A}$  подключается к инвертирующему входу внешнего ОУ.

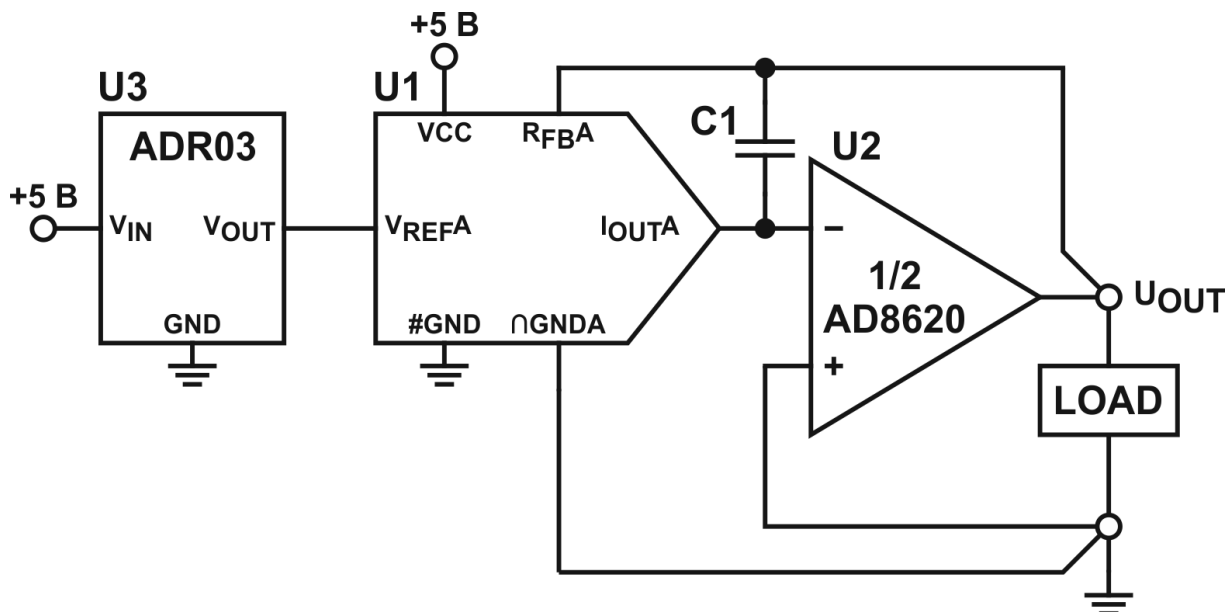


Рисунок 3.3 – Схема включения канала А микросхемы K1273HA03A4

Микросхема K1273HA03A4 может работать как с положительным, так и с отрицательным опорным напряжением. Вывод VCC используется только для питания цифровой части микросхемы.

Нужно обратить внимание на то, что последовательно с внутренним резистором обратной связи подключен согласующий ключ S1 (рисунок 3.2). Поэтому для измерения сопротивления резистора  $R_{FB}$ , нужно подать питание на вывод VCC, чтобы обеспечить замыкание цепи.

Когда на выводе  $V_{REF}$  задано опорное напряжение и цифровые данные (D) записаны в соответствующий регистр ЦАП, к микросхеме подключен внешний ОУ, выходное напряжение определяется по формуле

$$U_{OUT} = -\frac{D}{65536} \times U_{REF} \quad (3.1)$$

Необходимо обратить внимание на то, что полярность выходного напряжения противоположна полярности  $U_{REF}$  для однополярного опорного напряжения.

Микросхема предназначена для использования с постоянным или переменным опорным напряжением при условии, что значение этого напряжения не выходит за допустимый предел  $\pm 11$  В.

Входы опорного напряжения имеют постоянное номинальное входное сопротивление  $5 \text{ кОм} \pm 30 \%$ .

Выходное сопротивление и выходная емкость ЦАП зависят от управляющего кода. Уменьшение выходного сопротивления ЦАП приводит

к увеличению коэффициента усиления инвертирующего усилителя, и, как следствие, к увеличению уровня выходного шума. Поэтому рекомендуется использовать ОУ с низким уровнем собственного шума.

### 3.1 Последовательный интерфейс

Трехпроводной последовательный интерфейс микросхемы K1273HA03A4 позволяет передавать данные только для одного канала. Данные записываются в 18-битном формате таблица 3.1, старший бит загружается первым.

Т а б л и ц а 3.1 – Формат данных последовательного регистра микросхемы K1273HA03A4

	<b>MSB</b>																<b>LSB</b>	
Bit Position	B17	B16	B15	B14	B13	B12	B11	B10	B9	B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
Data Word	A1	A0	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

Примечание – После записи последнего бита данных в последовательный регистр, по переднему фронту сигнала CS# внутри схемы формируется строб передачи данных из последовательного регистра (биты от D15 до D0) во входной регистр канала ЦАП, адрес которого определяется битами A1 и A0. Если не требуется двойная буферизация данных, то вывод LDAC# может быть подключен к низкому уровню.

Последовательный интерфейс микросхемы K1273HA03A4 включает в себя следующие выходы: CS#, SDI, CLK. Временная диаграмма работы последовательного интерфейса K1273HA03A4 приведена на рисунке 3.4.

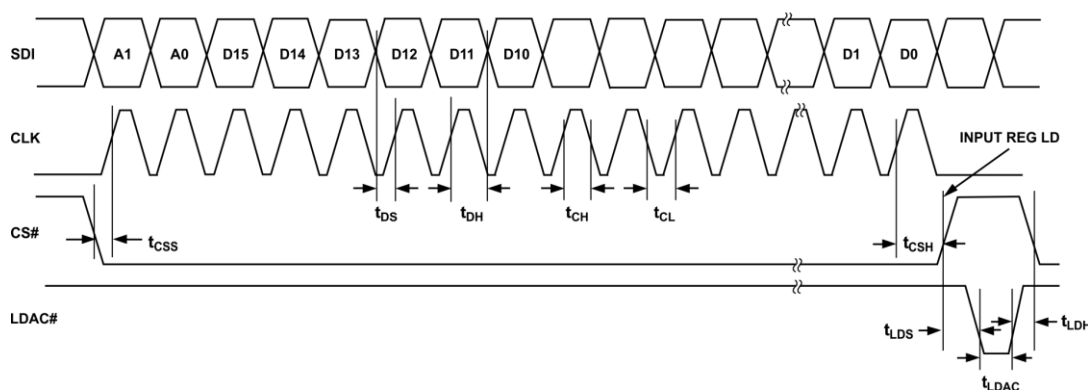


Рисунок 3.4 – Временная диаграмма работы последовательного интерфейса микросхемы K1273HA03A4

Данные подаются на вывод SDI и помещаются в последовательный регистр по переднему фронту сигнала CLK при низком уровне на

выводе CS#. Когда вывод CS# переводится в высокий уровень, данные из последовательного регистра передаются во входной регистр.

Если микроконтроллер выводит последовательность данных, отличающуюся по длине от используемой микросхемой K1273HA03A4, например 8 бит, то в микросхему K1273HA03A4 могут быть записаны три выровненных по правому краю байта. Микросхема проигнорирует 6 старших бит и распознает 18 младших бит как правильные данные. После загрузки последовательного регистра, по переднему фронту сигнала CS# данные будут переданы из последовательного регистра во входной регистр. Во время стробирующего импульса CS# сигнал CLK не должен переключаться.

В микросхеме K1273HA03A4 предусмотрена возможность одновременного обновления обоих каналов при загрузке каждого канала по отдельности. Для этого требуется сначала записать данные канала А и загрузить их во входной регистр с помощью сигнала CS#, при этом вывод LDAC# находится в высоком уровне, выходные данные ЦАП не обновляются. После этого необходимо записать данные канала В, загрузить их во входной регистр. Для одновременного обновления обоих каналов на вывод LDAC# надо подать низкий уровень.

Таблица 3.2 показывает механизм адресации данных для разных каналов микросхемы в зависимости от состояний битов А1 и А0. Кроме того, в микросхеме предусмотрен режим загрузки общих данных в оба канала одновременно, для чего необходимо установить биты А0 и А1 в состояние логической единицы. Этот режим позволяет использовать параллельно оба канала микросхемы. Если соединить вместе выходы I<sub>OUTA</sub> и I<sub>OUTB</sub>, а также выходы R<sub>FBА</sub> и R<sub>FBВ</sub>, то микросхема будет работать как одноканальный ЦАП с улучшенной шумовой характеристикой.

Т а б л и ц а 3.2 – Адресация каналов микросхемы K1273HA03A4

A1	A0	Канал
0	0	-
0	1	ЦАП А
1	0	ЦАП В
1	1	ЦАП А и ЦАП В

Микросхема K1273HA03A4 работает в соответствии с данными приведенными в таблице 3.3.

Т а б л и ц а 3.3 – Таблица истинности управляющей логики микросхемы К1273НА03А4

CS#	CLK	LDAC#	RS#	MSB	Последовательный регистр	входной регистр	регистр ЦАП
H	X	H	H	X	нет влияния	хранение	хранение
L	L	H	H	X	нет влияния	хранение	хранение
L	↑ +	H	H	X	данные в регистре сдвигаются на один бит	хранение	хранение
L	H	H	H	X	нет влияния	хранение	хранение
↑ +	L	H	H	X	нет влияния	выбор канала, загрузка данных из последовательного регистра	хранение
H	X	L	H	X	нет влияния	хранение	загрузка данных из входного регистра
H	X	H	H	X	нет влияния	хранение	хранение
H	X	↑ +	H	X	нет влияния	хранение	хранение
H	X	H	L	L	нет влияния	запись в регистр 0x0000	запись в регистр 0x0000
H	X	H	L	H	нет влияния	запись в регистр 0x8000	запись в регистр 0x8000

Примечание – Принятые условные обозначения:  
 - «↑ +» – переход из низкого уровня в высокий;  
 - «H» – высокий уровень;  
 - «L» – низкий уровень;  
 - «X» – безразличное состояние.

### 3.2 ESD защита

Все цифровые входы содержат ESD защиту (рисунок 3.5).

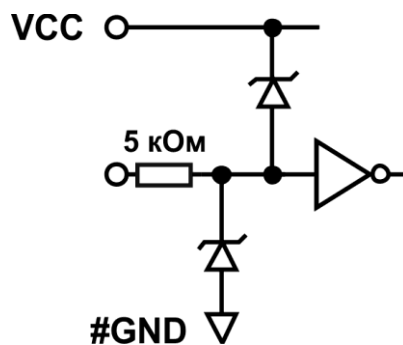


Рисунок 3.5 – Упрощенная схема ESD защиты микросхемы К1273НА03А4

### 3.3 Последовательность подключения выводов

При работе с микросхемой K1273HA03A4 рекомендуется следующая последовательность подачи электрических режимов: выводы аналоговой земли ( $\cap$ GNDX), вывод цифровой земли (#GND), вход напряжения питания (VCC), вход опорного напряжения ( $V_{REFX}$ ), напряжение на цифровые входы. Порядок снятия напряжений – обратный.

Примечание – X – обозначение каналов А и В по тексту технического описания для  $\cap$ GND,  $V_{REF}$ ,  $I_{OUT}$ ,  $R_{FB}$ .

Несоблюдение последовательности подачи электрических режимов может привести к увеличению тока потребления, но микросхема вернется к нормальному режиму работы после подачи напряжения питания на VCC.

### 3.4 Требования к проектированию печатных плат

При разводке печатных плат следует использовать минимальную длину дорожек. Дорожки должны быть, как можно более прямыми. Шины заземления должны иметь низкое сопротивление и низкую индуктивность.

Для защиты микросхемы от помех в цепи питания рекомендуется возле вывода VCC ставить керамический конденсатор емкостью от 0,01 до 0,1 мкФ. Параллельно керамическому конденсатору необходимо установить танталовый или электролитический конденсатор емкостью от 1 до 10 мкФ с низким эквивалентным последовательным сопротивлением ESR (смотри рисунок 3.6.)

При проектировании печатной платы преобразователя ток-напряжение вывод  $I_{OUTX}$  и инвертирующий вход ОУ должны находиться как можно ближе друг к другу.

### 3.5 Требования к шинам земли

Выводы #GND и  $\cap$ GNDX микросхемы K1273HA03A4 относятся к цифровой и аналоговой земле соответственно. Чтобы свести к минимуму помехи по цифровой земле, вывод #GND должен соединяться с аналоговой землей в одной точке, как показано на рисунке 3.6.

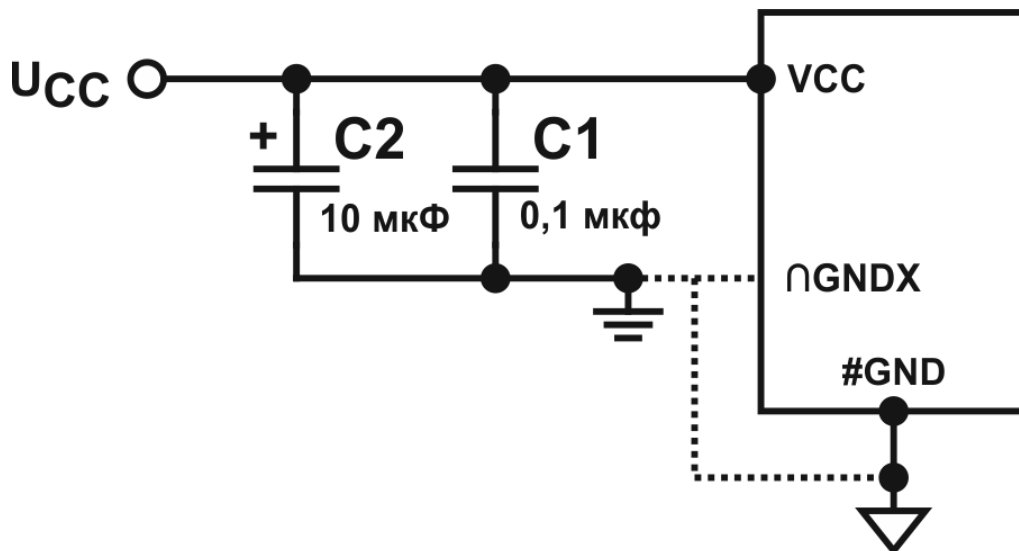


Рисунок 3.6 – Подключение фильтрующих конденсаторов и соединение аналоговой и цифровой земли

#### 4 Информация по применению

Микросхема K1273HA03A4 является двухквadrантным умножающим ЦАП.

На рисунке 4.1 приведена типовая схема включения микросхемы K1273HA03A4.

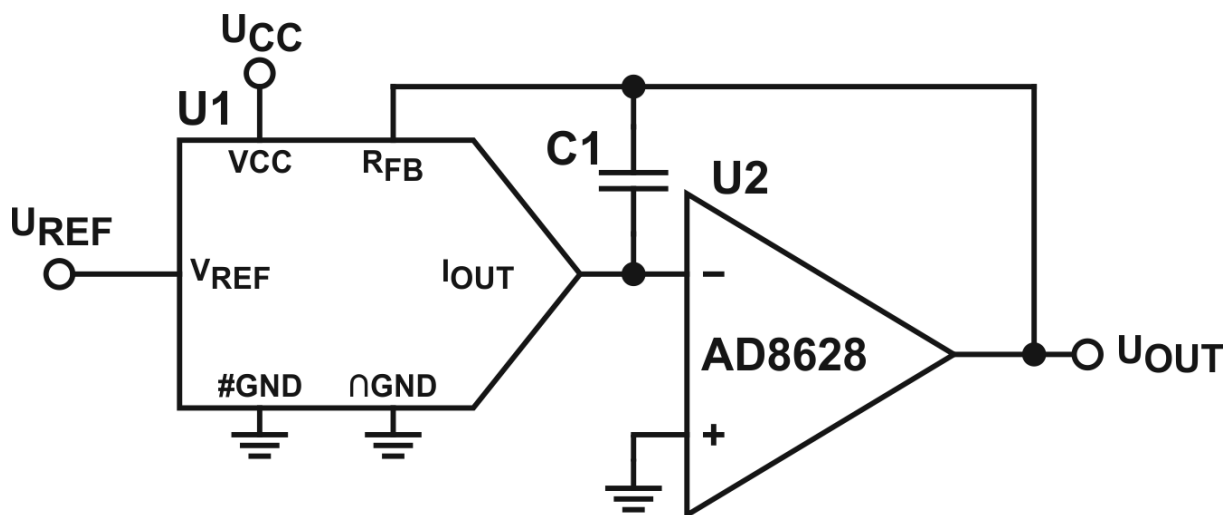


Рисунок 4.1 – Типовая схема включения микросхемы K1273HA03A4

Поскольку каждому изменению кода соответствует ступенчатая функция, может произойти усиление пиков, поскольку ОУ имеет ограниченный GBW (произведение коэффициента усиления на ширину

полосы пропускания), а на инвертирующем входе ОУ присутствует избыточная паразитная емкость. Для стабильности можно добавить компенсирующий конденсатор С1, как показано на рисунке 4.1. Значение емкости С1 можно подобрать опытным путем, но как правило достаточно 6 пФ.

#### 4.1 Использование микросхемы К1273НА03А4 в униполярном режиме с положительным выходным напряжением

Для получения положительного выходного напряжения рекомендуется использовать отрицательное опорное напряжение. Использовать дополнительный инвертирующий усилитель на выходе не рекомендуется, из-за отклонения сопротивлений резисторов.

Для формирования отрицательного опорного напряжения может быть использована схема включения, показанная на рисунке 4.2.

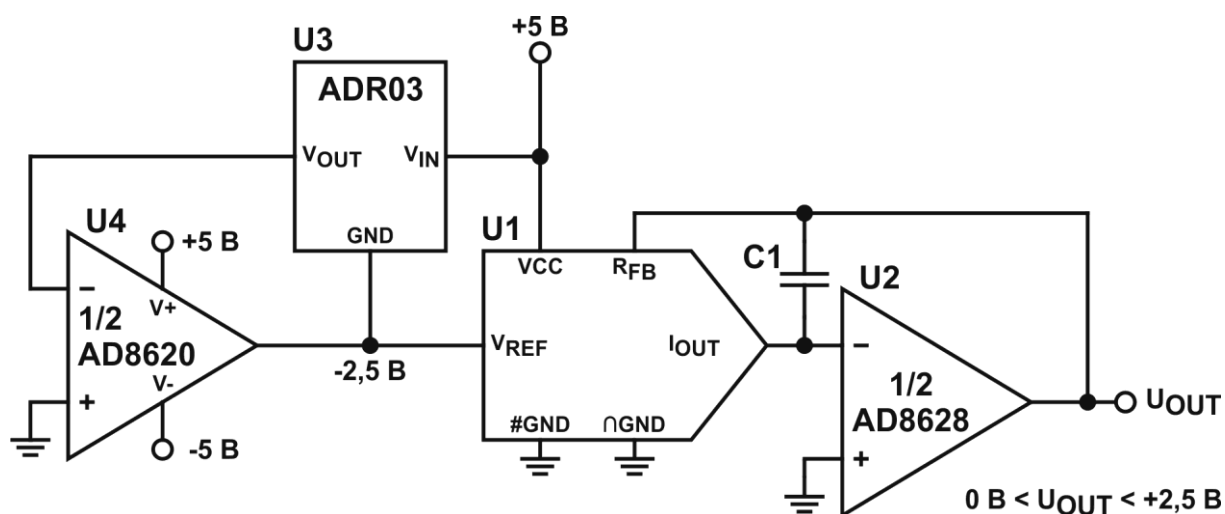


Рисунок 4.2 – Схема включения микросхемы К1273НА03А4 с отрицательным опорным напряжением и положительным выходным напряжением

#### 4.2 Использование микросхемы К1273НА03А4 в биполярном режиме

Если требуется получить полное четырехквadrантное умножение или биполярный выходной сигнал, то можно использовать схему включения,



показанную на рисунке 4.3. В данной схеме используется дополнительный ОУ U4, включенный по схеме суммирующего усилителя, с коэффициентом усиления 2, который позволяет получить размах выходного напряжения 5 В. Смещение ОУ U4 на 2,5 В с помощью опорного уровня позволяет получить биполярное выходное напряжение.

Согласно выражению передаточной характеристики (4.1) для схемы на рисунке 4.3, изменение входных данных (D) от 0 до 65535 обеспечивает изменение выходного напряжения от минус 2,5 до 2,5 В.

$$U_{OUT} = \left( \frac{D}{32768} - 1 \right) \times U_{REF} \quad (4.1)$$

Рассогласование сопротивлений внешних резисторов является главным фактором, вносящим ошибку в выходное напряжение.

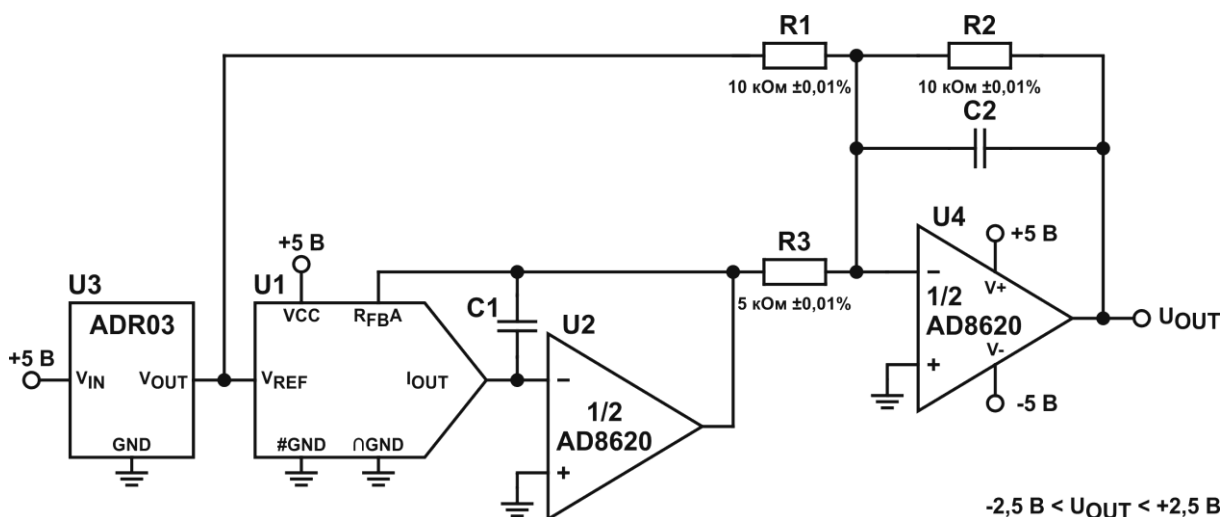


Рисунок 4.3 – Схема четырехквadrантного умножения

### 4.3 Применение микросхемы K1273HA03A4 для построения программируемого источника тока

На рисунке 4.4 показана универсальная схема преобразователя напряжение-ток с использованием схемы Хауленда. Кроме прецизионного преобразования тока эта схема способна формировать двунаправленный ток.

Данная схема может быть использована как источник тока, с током нагрузки от 4 до 20 мА, при сопротивлении нагрузки до 500 Ом.

Если выбрать согласованные сопротивления резисторов, как показано на рисунке 4.4, то выражение для выходного тока будет иметь вид:

$$I_L = \frac{R_2 + R_3}{R_1 \cdot R_3} \times U_{REF} \times D. \quad (4.2)$$

Необходимо обратить внимание на компенсацию. Без конденсатора C1 выходной импеданс равен:

$$Z_o = \frac{R_1' \cdot R_3 \cdot (R_1 + R_2)}{R_1 \cdot (R_2' + R_3') - R_1' \cdot (R_2 + R_3)}. \quad (4.3)$$

Если резисторы идеально согласованы друг с другом, то  $Z_o = \infty$ , и схема работает как идеальный источник тока.

Если резисторы не согласованы, то выходной импеданс  $Z_o$  может иметь как положительное, так и отрицательное значение. Отрицательный импеданс может привести к самовозбуждению схемы. Для предотвращения самовозбуждения необходимо использовать конденсатор C1. Емкость конденсатора C1 может быть подобрана опытным путем, обычно значение емкости находится в диапазоне нескольких пикофард.

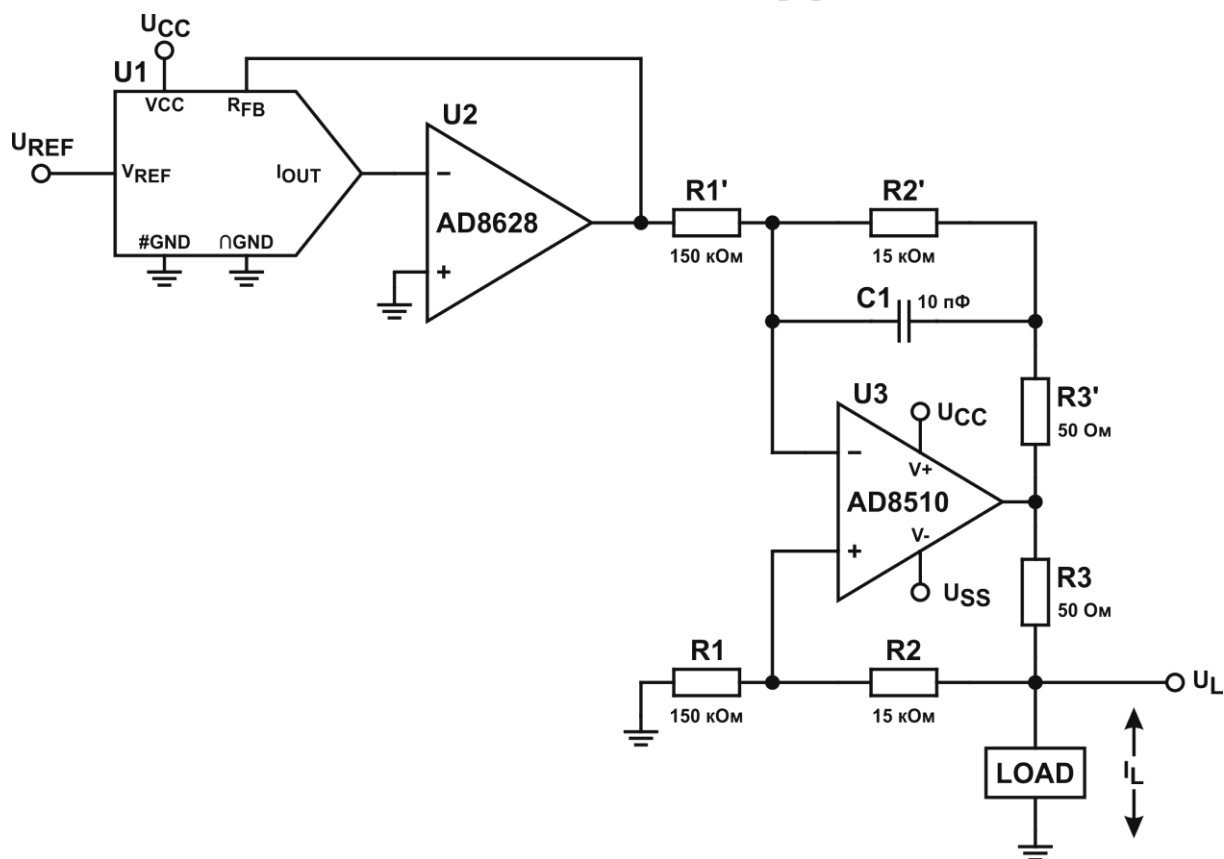


Рисунок 4.4 – Программируемый источник тока

#### 4.4 Применение микросхемы K1273HA03A4 с программируемым диапазоном входного опорного напряжения

Поскольку высоковольтные источники опорного напряжения не всегда могут быть доступны, для расширения диапазона опорного напряжения можно использовать схему, представленную на рисунке 4.5.

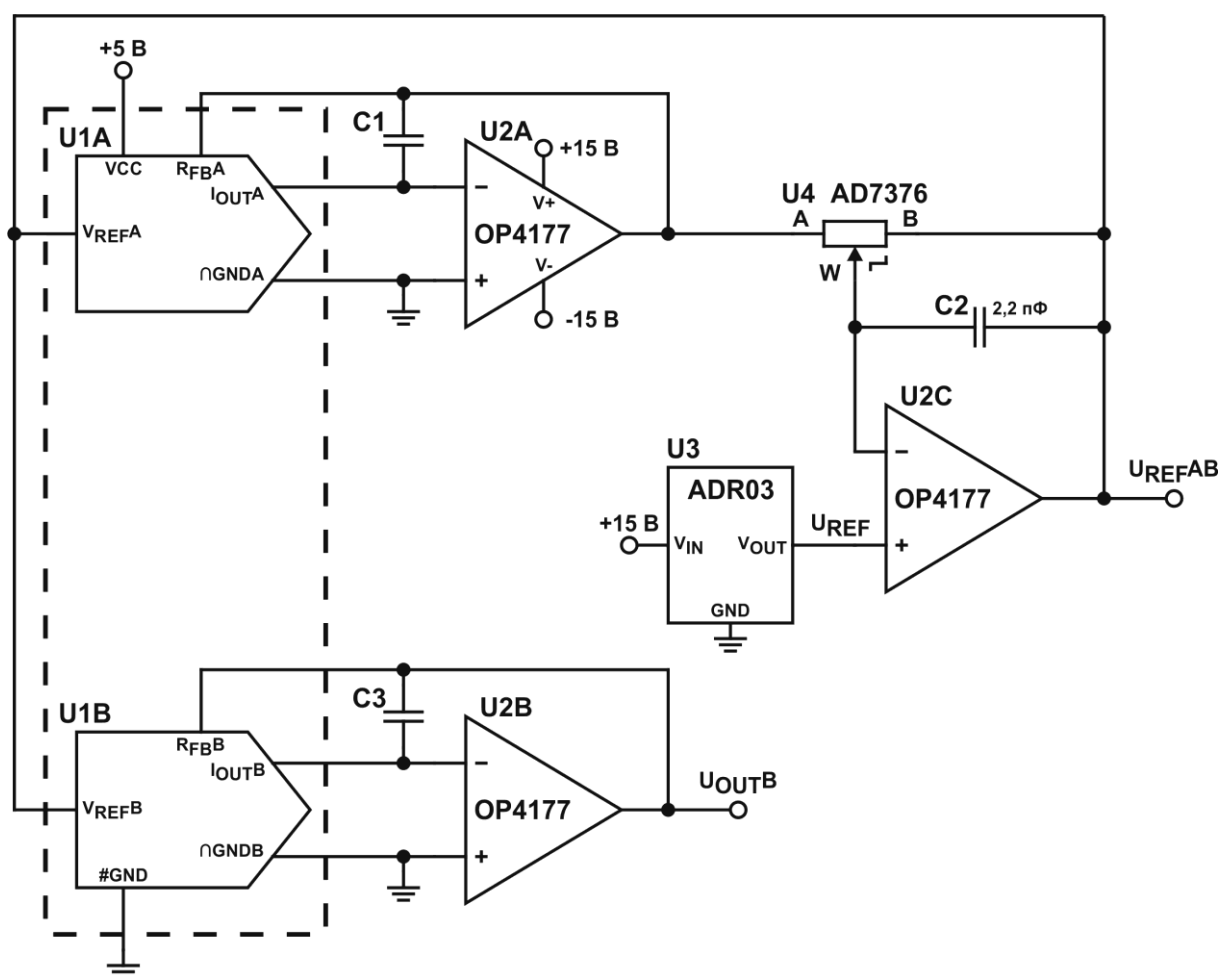


Рисунок 4.5 – Микросхема K1273HA03A4 с программируемым входным опорным напряжением

В данной схеме используется низковольтный источник опорного напряжения, цифровой потенциометр и один канал ЦАП микросхемы K1273HA03A4 для формирования опорного напряжения для второго канала ЦАП нужной величины.

Программируемое опорное напряжение  $U_{REFAB}$  находится в цепи обратной связи, поэтому:

$$U_{REFAB} = U_{REF} \times \left(1 + \frac{R_{WB}}{R_{WA}}\right) - \left(-U_{REFAB} \times \frac{D_A}{2^N} \times \frac{R_{WB}}{R_{WA}}\right), \quad (4.4)$$

где  $U_{REFAB}$  – опорное напряжение  $U_{REF A}$  и  $U_{REF B}$ ;

$U_{REF}$  – внешнее опорное напряжение;

$D_A$  – цифровой код в десятичном виде для канала А;

$N$  – число разрядов ЦАП;

$R_{WB}$  и  $R_{WA}$  являются 128-шаговыми программируемыми сопротивлениями цифрового потенциометра, и для них:

$$R_{WB} \approx \frac{D_C}{128} R_{AB}, \quad (4.5)$$

$$R_{WA} \approx \frac{128 - D_C}{128} R_{AB}, \quad (4.6)$$

$$\frac{R_{WB}}{R_{WA}} \approx \frac{D_C}{128 - D_C}, \quad (4.7)$$

где  $D_C$  – цифровой код потенциометра в десятичном виде ( $0 \leq D_C \leq 127$ ).

Сопоставив уравнения 4.4 и 4.7. получим выражение

$$U_{REFAB} = U_{REF} \times \frac{\left(1 + \frac{D_C}{128 - D_C}\right)}{1 - \frac{D_A}{2^N} \times \frac{D_C}{128 - D_C}}. \quad (4.8)$$

Напряжение на выходе канала В таким образом:

$$U_{OUTB} = -U_{REFAB} \frac{D_B}{2^N}, \quad (4.9)$$

где  $D_B$  – цифровой код канала В в десятичном виде.

Точность программируемого опорного напряжения  $U_{REFAB}$  зависит от согласования входного резистора и резистора обратной связи, поэтому необходимо использовать цифровой потенциометр U4, обладающий высокой точностью согласования резисторов.

## 4.5 Выбор источника опорного напряжения

При выборе источника опорного напряжения (ИОН) для микросхемы K1273HA03A4 нужно обращать внимание на выходное напряжение и значение температурного коэффициента ИОН.

Выбор прецизионного ИОН с низким температурным коэффициентом минимизирует ошибки опорного источника. В таблице 4.2 приведены микросхемы ИОН от компании Analog Devices, которые могут быть использованы вместе с микросхемой K1273HA03A4.

Т а б л и ц а 4.2 – Микросхемы ИОН от компании Analog Devices

Обозначение микросхемы	Выходное напряжение, В	Начальная точность, %	Максимальная температурная нестабильность, ppm/°C	I <sub>SS</sub> , мА	Выходной шум, мкВ п-п	Корпус
ADR01	10	0,05	3	1	20	SOIC-8
ADR01	10	0,05	9	1	20	TSOT-5, SC70-5
ADR02	5,0	0,06	3	1	10	SOIC-8
ADR02	5,0	0,06	9	1	10	TSOT-5, SC70-5
ADR03	2,5	0,1	3	1	6	SOIC-8
ADR03	2,5	0,1	9	1	6	TSOT-5, SC70-5
ADR06	3,0	0,1	3	1	10	SOIC-8
ADR06	3,0	0,1	9	1	10	TSOT-5, SC70-5
ADR420	2,048	0,05	3	0,5	1,75	SOIC-8, MSOP-8
ADR421	2,50	0,04	3	0,5	1,75	SOIC-8, MSOP-8
ADR423	3,00	0,04	3	0,5	2	SOIC-8, MSOP-8
ADR425	5,00	0,04	3	0,5	3,4	SOIC-8, MSOP-8
ADR431	2,500	0,04	3	0,8	3,5	SOIC-8, MSOP-8
ADR435	5,000	0,04	3	0,8	8	SOIC-8, MSOP-8
ADR391	2,5	0,16	9	0,12	5	TSOT-5
ADR395	5,0	0,10	9	0,12	8	TSOT-5

Примечание – Принято условное обозначение: п-п – от пика до пика.

## 4.6 Выбор усилителя

На нелинейность передаточной характеристики ЦАП существенное влияние оказывает ОУ. Совместно с микросхемой K1273HA03A4 рекомендуется использовать ОУ с напряжением смещения нуля не более 1 мВ и низким входным током смещения. При большем напряжении смещения нуля дифференциальная нелинейность может увеличиться, что приведет к немонотонности.

В таблицах 4.3 и 4.4 приведены микросхемы ОУ от компании Analog Devices, которые могут быть использованы вместе с микросхемой K1273HA03A4.

Т а б л и ц а 4.3 – Микросхемы прецизионных ОУ от компании Analog Devices

Обозначение микросхемы	Напряжение питания, В	Максимальное напряжение смещения нуля, мкВ	Максимальный ток смещения, нА	Выходной шум (в полосе от 0,1 до 10Гц), мкВ п-п	Ток потребления, мкА	Тип корпуса
OP97	от ±2 до ±20	25	0,1	0,5	600	SOIC-8, PDIP-8
OP1177	от ±2.5 до ±15	60	2	0,4	500	MSOP-8, SOIC-8
AD8675	от ±5 до ±18	75	2	0,1	2300	MSOP-8, SOIC-8
AD8671	от ±5 до ±15	75	12	0,077	3000	MSOP-8, SOIC-8
ADA4004 - 1	от ±5 до ±15	125	90	0,1	2000	SOIC-8, SOT-23-5
AD8603	от 1.8 до 5	50	0,001	2,3	40	TSOT-5
AD8607	от 1.8 до 5	50	0,001	2,3	40	MSOP-8, SOIC-8
AD8605	от 2.7 до 5	65	0,001	2,3	1000	WLCSP-5, SOT-23-5
AD8615	от 2.7 до 5	65	0,001	2,4	2000	TSOT-5
AD8616	от 2.7 до 5	65	0,001	2,4	2000	MSOP-8, SOIC-8
Примечание – Принято условное обозначение: п-п – от пика до пика.						

Для быстродействующих приложений выбирают широкополосные усилители с малым временем установления выходного сигнала. На ширину полосы усилителя может оказать влияние величина сопротивления резистора обратной связи. Поэтому при выборе усилителя необходимо определить какой коэффициент усиления требуется установить в проектируемом

устройстве. Чем больше коэффициент усиления и, соответственно, сопротивление резистора обратной связи, тем уже полоса пропускания выбранного усилителя. Как правило, полоса пропускания ОУ должна быть в 10 раз шире полосы пропускания проектируемого на его основе устройства. Другим параметром, определяющим быстродействие умножающего ЦАП, является скорость нарастания ОУ. Для микросхемы K1273HA03A4 рекомендуется выбирать усилители со скоростью нарастания не менее 100 В/мкс.

Т а б л и ц а 4.4 – Микросхемы быстродействующих ОУ от компании Analog Devices

Обозначение микросхемы	Напряжение питания, В	Полоса пропускания, МГц	Скорость нарастания, В/мкс	Максимальное напряжение смещения нуля, мВ	Ток потребления, нА	Корпус
AD8065	от 5 до 24	145	180	1500	0,006	SOIC-8, SOT-23-5
AD8066	от 5 до 24	145	180	1500	0,006	SOIC-8, MSOP-8
AD8021	от 5 до 24	490	120	1000	10,500	SOIC-8, MSOP-8
AD8038	от 3 до 12	350	425	3000	750	SOIC-8, SC70-5
ADA4899-1	от 5 до 12	600	310	35	100	LFCSP-8, SOIC-8
AD8057	от 3 до 12	325	1000	5000	500	SOT-23-5, SOIC-8
AD8058	от 3 до 12	325	850	5000	500	SOIC-8, MSOP-8
AD8061	от 2,7 до 8	320	650	6000	350	SOT-23-5, SOIC-8
AD8062	от 2,7 до 8	320	650	6000	350	SOIC-8, MSOP-8
AD9631	от ±3 до ±6	320	1300	10,000	7000	SOIC-8, PDIP-8