

Модули ВЧ усилителей мощности

Анатолий СТОЯНОВ
Валерий АСЕССОРОВ,
д. т. н.
Владимир КОЖЕВНИКОВ,
к. т. н.
Александр ГЛУХОВ
Сергей ГРИЩЕНКО
Игорь СЕМЕЙКИН,
к. т. н.
vesta@vmail.ru

Модули ВЧ усилителей мощности являются важной элементной базой современной аппаратуры связи. До недавнего времени на российском рынке присутствовали исключительно модули зарубежного производства. В данной публикации Воронежское ФГУП «НИИ электронной техники» (www.niiet.vrn.ru) объявляет о результатах своих разработок модулей ВЧ усилителей мощности и приглашает отечественных производителей радиоэлектронной аппаратуры к сотрудничеству.

Современные системы связи, передачи данных, теле- и радиовещания представляют собой совокупность блоков цифровой обработки сигналов и аналоговых трактов формирования ВЧ сигнала. Наиболее сложной и дорогостоящей частью аналогового тракта является ВЧ усилитель мощности (УМ).

В настоящее время существует два подхода к созданию усилителей мощности: на дискретных компонентах или на готовых конструктивно и функционально законченных модулях. Модульный принцип компоновки радиоаппаратуры в наибольшей степени отвечает современным требованиям и представляется наиболее перспективным. Практика показывает, что использование модулей УМ уменьшает ошибки при проектировании аппаратуры, сокращает сроки ее разработки и подготовки производства. Наибольший эффект от использования модулей УМ как законченных электронных компонентов достигается в условиях серийного производства аппаратуры благодаря отсутствию необходимости выполнять регулировки, что снижает трудоемкость. Использование модулей снижает также затраты на техническое обслуживание и ремонт аппаратуры в процессе ее эксплуатации. Как правило, модули имеют меньшие габаритные размеры и вес по сравнению с узлами на дискретных компонентах, что является существенным преимуществом, особенно при создании портативной аппаратуры связи.

Неслучайно такие ведущие мировые компании, как Mitsubishi Electric, Freescale Semiconductors, Philips, Teco Electronics M/A-COM, специализирующиеся на производстве ВЧ и СВЧ транзисторов, выпускают также и готовые модули усилителей мощности.

Одним из основных направлений деятельности ФГУП «НИИЭТ» является разработка и производство мощных СВЧ биполярных [1, 2, 3] и полевых транзисторов [4], а также гибридных микросхем [5]. В последние годы предприятие активно развивает направление разработки и производства современных

модулей ВЧ УМ для средств радиосвязи. При этом изначально была поставлена задача разработки и производства модулей по техническим требованиям заказчиков — отечественных производителей аппаратуры связи, а не воспроизводство зарубежных аналогов и попытки конкурировать с их производителями. Дело в том, что некоторые диапазоны частот, используемые в РФ (например, ниже 50 МГц) не перекрываются рабочими частотами ВЧ модулей усилителей мощности зарубежного производства. Ситуация на рынке электронных компонентов резко изменилась в 2003 году, когда фирма Mitsubishi Electric, основной поставщик ВЧ модулей усилителей мощности на российском рынке, перешла на производство нового поколения модулей [6]. После этого появились новые «брешы» в частотных диапазонах, например, в диапазоне частот 175–210 МГц, 270–330 МГц и др., что и стимулировало в последние годы резкое увеличение количества заявок на разработку и поставку модулей усилителей мощности для применения на указанных выше частотах.

За последние 10 лет в ФГУП «НИИЭТ» было разработано более 50 типов модулей, потребителями которых стали отечественные производители аппаратуры связи — от малых предприятий до крупных серийных радиозаводов.

В таблице приведены данные на основные электрические параметры модулей ВЧ усилителей мощности и их конструктивное исполнение.

Представленные данные показывают, что разработанные модули ВЧ усилителей мощности закрывают типовые ряды по напряжению источников питания $U_p = 7,5, 9,6, 12,5$ и 28 В. Это означает, что они максимально оптимизированы для применения в портативной, носимой, возимой, бортовой и стационарной радиоэлектронной аппаратуре соответственно. Модули УМ с выходной мощностью до 5 Вт главным образом ориентированы на применение в носимых радиостанциях. Модули с выходной мощностью

более 10 Вт применяются в подвижных и стационарных средствах связи. Их коэффициент полезного действия составляет 40–50%. Только для широкополосных модулей не удастся обеспечить КПД более 35%. Представленный номенклатурный ряд закрывает частотный диапазон от 33 до 470 МГц, но каждый конкретный тип модуля обеспечивает ширину полосы порядка 6–40 МГц.

В настоящее время все большее распространение получают широкополосные системы радиосвязи, а также системы связи с использованием шумоподобных сигналов. Поэтому производителей аппаратуры связи могут заинтересовать новые разработки широкополосных модулей усилителей мощности типа УМ30180-5 и УМ100400-60, а также модулей УМ с повышенными требованиями к линейности передаточной характеристики — УМ120-2Б и УМ121-4А (см. табл.). Линейность выходной характеристики таких модулей УМ оценивается по коэффициенту сжатия (компрессии) $K_{сж}$ как отношение коэффициента усиления при номинальной мощности усилителя к мощности, при которой достигается максимальное усиление.

Схемотехнически модули усилителей мощности в зависимости от частотного диапазона и выходной мощности содержат от одного до трех каскадов усиления. У каждого модуля предусмотрен вывод, на который подают напряжение для управления мощностью выходного сигнала. Благодаря использованию данного вывода может быть организовано оперативное управление уровнем выходной мощности. Модули УМ согласованы по входу и выходу с линиями передачи с волновым сопротивлением 50 Ом, КСВН по входу не хуже 1,5 в полосе рабочих частот. Модули работают без самовозбуждения при КСВН нагрузки до 10 при всех фазовых углах и выдерживают режимы КЗ нагрузки и холостого хода в течение не менее 30 с. Неравномерность коэффициента усиления по мощности ($K_{ур}$) в полосе рабочих частот не более +1 дБ. Диапазон рабочих темпера-

Таблица. Технические характеристики модулей ВЧ УМ

№	Тип	Корпус	$P_{\text{вых}}$, Вт	f , МГц	$P_{\text{вх}}$, мВт	$U_{\text{п}}$, В	КПД, %
1	УМ101-1	К-1	2,5	44–46,5	5	9,6	45
2	УМ102-2	К-1	2	146–162	10	7,5	40
3	УМ102-2А	К-1	2	158–174	10	7,5	40
4	УМ103-2	К-1	4	146–162	10	12,5	40
5	УМ103-2А	К-1	4	158–174	10	12,5	40
6	УМ104-2	К-2	16	146–162	50	12,5	40
7	УМ104-2А	К-2	16	158–174	50	12,5	40
8	УМ104-2Б	К-2	16	146–174	50	12,5	40
9	УМ105-3	К-2	16	300–308	50	12,5	40
10	УМ105-3А	К-2	16	335–345	50	12,5	40
11	УМ106-4	К-2	16	400–440	50	12,5	40
12	УМ106-4А	К-2	16	440–470	50	12,5	40
13	УМ107-2	К-1	1,5	165–195	5	15	50
14	УМ108-2	К-2	10	146–162	20	12,5	40
15	УМ108-2А	К-2	10	158–174	20	12,5	40
16	УМ109-1	К-1	5	44–46,5	5	9,6	45
17	УМ109-1А	К-1	5	33–39	5	9,6	45
18	УМ109-1Б	К-1	5	39–45	5	9,6	45
19	УМ109-1В	К-1	5	45–51	5	9,6	45
20	УМ109-1Г	К-1	5	51–57,5	5	9,6	45
21	УМ110-1А	К-2	25	88–108	5	12,5	40
22	УМ110-1Б	К-2	25	66–74	5	12,5	40
23	УМ111-1	К-2	16	118–130	50	12,5	40
24	УМ112-1А	К-2А	10	88–108	5	12,5	40
25	УМ112-1Б	К-2А	10	66–74	5	12,5	40
26	УМ113-1А	К-2А	13	33–39	10	12,5	40
27	УМ113-1Б	К-2А	13	39–45	10	12,5	40
28	УМ113-1В	К-2А	13	45–51	10	12,5	40
29	УМ113-1Г	К-2А	13	51–57,5	10	12,5	40
30	УМ114-2А	К-2	30	146–162	50	12,5	40
31	УМ114-2Б	К-2	30	158–174	50	12,5	40
32	УМ115-1А	К-2А	25	33–35	5	12,5	50
33	УМ115-1Б	К-2А	25	35–37	5	12,5	50
34	УМ115-1В	К-2А	25	37–39	5	12,5	50
35	УМ115-1Г	К-2А	25	39–41	5	12,5	50
36	УМ115-1Д	К-2А	25	41–43	5	12,5	50
37	УМ115-1Е	К-2А	25	43–45	5	12,5	50
38	УМ115-1Ж	К-2А	25	45–47	5	12,5	50
39	УМ115-1З	К-2А	25	47–49	5	12,5	50
40	УМ115-1И	К-2А	25	56–58	5	12,5	50
41	УМ116-2	К-1А	1,5	165–195	2	6,0	45
42	УМ117-3	К-2Б	16	300–308	20	12,5	40
43	УМ118-2	К-2Б	16	146–174	20	12,5	40
44	УМ119-1	К-1	8	118–138	10	28	40
45	УМ119-2	К-1	8	230–250	10	28	40
46	УМ119-3	К-1	8	370–390	10	28	40
47	УМ120-2Б	К-2Б	12	146–174	10	12,5	35
48	УМ121-4А	К-1	1,5	400–450	1	12,5	35
49	УМ122-3	К-1	2,0	300–350	5	12,5	40
50	УМ30180-5	К2-Б	5	30–180	5	12,5	35
51	УМ100400-60	*	60	100–400	10000	28	35

Примечание:

Усилители УМ117-3 и УМ118-2 — функциональные аналоги модулей RA13N3340M и RA13N1317M производства Mitsubishi Electric.

* — корпус находится в разработке

тур от -40 до $+85$ °С, однако по требованию заказчика может быть расширен до диапазона от -60 до $+125$ °С.

Разработанные ФГУП «НИИЭТ» модули, как и большинство зарубежных, собраны в металлополимерных корпусах с односторонним расположением выводов. Используются две базовые конструкции корпусов: К-1 и К-2, отличающиеся габаритными размерами (рисунок). Корпуса с различным количеством и расположением выводов имеют соответствующие буквенные индексы, например К-1А, К-2Б. Корпус К-2А отличается от корпуса К-2 отсутствием вывода «З». Шаг выводов корпусов кратен 2,5 мм.

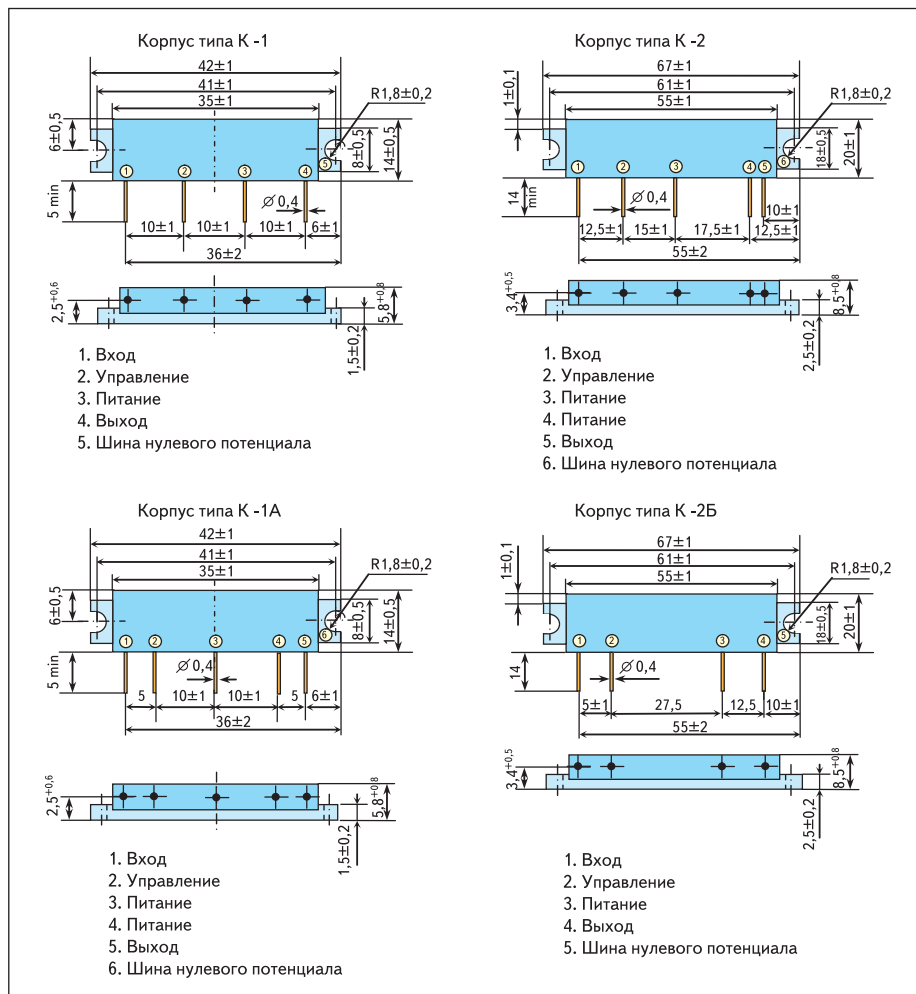


Рисунок. Корпуса модулей ВЧ усилителей

Конструктивно модули состоят из металлического основания — фланца, диэлектрической подложки с металлической разводкой и смонтированных на ней электронных компонентов, в том числе нескольких (по числу каскадов усиления) мощных ВЧ транзисторов, проволочных внешних электрических выводов и пластмассовой крышки, на которой нанесена маркировка. Фланец из никелированной меди с крепежными отверстиями служит одновременно механическим основанием, теплоотводящим элементом и общей земляной шиной. Подложкой служит стеклотекстолитовая печатная плата, на которой методом поверхностного монтажа установлены пассивные компоненты, а мощные транзисторы смонтированы непосредственно на теплоотводе — фланце. Исследования показали, что стеклотекстолитовая подложка модуля гораздо более устойчива к механическим нагрузкам, чем керамическая, которая, как правило, используется в зарубежных модулях.

В модулях УМ в качестве активных компонентов используются кремниевые биполярные или полевые (D-MOS, LDMOS) мощные ВЧ транзисторы собственного или зарубежного производства. Транзисторы собственного производства имеют малогабарит-

ное исполнение на кристаллодержателе из бериллиевой керамики. Данные транзисторы собраны с использованием гибкого ленточного носителя в качестве внутренних и внешних выводов. Присоединение ленточных выводов транзисторов к печатной плате УМ осуществляется пайкой, а не сваркой, как в зарубежных модулях. Метод пайки обеспечивает более прочные и надежные соединения, а стабильность геометрических размеров и формы выводов позволяет получать и стабильные динамические характеристики транзисторов. Электронные компоненты, размещенные на печатной плате, защищены лаковым покрытием. Для механической защиты компонентов на плате и защиты от проникновения в корпус модуля влаги используется пластмассовая крышка. Места соединения крышки с фланцем, печатной платой и выводами залиты герметизирующим компаундом. Требования по герметичности соответствуют степени защиты IP68 по ГОСТ 14254-96.

При разработке модулей УМ применяются современные системы автоматического проектирования Microwave Office, T-CAD, P-CAD 2000. Применение современного аппаратно-программного комплекса позволяет

сократить до минимума время проектирования усилителей мощности. Тесное взаимодействие разработчиков транзисторов, схемотехников и технологов в рамках единого конструкторско-технологического подразделения позволяет не только быстро разрабатывать новые типы модулей, но и быстро организовывать их серийное производство. Время от получения технических требований заказчика до выпуска опытных образцов составляет 1–2 недели, а до выпуска серийных образцов — не более 2 месяцев, при этом этап разработки модулей заказчиком не оплачивается.

Производственная мощность технологической линии ФГУП «НИИЭТ» в настоящее время составляет порядка 10 тыс. модулей в год. Однако при необходимости объем выпуска модулей может быть увеличен. ■

Литература

1. Ассесоров В. В., Кожевников В. А., Дикарев В. И., Ассесоров А. В. Мощные СВЧ транзисторы для связной радиоаппаратуры // *Электроника: Наука, Технология, Бизнес*. 1999.
2. Кожевников В. А., Ассесоров В. В., Ассесоров А. В., Дикарев В. И. Мощные низковольтные СВЧ транзисторы для подвижных средств связи // *Радио*. 1999. № 10, 11.
3. Ассесоров В. В., Кожевников В. А., Косой А. Я. Тенденция развития мощных СВЧ транзисторов // *Радио*. 1994. № 6.
4. Ассесоров В., Кожевников В., Дикарев В., Цоцорин А. Мощные ВЧ и СВЧ полевые транзисторы для аппаратуры средств радиосвязи // *Компоненты и технологии*. 2006. № 5.
5. Ассесоров В. В., Кожевников В. А., Асеев Ю. Н., Гаганов В. В. Модули ВЧ усилителей мощности для портативных средств связи // *Электросвязь*. 1997. № 7.
6. Хабаров А. Модульные ВЧ усилители мощности производства Mitsubishi // *Электронные компоненты*. 2006. № 2.