

Новые силовые ВЧ-модули для применения в радарной технике L и S диапазонов частот в концепции plug-and-play

Отделение высокочастотных приборов PPG-R компании Microsemi Corporation начало производство мощных СВЧ-модулей, так называемых паллет, для применения в радаров, работающих в диапазонах частот L (1200–1400 МГц) и S (2700–3100 МГц, 3100–3400 МГц). Эти модули позволяют получить в 2–3 раза большую выходную мощность по сравнению с одиночными транзисторами и имеют крайне простую концепцию работы plug-and-play, что позволяет интегрировать модуль в систему без настройки и согласования волновых сопротивлений. Все это существенно упрощает систему пользователя, значительно снижает время разработки, уменьшает размер усилителя более чем на 50% и значительно ускоряет процесс сборки и производства.

Джерри ЧАНГ (Jerry CHANG)
Вячеслав ТИМОШИН
vyacheslav.timoshin@yeint.ru

Потребность пользователей — сверхмощные (1–2 кВт) СВЧ-модули

Для изготовления радаров, работающих в L и S диапазонах, широко используются дискретные мощные биполярные транзисторы класса С. Уровень выходной мощности таких транзисторов обычно составляет от 200 до 370 Вт выходной мощности для L и 100 Вт для S-диапазона. Однако обычно производителям радаров, разрабатывающим сверхмощные усилители, требуется существенно больший уровень выходной мощности, чем тот, который позволяет получить одиночный транзистор. Как правило они разрабатывают одно- или двух-киловаттные модули как основные блоки, из которых строится система, и затем объединяют их для получения требуемой выходной мощности.

Трудности, с которыми сталкивается разработчик при использовании одиночных транзисторов:

1. Объединение 220 Вт транзисторов в систему 1-4-16 транзисторов приводит к увеличению размера системы и повышению сложности. Требуется время для подстройки цепей согласования, снижается КПД.
2. Преобразование волнового сопротивления с 2 до 50 Ом.
3. Подстройка, регулировка дискретных транзисторов как на этапе разработки, так и на этапе производства.

В качестве примера, в L-диапазоне одной из наиболее часто используемых конфигураций для 2-киловаттного модуля является при-

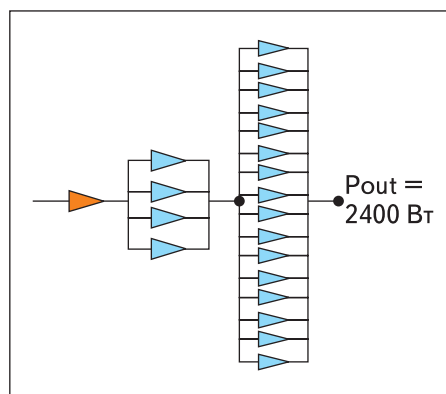


Рис. 1. Традиционная модель усилителя мощностью 2 кВт на транзисторах

менение 21 штуки 220-ваттных дискретных транзисторов, например транзисторов серии 1214-220M, и построение системы, состоящей из 1 разгоняющего, 4 разгоняющих и 16 транзисторов, как это показано на рис. 1. Полное сопротивление дискретного транзистора такого типа составляет 1–2 Ом, поэтому пользователю необходимо проектировать внешние входные и выходные цепи согласования таким образом, чтобы их низкое сопротивление поднялось до 50 Ом для согласования с другими высокочастотными компонентами в системе. Такие задачи требуют специальных знаний, навыков и опыта работы с СВЧ-элементами, а также значительных временных затрат. Когда дискретный транзистор согласовывается с системой с сопротивлением 50 Ом, пользователю нужно разрабаты-

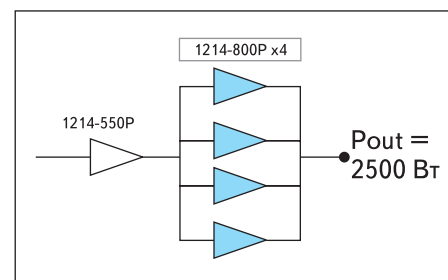


Рис. 2. Модель усилителя мощностью 2 кВт с использованием СВЧ-модулей

вать не только многовыходной делитель на входе, но и многовыходной сумматор на выходе, чтобы выполнить разгоняющие входы и объединяющие выходы — соответственно каскад из 4 и каскад из 16 параллельных транзисторов. Суммарный КПД такого модуля после создания большого числа стадий снижается с 50 до 35–40% из-за потерь в 16-ходовом сумматоре. Кроме того, размер модуля становится достаточно большим, цепи смещения и низкочастотная фильтрующая схема для 16 транзисторов увеличивает общий размер системы и временные затраты на сборку при производстве и настройке.

Преимущества мощного СВЧ-модуля

Новая серия мощных СВЧ-модулей сконструирована таким образом, чтобы значительно уменьшить время разработки, размер и сложность системы. Наиболее важным

фактором является то, что пользователи могут снизить денежные расходы как в процессе разработки, так и на стадиях производства такой системы, в то же время получая больший КПД, меньший размер и повышенную надежность системы в применениях, где это является определяющим фактором. Пользователи могут просто использовать модули мощностью 550, 700 или 800 Вт для замены до четырех 220-ваттных транзисторов, наиболее часто используемых в параллельном включении на выходе усилителя, работающего в L-диапазоне. На рис. 2 представлен 2-киловаттный усилитель, разработанный с использованием модуля 1214-800P.

Семейство мощных СВЧ-модулей для L-диапазона включает в себя три паллеты: 1214-800P, 1214-700P1 и 1214-550P. Они имеют на входе и выходе сопротивление 50 Ом, полностью согласованное в диапазоне 1200–1400 МГц. Эти модули класса С сконструированы таким образом, чтобы работать последовательно, пиковая выходная мощность значительно превышает 550, 700 и 800 Вт при КПД 50%, импульсе длительностью 300 мкс и скважности 10. Данные модули позволяют получить готовое согласованное решение plug-and-play, которое не требует дополнительной подстройки и сложного процесса согласования сопротивлений.

В семействе паллет производства Microsemi PPG используются кристаллы транзисторов, специально разработанные для этих модулей. Технические характеристики и топология этих транзисторов позволяют получить высокие выходную мощность, коэффициент усиления и КПД системы (табл. 1). Модули обладают высочайшим постоянством и повторяемостью параметров от серии к серии.

Использование СВЧ-модулей дает следующие преимущества:

- Простота использования — 50 Ом на входе и 50 Ом на выходе (функция Plug-and-Play).
- Простота разработки — нет необходимости согласовывать волновые сопротивления.
- Уменьшенный размер системы — СВЧ-модули имеют компактный размер.
- Снижение сложности системы — нет необходимости согласовывать элементы.
- Улучшенные параметры системы — высокая эффективность и надежность.
- Отсутствует необходимость настройки дискретных транзисторов.
- Уменьшен размер элементной базы.
- Есть возможность разработки модуля под требования заказчика.

Таблица 1. Основные технические характеристики

Частотный диапазон, МГц	1200–1400
Форма импульса, мкс	300, 10%
Выходная мощность, Вт	>550, >700, >800
Коэффициент усиления, дБ	>8
КПД, %	>50
Тип транзисторов	Класс С
Размеры	81,3×50,8×5,3 мм (3,2×2×0,21")

Особенности производства СВЧ-модулей

В СВЧ-модулях используется кремниевый биполярный NPN-транзистор, разработанный и производимый Microsemi PPG — RF. Транзистор имеет гребенчатую геометрию с очень узким эмиттером, что позволяет существенно увеличить размер базы по отношению к размеру эмиттера. Размер эмиттера и материал покрытия подбирались для обеспечения номинальной мощности 100 Вт на чип с напряжением смещения 50 В. Двойной слой позолоченной металлизации снижает выходную емкость и увеличивает время наработки на отказ прибора, используемого в L-диапазоне частот.

Для увеличения линейности характеристик используются балластные резисторы.

Кристаллы транзисторов установлены на металлизированную подложку из оксида бериллия (BeO) толщиной 0,04" с помощью фланцев CuW толщиной 0,06". Корпусированные транзисторы внутренне согласованы с помощью входных и выходных конденсаторов со структурой металл-нитрат-металл (МНМ), также изготовленных компанией Microsemi PPG — RF. Входная цепь согласования состоит из двухстадийного низкочастотного согласующего трансформатора, в котором используется индуктивность проводов, и емкости шунтирующих МНМ конденсаторов, припаянных к металлизированной заземляющей подложке.

Выходная цепь состоит из шунтирующих индуктивных проводов, связывающих расположенную на кристалле изолированную область контакта коллектора с блокирующими конденсаторами, которые также установлены на металлизированное основание модуля. Все соединительные провода расположены в прямую линию, что позволяет полностью автоматизировать процесс пайки и тем самым добиться высокой производительности. Всего в конструкции 369 проводных связей. На рис. 3 показана внутренняя структура одиночного транзистора.

Входные и выходные волновые сопротивления цепей согласования, полученные в результате внутреннего согласования, указаны в таблице 2. Волновое сопротивление истока



Рис. 3. Внешний вид транзистора, работающего в L-диапазоне частот

Таблица 2. Волновые сопротивления истока и нагрузки

Частота, МГц	Z_S , Ом	Z_L , Ом
1200	1,75-j2,2	1,50-j2,10
1300	1,75-j1,60	1,35-j2,00
1400	1,76-j1,20	1,1-j1,80

Z_S и сопротивление нагрузки Z_L измеряются по методике транзисторно-резисторной логики.

Обзор схемы модуля 1214-800P

Мощный СВЧ-модуль 1214-800P сконструирован на плате с медным покрытием производства фирмы Roger Corporation's RT/Duroid. Размеры 1214-800P (81,3×50,8×5,3 мм или 3,2×2×0,21" — длина×ширина×высота) делают модуль достаточно привлекательным для потребителей. Поверхность платы получена гальваническим способом для предотвращения окисления медных поверхностей.

Конфигурация сумматора мощности, используемая в данном усилителе, представляет собой сумматор-делитель Уилкинсона. Волновые сопротивления на входе и выходе отдельных транзисторов сначала изменяются до 25 Ом промежуточного сопротивления. Это сопротивление впоследствии преобразуется в 50 Ом при помощи сумматора Уилкинсона. Два 50-Ом силовых резистора на основе AlN (по одному с каждой стороны сумматора) изолируют два транзистора друг относительно друга. С помощью компьютерного моделирования было определено, что степень изоляции превышает 20 дБ. Для достижения более высокой мощности на выходе и большего КПД транзисторы работают по схеме с общей базой класса С. На рис. 4 показан общий вид 800-ваттного СВЧ-модуля 1214-800P.



Рис. 4. Внешний вид 800-ваттного модуля 1214-800P

ВЧ измерения и работа модуля

Для упрощения демонстрации работы 800-ваттного СВЧ-модуля на его входе и выходе установлен разъем SMA. К каждой из цепей смещения по обе стороны модуля припаяны два высоковольтных накопительных конденсатора емкостью 4000 мкФ. На нижней

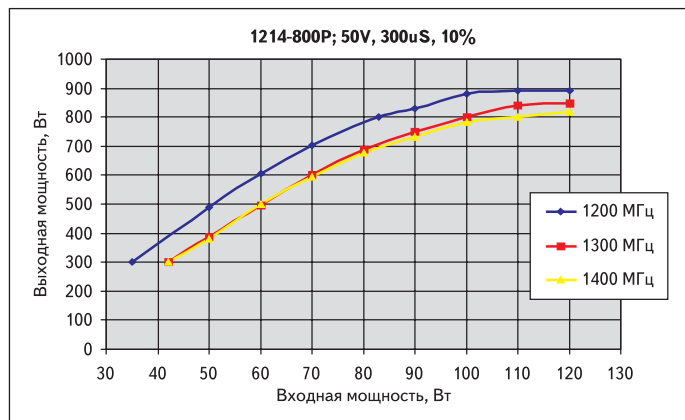


Рис. 5. Зависимость выходной мощности от входной мощности

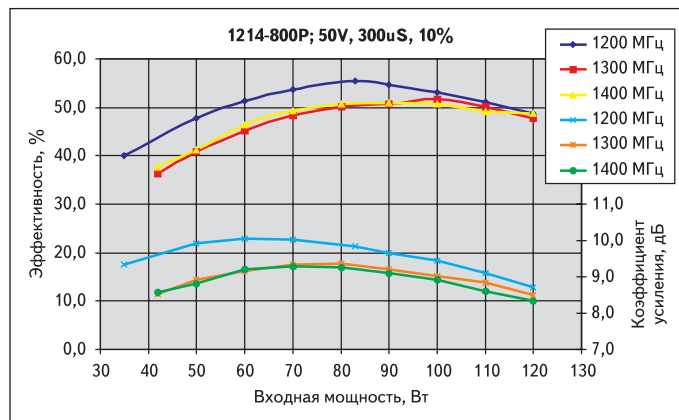


Рис. 6. Зависимость коэффициента усиления и КПД от входной мощности

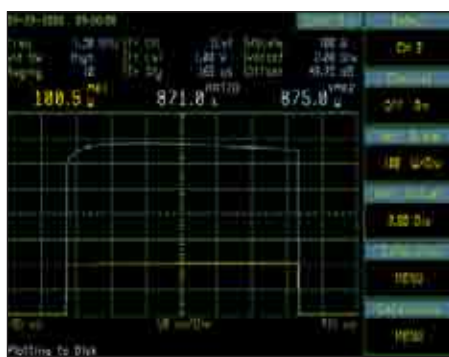


Рис. 7. Типичная форма импульса на частоте 1300 МГц

поверхности модуля закреплен алюминиевый радиатор и вентилятор — для охлаждения модуля во время работы.

На рис. 5, 6 показаны зависимости выходной мощности и КПД от входной мощности для модуля 1214-800P, который тестировался импульсом длительностью 300 мкс со скважностью 10 при напряжении смещения 50 В. Выходная мощность измерялась посередине импульса, что соответствует 150 мкс. Как показано на рис. 5, выходная мощность 800 Вт получается при входной мощности около 110 Вт, что соответствует коэффици-

Таблица 3. Основные технические характеристики паллет для S-диапазона

Номер модели	2731-200P	2729-300P	3134-180P
Частотный диапазон, МГц	2700–3100	2700–2900	3100–3400
Форма импульса, мкс	200, 10%	200, 10%	100, 10%
Выходная мощность, Вт	>200	>300	>180
Коэффициент усиления, дБ	>7	>7	>7
Тип транзисторов	Класс С	Класс С	Класс С
Размеры	50,8×35,6×5,3 мм (2×1,4×0,21")	50,8×35,6×5,3 мм (2×1,4×0,21")	69,9×38,1×5,3 мм (2,75×1,5×0,21")

енту усиления 8,6 дБ на частоте 1400 МГц. На частоте 1200 МГц выходная мощность составила 893 Вт при тех же входных параметрах, что соответствует коэффициенту усиления 9,1 дБ. КПД коллектора составляет 50% при входной мощности, равной 110 Вт. На рис. 7 показана типичная форма импульса на частоте 1300 МГц. Типичное значение падения амплитуды менее 0,3 дБ — показатель температурной устойчивости устройства. Потери на отражение в диапазоне частот от 1200 до 1400 МГц составляют менее 12 дБ.

Семейство СВЧ-модулей для работы в S-диапазоне частот

Выросли требования и к аналогичным продуктам для радаров, работающих в S-диапазоне (2700–3400 МГц). Семейство СВЧ-моду-

лей для S-диапазона (табл. 3) состоит из трех паллет: 2731-200P, 2729-300P и 3134-180P.

Выводы

Производимые отделением высокочастотных приборов PPG-R компании Microsemi Corporation мощные СВЧ-модули с концепцией plug-and-play и с встроенными цепями согласования с 50-Ом волновым сопротивлением на входе и на выходе могут с легкостью встраиваться в системы радаров без каких-либо дополнительных операций по согласованию сопротивлений. Это позволяет существенно упростить систему, значительно снизить время разработки, уменьшить размер усилителя, повысить надежность, увеличив при этом выходную мощность и КПД. ■