

# Широкополосные модули усилителей мощности типа Pallet S-диапазона

Владимир КОЖЕВНИКОВ, к. т. н.  
dvi@niiet.ru  
Сергей ГРИЩЕНКО  
uhf@niiet.ru  
Игорь СЕМЕЙКИН, к. т. н.  
uhf@niiet.ru  
Павел КУРШЕВ  
mepavel@mail.ru

В статье рассматриваются схмотехнические и конструктивные особенности модулей усилителей мощности типа Pallet с выходной мощностью 80 и 300 Вт в полосе частот 2,7–3,1 ГГц.

Одним из основных направлений развития радиолокационных систем является совершенствование конструкций твердотельных СВЧ усилителей мощности благодаря совершенствованию технологий производства транзисторной базы. Хорошо известно, что твердотельные СВЧ усилители мощности (УМ) являются «критическим звеном» при построении аппаратного комплекса. Поэтому вопрос создания высокоэффективных модулей УМ наиболее остро стоит при проектировании и последующем производстве радиолокационных систем (РЛС) с активными фазированными антенными решетками (АФАР). К мощным усилительным трактам, используемым в современных АФАР, существенно возросли требования по выходной мощности, коэффициенту усиления, широкополосности и энергоэффективности при одновременном обеспечении малых массо-габаритных показателей и высокой надежности в широком диапазоне температур. Это связано с необходимостью построения РЛС с большей дальностью обнаружения и распознавания цели.

Принцип комплектования мощных трактов усиления негерметизированными модулями УМ типа Pallet (в составе общего герметизированного объема) позволяет добиться максимальной эксплуатационной эффективности и надежности аппаратуры, а также уменьшения ее массо-габаритных характеристик и срока разработки. В условиях серийного производства РЛС использование таких модулей УМ как законченных электронных компонентов с гарантированными параметрами позволяет существенно снизить время и материальные затраты. Кроме того, уменьшаются затраты на техническое обслуживание и ремонт аппаратуры в процессе ее эксплуатации.

Для достижения требуемых характеристик усилительных модулей необходимо обеспечить соответствующую удельную выходную мощность СВЧ-транзистора. Другими словами, необходимо использо-

Таблица 1. Электрические характеристики модулей УМ M44266, M44265 и MAPP-002729-300M00

Наименование параметра (режим измерения)	Буквенное обозначение параметра	Усилитель мощности		
		M44266	M44265	MAPP-002729-300M00
Рабочий диапазон частот, ГГц	$\Delta f_p$	2,7–3,1	2,7–3,1	2,7–2,9
Длительность импульса, мкс, не более	$\tau_{\text{и}}$	500	500	100
Сквозность импульсов, не менее	Q	10	10	10
Импульсная выходная мощность (при заданных параметрах импульса), Вт, не менее	$P_{\text{вых и}}$	80	300	300
Коэффициент усиления по мощности, дБ, не менее	$K_{\text{ур}}$	10	8	8,3
Неравномерность коэффициента усиления по мощности в диапазоне частот, дБ, не более	$\Delta K_{\text{ур}}$	2	2	0,8
Коэффициент полезного действия, %, не менее	$\eta$	30	30	40
Коэффициент стоячей волны по напряжению входа, не более	$K_{\text{ст Увх}}$	2	2	2
Напряжение питания, В	$U_n$	35	35	36

вать СВЧ-транзисторы с большим запасом по предельно допустимой максимальной мощности рассеивания, но при этом одновременно транзистор должен обеспечивать высокие частотно-усилительные свойства. Биполярные транзисторы, традиционно используемые ранее при разработке усилителей, не соответствуют этим требованиям по ряду причин, в том числе из-за низкого входного импеданса. Последнее сильно усложняет широкополосное согласование со стандартным 50-омным радиочастотным трактом. Наиболее перспективным является проектирование радиочастотных усилителей мощности на современных мощных LDMOS СВЧ-транзисторах, которые не имеют недостатков биполярных транзисторов.

Поэтому разработка и производство усилительных модулей на основе мощных LDMOS-транзисторов стали одним из основных направлений тематического развития Воронежского НИИ электронной техники, которое является одним из ведущих отраслевых предприятий в области разработки и производства мощных ВЧ- и СВЧ-транзисторов [1–3].

В рамках этого направления на основе перечисленных конструктивно-технологических решений авторы статьи разработали миниатюрный усилитель мощности S-диапазона M421357 ( $P_{\text{вых}} = 10$  Вт,  $\Delta f_p = 2,7\text{--}3,1$  ГГц,

$K_{\text{ур}} = 10$  дБ) [4]. В настоящее время разработаны модули УМ типа Pallet M44266 и M44265 с выходной импульсной мощностью 80 и 300 Вт в полосе частот 2,7–3,1 ГГц с коэффициентом усиления по мощности 10 и 8 дБ соответственно. Изделия предназначены для применения в модулях АФАР РЛС больших и средних высот, а также в системах опознавания и телеметрии.

Основные электрические параметры разработанных модулей УМ приведены в таблице 1. Там же для сравнения указаны параметры ближайшего зарубежного аналога — MAPP-002729-300M00 фирмы M/A-COM (США).

Сравнивая параметры усилителей мощности, можно отметить, что разработанные модули УМ по основным электрическим параметрам находятся на уровне лучших мировых разработок. Вместе с тем эти УМ обеспечивают более широкий диапазон частот при более длительном импульсе, что расширяет область их применения.

Принципиальная электрическая схема усилителя M44265 приведена на рис. 1.

Как видно на рис. 1, изделие M44265 состоит из двух одинаковых однокаскадных усилительных ячеек СВЧ мощности, объединенных входным делителем и выходным сумматором мощности. Усилительными элементами СВЧ-сигнала являются мощ-

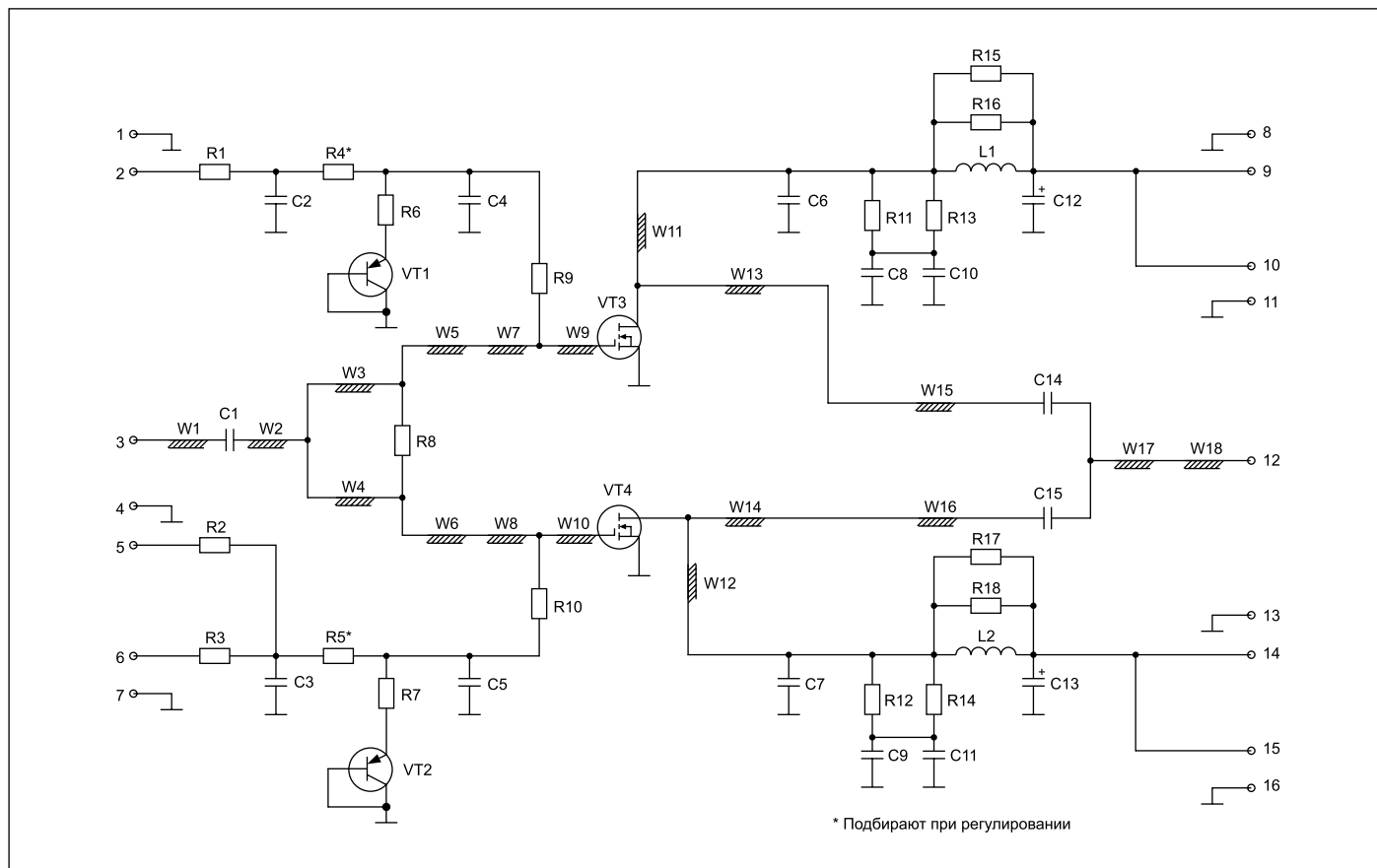


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема модуля УМ М44265

ные LDMOS-транзисторы VT3 и VT4 типа BLS6G2731-120. Входной кольцевой делитель мощности выполнен на четвертьволновых микрополосковых линиях W3, W4 с волновым сопротивлением 70,7 Ом и балластном резисторе R8 номиналом 100 Ом. Входные и выходные согласующие цепи усилителей реализованы на микрополосковых линиях W5–W10 и W13–W16. Они обеспечивают согласование входа и выхода каждой усилительной ячейки на импеданс с сопротивлением 50 Ом. Суммирование выходной мощности осуществляется параллельным соединением выходных микрополосковых линий усилительных ячеек с последующей трансформацией импеданса до значения 50 Ом при помощи четвертьволновой линии W17. Конденсаторы C1, C14 и C15 — разделительные, C4–C7 и C12–C13 — блокировочные.

Схема смещения полевых транзисторов VT3 и VT4 имеет температурную стабилизацию тока покоя стока. Питание схемы смещения затворного потенциала осуществляется подачей на один из трех эквивалентных входов управления постоянного напряжения положительной полярности  $U_{упр}$ , равного  $(5 \pm 0,1)$  В. Напряжение  $U_{упр}$  дополнительно фильтруется от ВЧ-помех цепочкой R1C2 (R3C3 или R2C3) и поступает на термозависимый делитель напряжения, выполненный на элементах R4, R6 и VT1 (R5, R7 и VT2). В качестве термозависимого элемента исполь-

зуется прямосмещенный эмиттерный переход биполярных транзисторов VT1 и VT2.

Смещение выводов стока транзисторов VT3 и VT4 раздельное и осуществляется подачей напряжения питания  $U_{п}$ , равного  $(35 \pm 0,7)$  В, одновременно на выводы 9 (или 10) и 14 (или 15). Для подавления переходных процессов, вызванных явлением резонанса индуктивности микрополосковых линий W11 и W12 с емкостью выходного МДП-конденсатора транзисторов VT3 и VT4, предусмотрены элементы R11–R18, C8–C11, L1 и L2.

Типовые значения электрических параметров УМ М44265 приведены в таблице 2. Измерения проводились при напряжении

Таблица 2. Типовые значения электрических параметров усилителя мощности М44265

f, ГГц	P <sub>вх.ит</sub> , Вт	P <sub>вых.ит</sub> , Вт	I <sub>п.ит</sub> , А	K <sub>ур</sub> , дБ	η, %
2,7	40	365	21	9,6	53
2,8	40	371	21,9	9,7	51,5
2,9	40	387	23,6	9,9	49,6
3	40	380	24,5	9,8	46,8
3,1	40	385	25,8	9,9	45

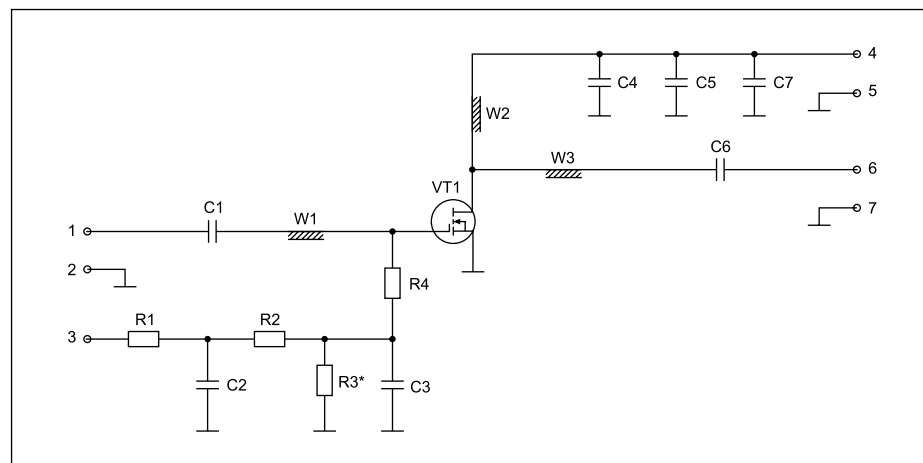


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема модуля УМ М44266

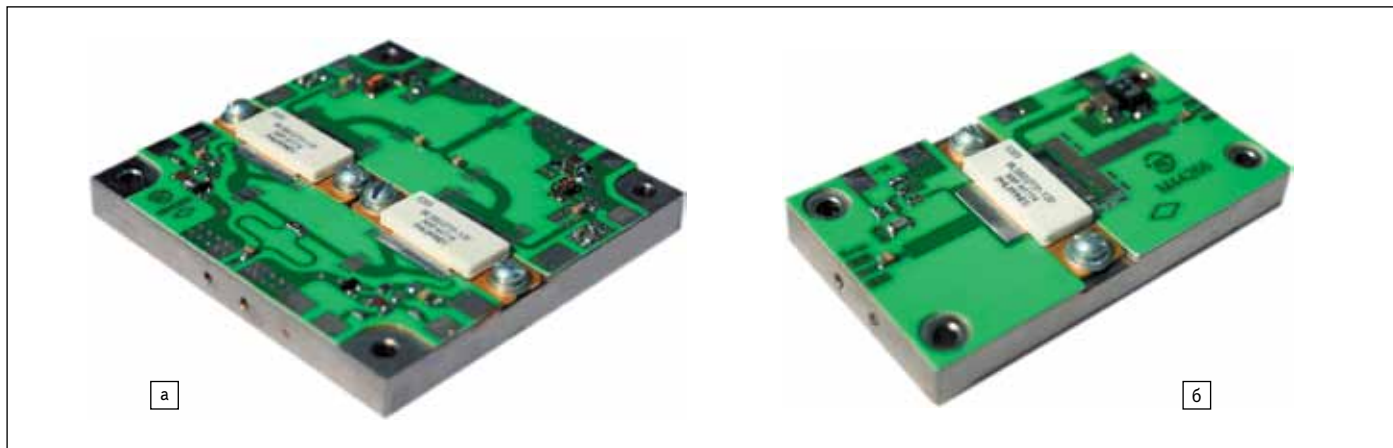


Рис. 3. Внешний вид модуля: а) M44265; б) M44266

питания  $U_{п} = 35$  В и токе покоя каждого транзистора  $I_Q = 100$  мА, длительности импульсов  $\tau_{и} = 500$  мкс и скважности импульсов  $Q = 10$ .

Принципиальная электрическая схема усилителя M44266 представлена на рис. 2.

Как видно на рис. 2, изделие M44266 представляет собой усилитель мощности СВЧ на одном LDMOS-транзисторе BLS6G2731-120 (VT1). Входная и выходная согласующие цепи усилителя реализованы на микрополосковых линиях W1 и W3 соответственно. Они обеспечивают согласование входа и выхода усилителя мощности на импеданс с сопротивлением 50 Ом. Конденсаторы C1 и C6 — разделительные, C2–C7 — блокировочные.

Схема смещения полевого транзистора VT1 не имеет температурной стабилизации тока покоя стока. Питание схемы смещения затворного потенциала осуществляется подачей на вход управления (контакт 3) постоянного напряжения положительной полярности  $U_{упр}$ , равного  $(5 \pm 0,1)$  В. Напряжение  $U_{упр}$  дополнительно фильтруется от ВЧ-помех цепочкой R1C2 и поступает на резистивный делитель напряжения, выполненный на элементах R2R3. Смещение вывода стока транзистора VT1 осуществляется подачей напряжения питания  $U_{п}$ , равного  $(35 \pm 0,7)$  В, на вывод 4.

Таблица 3. Типовые значения электрических параметров усилителя мощности M44266

f, ГГц	P <sub>вх ит</sub> , Вт	P <sub>вых ит</sub> , Вт	I <sub>п ит</sub> , А	K <sub>ур</sub> , дБ	$\eta$ , %
2,7	15	153	9,4	10,1	48,7
2,8	15	163	10	10,3	48,8
2,9	15	165	10,5	10,4	47,3
3	15	171	11,1	10,5	45,8
3,1	15	165	10,9	10,4	45,2

Типовые значения электрических параметров УМ M44266 приведены в таблице 3. Измерения проводились при напряжении питания  $U_{п} = 35$  В и токе покоя транзистора  $I_Q = 100$  мА, длительности импульса  $\tau_{и} = 500$  мкс и скважности импульсов  $Q = 10$ .

Конструктивно разработанные изделия состоят из металлического основания, печатной платы, на которой смонтированы ЭРЭ, и одного или двух (в зависимости от типа изделия) мощных СВЧ-транзисторов. Никелированный фланец с крепежными отверстиями служит одновременно механическим основанием изделия, теплоотводящим элементом и общей шиной. Печатная плата с двусторонней металлизацией выполнена из стеклокерамического ламината RO4003C фирмы Rogers. Особенностью этого материала является его полная совместимость с технологическим процессом изготовления печатных плат на материалах типа стеклотек-

столит или FR-4. В плате имеются металлизированные переходные отверстия, соединяющие проводники на лицевой поверхности подложки с ее металлизированной обратной стороной. Печатная плата нижней стороны напаяна на основание. Мощные СВЧ-транзисторы размещены в зазоре между печатными платами.

Внешний вид усилителей мощности представлен на рис. 3. Габаритные размеры УМ M44265 —  $70 \times 70 \times 13$  мм, M44266 —  $38 \times 70 \times 13$  мм.

Необходимо отметить, что модули усилителей мощности проектировались с помощью современных лицензионных систем автоматического проектирования AWR Design Environment 2009 и P-CAD 2006. Применение современного аппаратно-программного комплекса позволило сократить до минимума время проектирования. Тесное взаимодействие разработчиков транзисторов, схемотехников и технологов в рамках единого конструкторско-технологического структурного подразделения позволило не только быстро разрабатывать новые типы модулей, но и в короткие сроки внедрить их в серийное производство.

## Литература

1. Семейкин И., Кожевников В., Грищенко С. Мощные усилительные паллеты для модулей АФАР // Современная электроника. 2010. № 2.
2. Ассоров В., Грищенко С., Кожевников В. и др. Усилительные паллеты и модули ВЧ-усилителей мощности // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2008. № 4.
3. Ассоров В., Грищенко С., Жуков С. и др. Усилительные паллеты — элементная база радиопередающей аппаратуры // Компоненты и технологии. 2008. № 7.
4. Семейкин И. В., Грищенко С. В., Кожевников В. А., Куршев П. Л. Миниатюрный многокристальный внутрисогласованный усилитель мощности: Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции «Микроэлектроника СВЧ». Санкт-Петербург, 2012.