

## Усилительные паллеты — элементная база радиопередающей аппаратуры

Валерий АСЕССОРОВ, д. т. н.  
Сергей ГРИЩЕНКО  
Сергей ЖУКОВ, к. т. н.  
Владимир КОЖЕВНИКОВ, к. т. н.  
Игорь СЕМЕЙКИН, к. т. н.  
Андрей НЕКРАСОВ  
uhf@niiet.ru

**Разработка и производство современной радиопередающей аппаратуры и ее элементной базы является необходимым условием создания новых систем радиосвязи, передачи данных, радиолокации, теле- и радиовещания. Модульный подход позволяет оптимальным образом решить задачу построения таких перспективных систем. Поэтому несомненный интерес представляет опыт разработки и производства усилительных паллет на предприятии ФГУП «НИИЭТ» (г. Воронеж), которое исторически является одним из ведущих разработчиков ВЧ- и СВЧ-транзисторов и гибридных микросхем.**

В усилительных трактах АФАР (активная фазированная антенная решетка) широко применяются мощные ВЧ и СВЧ (высокочастотные и сверхвысокочастотные) транзисторы, уровень выходной мощности которых обычно не превышает единиц ватт в X-диапазоне, 100–200 Вт в L- и S-диапазонах и 300–600 Вт в KB (короткие волны) диапазоне. Для создания же современных радаров требуются усилители с существенно большим уровнем выходной мощности, чем тот, который позволяет получить дискретный транзистор. Входные и выходные импедансы транзистора рассматриваемого класса обычно составляют доли и единицы ома, поэтому для согласования с 50-омным трактом необходимо проектировать внешние входные и выходные цепи согласования. Такая трансформация необходима для согласованного включения усилителя мощности с другими высокочастотными компонентами системы. Требуемый уровень излучаемой мощности в активных фазированных антенных решетках реализуется использованием принципа модульного наращивания мощности, то есть когда выходная мощность получается путем суммирования мощностей отдельных усилительных модулей в специальных устройствах — сумматорах. Сумматоры должны обладать свойством развязки входов, тогда обеспечивается независимая работа усилительных модулей. Помимо достижения большой мощности одновременно решается проблема реализации широкой полосы пропускания. При этом применение большого числа модулей в усилительном тракте (от десятка до нескольких тысяч) позволяет значительно повысить эксплуатационную надежность РЛС (радиолокационная

станция). Действительно, отказ даже некоторого числа модулей не приводит к отказу работы станции.

Потребность в оперативном решении схемотехнических задач при проектировании новых радиотехнических средств вызвала появление на рынке электронных компонентов PSM (Power Solution Module, иногда называемых pallet). Впервые такие твердотельные электронные компоненты были представлены фирмой Microsemi Corporation.

Усилительные паллеты — это однокаскадные усилители мощности. Главное их достоинство состоит в наличии входных и выходных согласующих цепей, обеспечивающих хорошее согласование с 50-омным трактом в заданной полосе частот. Другое важное достоинство заключается в отсутствии герметизированных корпусов и унифицированных габаритных размеров (рис. 1). Габариты паллет и конфигурация размещения контактных площадок или разъемов определяются техническими требованиями заказчика. Отсюда вытекает ряд преимуществ усилительных паллет: меньшая себестоимость ввиду отсутствия герметизированного корпуса и большая универсальность в применении.

Конструктивно усилительные паллеты состоят из металлического основания — фланца, диэлектрической подложки с необходимой топологией схемы согласующих цепей и смонтированными на ней электронными компонентами, в том числе мощного высокочастотного транзистора. Подложкой служит печатная плата, на которой методом поверхностного монтажа установлены маломощные компоненты, а мощные элементы и транзисторы смонтированы непосредственно на теплоотво-

де-фланце. Фланец из меди или алюминия служит одновременно механическим основанием, теплоотводящим элементом и общей «земляной» шиной. Следует отметить, что в качестве материала печатной платы может применяться стеклотекстолит, ФАФ, ФЛАН, Rogers (роджерс), поликор и другие современные диэлектрики, также должна применяться соответствующая технология исполнения топологии в зависимости от технических требований.

Известно, что модульный принцип компоновки радиоэлектронной аппаратуры позволяет перейти от сосредоточенных источников СВЧ-мощности к распределенным, при этом облегчаются условия охлаждения, что в наибольшей степени отвечает современным требованиям и представляется наиболее перспективным. Эти источники выгодно выполнять на основе усилительных паллет; из них составляют модули и блоки, мощности которых складываются в многоканальных сумматорах или в пространстве в системе активных фазированных антенных решеток. Использование усилительных паллет и модулей на их основе уменьшает ошибки при проектировании усилительных трактов, сокращает сроки проектирования и подготовки производства. В условиях серийного производства использование паллет как законченных электронных компонентов с гарантированными параметрами снижает временные, материальные затраты на приобретение комплектующих и регулировку схем. Снижаются затраты на техническое обслуживание и ремонт аппаратуры в процессе ее эксплуатации [1]. Таким образом, разработка усилительных паллет наряду с созданием и производством самых совре-

**Таблица 1.** Энергетические характеристики транзисторов

Тип транзистора	Рвых, Вт	f, МГц	Кур, раз	Улит, В	Тип корпуса
2П821А	5	175	80	28	КТ-83
2П821Б	30	175	40	28	КТ-83
2П979А	60	230	25	28	КТ-56
2П979Б	150	230	20	28	КТ-56
2П819А	300	230	10	28	КТ-82
2П979В	300	230	30	50	КТ-82
2П826АС	600	30	25	50	КТ-102-1
2П978А	5	500	20	28	КТ-83
2П978Б	10	500	20	28	КТ-81
2П978В	20	500	15	28	КТ-81
2П978Г	40	500	15	28	КТ-81
2П978Д	80	500	12	28	КТ-44
2П977А	150	500	10	28	КТ-82
2П981А	5	500	10	12,5	КТ-83
2П981Б	10	500	10	12,5	КТ-81
2П981В	20	500	10	12,5	КТ-81
2П980А (LDMOS)	6,5	860	12	28	КТ-55С-1
2П980Б (LDMOS)	150	860	10	32	КТ-103А-1
2П986А	2	1000	10	12,5	КТ-55С-1
2П986Б	5	1000	10	12,5	КТ-55С-1
2П986В	10	1000	10	12,5	КТ-55С-1
2П986Г	20	1000	10	12,5	КТ-55С-1
2П986Д	40	650	10	12,5	КТ-55С-1
2П986Е	80	650	5	12,5	КТ-103А-1
ТП02010-12	10	175	12	12,5	КТ-83
ТП02015-12	15	175	12	12,5	КТ-83
ТП02020-12	20	175	12	12,5	КТ-83
ТП02030-12	30	175	12	12,5	КТ-83
ТП02060-12	60	175	12	12,5	КТ-56
ТП02015-28	15	230	80	28	КТ-83
ТП02100-28	100	230	20	28	КТ-56
ТП02200-28	200	230	25	28	КТ-82
ТП02080-50	80	230	40	50	КТ-56
ТП02150-50	150	230	25	50	КТ-56
ТП05006-28L (LDMOS)	6	500	50	28	КТ-55С-1
ТП05015-28L (LDMOS)	15	500	40	28	КТ-55С-1
ТП05035-28L (LDMOS)	35	500	35	28	КТ-55С-1
ТП05150-28L (LDMOS)	150	500	30	28	КТ-103А-1-1

Примечание: серия «ТП» — внутрифирменное обозначение.

менных транзисторов стала необходимым условием быстрой реализации новых систем в области радиолокации и связи [2].

Основной элемент, определяющий технические характеристики усилительного паллета, — мощный СВЧ-транзистор, который, в свою очередь, представляет собой сложную гибридную интегральную схему, работающую при предельно допустимых значениях плотности тока и при максимальных напряжениях. Поэтому логично, что разработка и производство усилительных паллет и модулей стали одними из основных направле-

ний развития деятельности ФГУП «НИИЭТ» (г. Воронеж), которое исторически было одним из ведущих предприятий в области разработки и производства мощных ВЧ и СВЧ биполярных [3, 4] и полевых транзисторов [5]. Вместе с тем стремительный рост требований к эффективности, точности и надежности средств загоризонтной радиолокации (ЗГ РЛС КВ-диапазона), РЛС контроля космического пространства (дециметрового диапазона) потребовал создания соответствующей электронной компонентной базы и, в частности, нового поколения кремниевых мощных полевых ВЧ- и СВЧ-транзисторов.

Особенность новых мощных СВЧ полевых транзисторов состоит прежде всего в совершенствовании прецизионной технологии кристалльного производства. Активные области структуры наиболее мощных транзисторов содержат до нескольких тысяч идентичных элементарных транзисторных ячеек, сформированных в высокоомном кремниевом эпитаксиальном слое и объединенных общей многослойной металлизацией на основе золота. Для формирования контактов к металлизации используется слой силицида платины. Для снижения индуктивности общего электрода исток выведен на плоский золоченый фланец. Посадка кристаллов DMOS (Double-diffused Metal Oxide Semiconductor) транзисторов осуществляется на напаянный к фланцу металлизированный керамический узел из оксида бериллия. LDMOS (Laterally Diffused Metal Oxide Semiconductors) транзисторы не содержат в своей конструкции керамический узел, а кристалл напаяется через эвтектический сплав непосредственно на фланец. Разработанные LDMOS-транзисторы по корпусному исполнению полностью соответствуют международным стандартам. Полевые транзисторы дециметрового диапазона с выходной мощностью более 100 Вт имеют LC-цепи внутреннего согласования по входу. Надежность мощных СВЧ полевых транзисторов обеспечивается использованием прогрессивных конструктивно-технологических решений и применяемых материалов. Энергетические характеристики транзисторов приведены в таблице 1.

Разработанные мощные ВЧ и СВЧ полевые транзисторы имеют пиковые значения выходных параметров в рассмотренном классе отечественных приборов.

Изначально на предприятии была поставлена задача разработки и производства моду-

лей по техническим требованиям заказчиков, а не воспроизводство зарубежных аналогов. ФГУП «НИИЭТ» разработало и выпускает более 50 типов гибридных модулей УМ (усилитель мощности), потребителями которых стали отечественные производители аппаратуры связи и радиовещания — от малых предприятий до крупных радиозаводов с серийным производством [1].

Отдельным направлением, получившим в настоящее время на предприятии большой импульс развития, стало создание ВЧ и СВЧ усилительных паллет. Усилительные паллеты, как и модули, согласованы по входу и выходу с линиями передачи с волновым сопротивлением 50 Ом. Коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) по входу не хуже 1,5 в полосе рабочих частот. Модули работают без самовозбуждения при КСВН нагрузки до 10 при всех фазовых углах. Неравномерность коэффициента усиления по мощности в полосе рабочих частот не более +1 дБ.

В качестве активных компонентов используются ВЧ и СВЧ полевые (DMOS, LDMOS) мощные транзисторы нового поколения, внешний вид которых приведен на рис. 1. В зависимости от конструктивных особенностей применяются транзисторы как с фланцем, так и без него, что позволяет уменьшить габаритные размеры паллета и оптимизировать технологию его сборки.

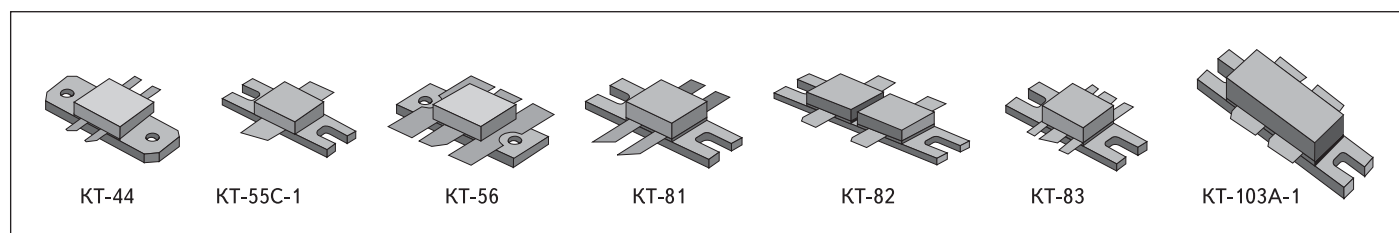
Энергетические характеристики разработанных и выпускаемых паллет усилителей мощности для применения в различных диапазонах длин волн приведены в таблице 2.

**Таблица 2.** Энергетические характеристики усилительных паллет

Тип паллеты	Рвых, Вт	f, МГц	Кур, раз	Улит, В	КПД, %
УМ0628-300	300	6–28	100	50	50
УМ3570-300	300	35–70	90	50	50
УМ88108-300	300	88–108	100	50	50
УМ4344-300	2×150	430–440	20	28	65
УМ3843-60	60	380–430	20	28	55
УМ0330-1000	1000	3–30	100	50	50

На рис. 2 представлены типичные серийные образцы паллет УМ3843-60, УМ4344-300.

Одна из последних разработок — усилительный паллет УМ0330-1000, обеспечивающий непрерывную выходную мощность 1 кВт в полосе частот 3–30 МГц с коэффици-



**Рис. 1.** Внешний вид корпусов транзисторов

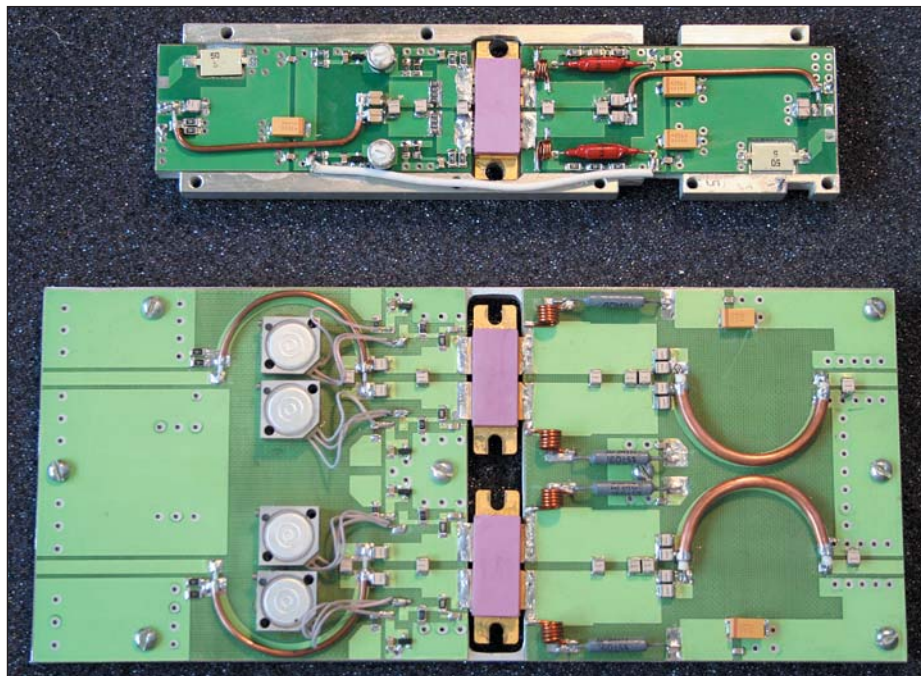


Рис. 2. Серийные образцы паллет УМ3843-60, УМ4344-300

ентом усиления не менее 20 дБ и КПД (коэффициент полезного действия) не менее 50%. Паллет построен на основе двух транзисторов 2П826АС.

При разработке усилительных паллет применяются современные лицензионные системы автоматического проектирования Microwave Office, T-Cad, P-Cad. Примене-

ние современного аппаратно-программного комплекса позволяет сократить до минимума время проектирования. Тесное взаимодействие разработчиков транзисторов, схемотехников и технологов в рамках единого конструкторско-технологического структурного подразделения позволяет не только быстро разработать новые типы паллет, но так же быстро организовать их серийное производство. ■

### Литература

1. Стоянов А., Ассоров В., Кожевников В., Глухов А., Грищенко С., Семейкин И. Модули ВЧ усилителей мощности // Компоненты и технологии. 2006. № 9.
2. Аронов А., Евстигнеев А. А., Евстигнеев А. С. Транзисторные передающие модули L- и S-диапазонов // Электроника: НТБ. 2005. № 4.
3. Ассоров В. В., Кожевников В. А., Дикарев В. И., Ассоров А. В. Мощные СВЧ транзисторы для связной радиоаппаратуры // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 1999.
4. Ассоров В. В., Кожевников В. А., Косой А. Я. Тенденция развития мощных СВЧ-транзисторов // Радио. 1994. № 6.
5. Ассоров В., Кожевников В., Дикарев В., Цоцорин А. Мощные ВЧ и СВЧ полевые транзисторы для аппаратуры средств радиосвязи // Компоненты и технологии. 2006. № 5.