

**Пчелин В.А., Лисицын А.А., Трегубов В.Б.,
Корчагин И.П., Манченко Л.В.**
АО «НПП «Исток» им. Шокина»

Малогабаритный усилитель с выходной мощностью 6 Вт Ku-диапазона длин волн

Разработан малогабаритный усилитель мощности Ku-диапазона. В согласующих цепях применена керамика с высокой диэлектрической проницаемостью. Представлены меры для предотвращения неустойчивой работы усилителя. Для получения требуемых электрических параметров проведено суммирование мощности в выходном каскаде усилителя. Все элементы усилителя изготовлены в АО «НПП «Исток» им. А. И. Шокина

Ключевые слова: Ku диапазон, усилители мощности, согласующие цепи, СВЧ транзисторы

В выходном канале системы Ku диапазона длин волн требуется импульсный усилитель с выходной мощностью (Р_{вых}) не менее 6 Вт, коэффициентом усиления 33 дБ и КПД не менее 25%, работающий в диапазоне частот 13,5...14,5 ГГц. УМ должен иметь малые габариты, низкое напряжение питания и высокую надёжность. Кроме высоких требований по электрическим параметрам, герметичный корпус УМ не должен превышать поперечный размер, равный 6,5 мм. Казалось бы, что заданным требованиям могут отвечать мощные СВЧ монолитные интегральные схемы (МИС). Однако, имеются два существенных ограничения:

- промышленный выпуск отечественных МИС отсутствует, зарубежные МИС дороги и труднодоступны из-за ограничительных мер;

- лучшие низковольтные GaAs МИС Ku диапазона, например, НМС 5879LS7 фирмы Analog Devices с Р_{вых} 5 Вт, К_у 28 дБ, КПД 22% в диапазоне частот 12-16 ГГц имеет размеры корпуса 7 x 7 мм, без корпусная МИС TGA 2514 фирмы TriQuint с Р_{вых} 6 Вт, К_у 24 дБ, КПД 28% в диапазоне частот 13-16 ГГц имеет размеры чипа 2,87 x 3,9 x 0,1 мм. В то же время цепи питания, необходимые для нормального функционирования МИС в 3-5 раз превышают поперечные размеры кристалла и применение МИС весьма проблематично при заданных размерах корпуса.

Тем не менее, нами получен большой опыт разработки УМ на гетероструктурных GaAs полевых транзисторах типа «Принц» производства АО «НПП «Исток» им. Шокина», в частности, при создании модуля М42229 («Героиня») с Р_{вых} не менее 8 Вт в диапазоне частот 15,8-16,4 ГГц [1]. Разработки, в которых применялись согласующие цепи на керамике с высокой диэлектрической проницаемостью, подробно представлены в работе [2]. Необходимо отметить специфику конструкции усилителя - продольные размеры его не столь критичны, как поперечные.

В докладе приведены характеристики усилительных каскадов и УМ в целом, описана конструкция, обеспечивающая необходимые электрические параметры и устойчивую работу усилителя.

Усилитель пятикаскадный, в 3-х каскадном предусилителе (ПУМ) с Р_{вых} не менее 500 мВт использованы транзисторы «Полёт», «Парад» и секция транзистора «Принц 4-50». В выходном 2-х каскадном усилителе (ВУМ) с Р_{вых} не менее 6 Вт использовались

транзисторы «Принц 2-70» и два «Принц 4-70» в схеме суммирования. Между ПУМ и ВУМ вставлен микрополосковый вентиль МПВ 15-6-3А КРПГ.468545.042ТУ. ПУМ и ВУМ заключены в отдельные металлокерамические корпуса, имеющие микрополосковые входы и выходы СВЧ мощности и вводы питания, перечисленные узлы напаяны на общее основание.

В связи с малыми поперечными размерами усилителя невозможно было изготовить качественный фильтр в цепях питания транзисторов и поначалу наблюдалось самовозбуждение каскадов, несмотря на то, что корпус представлял собой заперделный волновод. Возбуждение удалось устранить вводом полосовых фильтров между каскадами, а также вводом вентиль между ПУМ и ВУМ. Крышки УМ приклеивались к корпусам компаундом ТК8-А.

Усилительные каскады изготовлены на поликоровых подложках толщиной 0,5 мм (входной каскад) и 0,25 мм (промежуточный и выходной каскады). Для устранения самовозбуждения между промежуточным и выходным каскадом помещён полосовой фильтр, одновременно служащий развязкой по постоянному току. Транзисторы «Полёт» (Курс ТГ-5) и «Парад» (ЗП612 А-5) приклеивались к основанию корпуса токопроводящим клеем ЭЧЭ-С. С целью уменьшения индуктивности вводов транзистор «Парад» монтировался с помощью балочных выводов [3]. Секция транзистора «Принц 4-50» припаивалась к основанию с помощью золото-оловянной эвтектики.

Расчет ПУМ на основе транзисторов «Полет», «Парад» и ячейки транзистора «Принц 4-50» проводился с использованием модели большого сигнала. Экспериментальное значение $R_{вых}$ представлено на рисунке 1

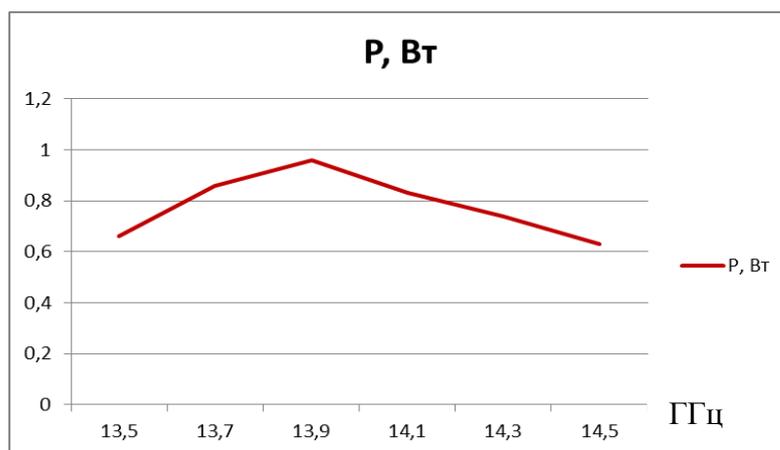


Рис. 1. Выходная мощность ПУМ

Габариты корпуса ПУМ 25 x 6,5 x 4,5 мм. На рис. 2 представлен внешний вид ПУМ.

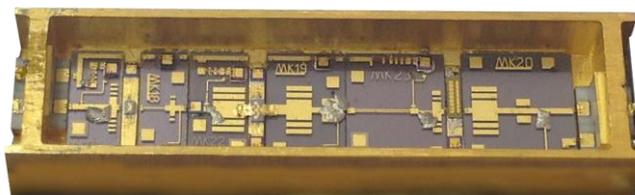


Рис. 2. Внешний вид ПУМ

Определяющим элементом УМ по электрическим характеристикам и габаритам является ВУМ.

В ВУМ применены гетероструктурные GaAs полевые четырёхсекционные транзисторы «Принц 2-70» (КРПГ.432152044 ГЧ) во входном каскаде и «Принц 4-70» (КРПГ.432153.014 ГЧ) в выходном каскаде. Рвых одной секции транзистора не менее 1,5 Вт на частоте 10 ГГц. В выходном каскаде мощность от входного транзистора делится и усиливается двумя параллельно включенными транзисторами.

Проектирование усилителя на транзисторах с большой шириной затвора представляет сложную задачу. Традиционные цепи согласования на общую нагрузку неприменимы из-за сильного влияния секций друг на друга и чрезвычайно малых входных и выходных импедансов транзистора. Для согласования секции транзистора «Принц 4-70» использовалась барий-самарий-титановая керамика (БСТ) с диэлектрической проницаемостью, равной 80.

При этом, необходимо учитывать длину пальцев структуры, взаимное влияние проволочных выводов транзистора, существенно влияющих на рабочую полосу частот и эффективность сложения мощности секций транзистора. Указанные особенности не позволили применить в выходном каскаде ВУМ транзистор «Принц 4-105», обеспечивающий мощность 8 Вт на частоте 10 ГГц. В литературе отмечено, что, например, для транзистора с восемью проволочными выводами на затворе и стоке (каким и является транзистор «Принц 4-70») полоса частот составляет 60% от полосы частот одной секции [4].

При проектировании ВУМ так же выполнялись расчётно-экспериментальные работы по созданию большесигнальной модели транзистора [5]. Разрабатывались методики определения электрических параметров одной секции транзистора, рассчитывались схемы согласования и суммирования полного транзистора.

Был проведен расчет характеристик последовательного соединения предвыходного и выходного каскадов ВУМ. Входная мощность была принята равной 500 мВт. Рабочая точка секции транзистора Принц 4-70: $U_d=8В$, $I_d=310мА$.

Экспериментальная зависимость выходной мощности от частоты при токе потребления 2,6 А и $R_{вх}=300 мВт$ представлена на рис. 3, внешний вид ВУМ показан на рис.4

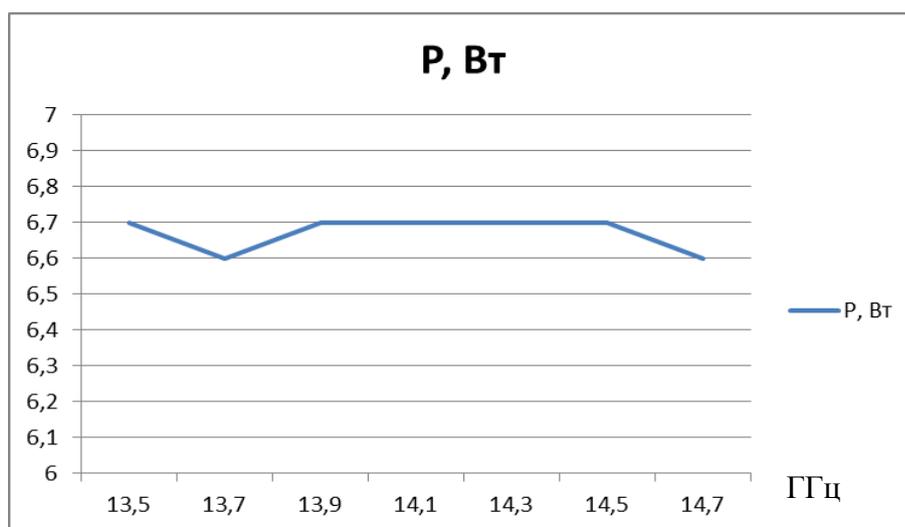


Рис. 3. Экспериментальная зависимость выходной мощности от частоты

