

КВАЗИМОНОЛИТНЫЙ ТРАНЗИСТОРНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ДИАПАЗОНА 8-18 ГГЦ С ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТЬЮ 2 ВТ

Гармаш С.В., Кищинский А.А., Радченко А.В.

ЗАО «Микроволновые системы»

Россия, 105120, Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, д.11

Тел.: +7(495) 917-21-03; e-mail: ar@mwsystems.ru; www.mwsystems.ru

Аннотация - В докладе изложены результаты разработки и экспериментального исследования квазимонолитного транзисторного усилителя диапазона 8-18 ГГц с выходной мощностью в линейном режиме более 2 Вт. Приведены экспериментальные характеристики изготовленных образцов усилителей, рассматриваются особенности их построения, конструкция и технология сборки.

I. Введение

В качестве альтернативы усилителям мощности, выполненным по монолитной технологии, могут рассматриваться гибридно-интегральные или квазимонолитные интегральные усилители, на основе псевдоморфных GaAs-транзисторов с высокой подвижностью электронов (p-HEMT).

Выходные усилительные каскады рассматриваемого в данной статье усилителя мощности выполнены по квазимонолитной технологии [1]. Они включают в себя кристаллы коммерчески-доступных дискретных p-HEMT транзисторов с требуемыми удельными параметрами и согласующе-трансформирующие цепи на подложках из полупроводникового арсенида галлия, на которых оптимальным образом расположены сосредоточенные и распределенные элементы.

II. Основная часть

Для получения выходной мощности более 2 Вт в диапазоне 8-18 ГГц был разработан балансный усилительный каскад с квадратурными мостами Ланге (ГИС-240) на основе GaAs p-HEMT транзисторов с грибовидным затвором 0.3×2400 мкм. Предварительный усилительный каскад с выходной мощностью более 1 Вт в диапазоне 8-18 ГГц (ГИС-120) был реализован по той же схеме, но на транзисторах с затвором 0.3×1200 мкм.

При расчете согласующих цепей для транзистора с затвором 0.3×2400 мкм использовалась разработанная для него нелинейная модель, параметры которой были получены обработкой результатов измерений S-параметров этих транзисторов, и измерений импульсных ВАХ. Методика определения параметров моделей описана в [2]. Параметры нелинейной модели для транзистора с шириной затвора 1200 мкм были получены методом масштабирования имеющейся модели транзистора с затвором 2400 мкм.

На рисунке 1 представлена фотография изготовленного квазимонолитного выходного балансного каскада. Входные и выходные согласующе-трансформирующие цепи транзисторов выполнены попарно на подложках из полупроводникового GaAs той же толщины (100 мкм), что и кристаллы транзисторов. Это снижает трудоемкость монтажа, упрощает конструкцию, а также позволяет минимизировать индуктивности выводов затвора. Для уменьшения влияния паразитных параметров включения мощных транзисторов и облегчения согласования,

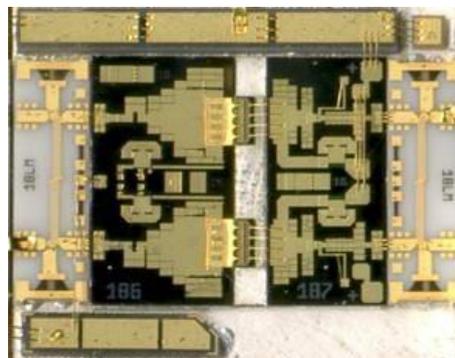


Рисунок 1. Выходной балансный каскад.

Figure 1. Output balanced QMIC amplifier chain

на затворных выводах вместо проволочных соединительных перемычек были применены специальные плоские золотые балочные выводы. Они изготавливаются по технологии, описанной в [3], и имеют толщину 8-12 мкм. Применение таких балочных выводов позволяет значительно уменьшить последовательную паразитную индуктивность соединений (особенно в коротковолновой части сантиметрового диапазона длин волн), а также обеспечить хорошую повторяемость монтажа цепей.

В балансной схеме квадратурные мосты Ланге выполнены на отдельных подложках из поликора толщиной 250 мкм, ширина зазора 12 мкм, толщина металлизации 5 мкм. Для упрощения монтажа мосты изготовлены с "воздушными" интегральными перемычками [4], фотография которых показана на рисунке 2. На рисунке 3 приведены расчетные и измеренные потери на деление/суммирование «встык» пары таких мостов. При измерениях не учитывались потери в коаксиальных переходах контактного устройства, составляющие от 0.5 до 0.8 дБ в исследуемом диапазоне. Расчет моста Ланге, а также согласующих цепей для транзисторов производился с помощью программ 3D-электродинамического моделирования.

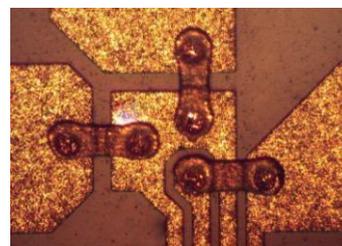


Рисунок 2. Интегральные перемычки мостов Ланге.

Figure 2. Lange coupler's integral interconnects

Основные измеренные и расчетные электрические параметры разработанных каскадов приведены в таблице 1. На рисунке 4 приведены результаты

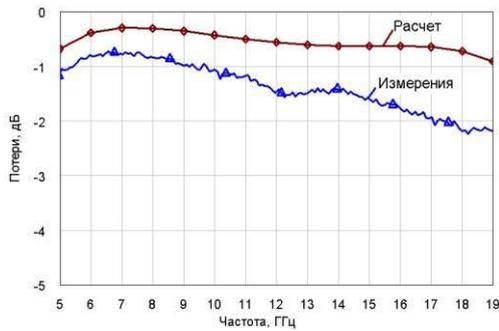


Рисунок 3. Потери на деление/суммирование квадратурных мостов Ланге.
Figure 3. Lange coupler's division-combining loss

измерений и расчета мощности насыщения первой опытной партии ГИС-240.

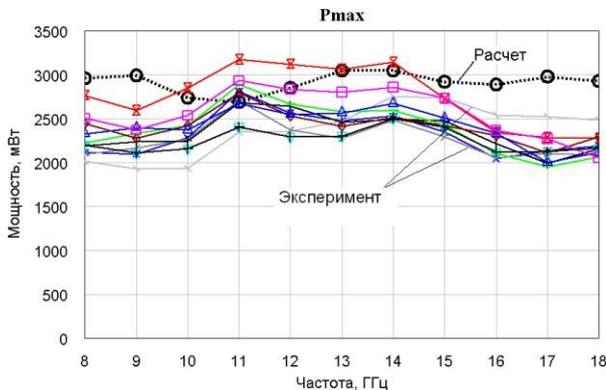


Рисунок 4. Мощность насыщения ГИС-240.
Figure 4. Saturated output power of QMIC-240

Таблица 1

Параметры	ГИС-120		ГИС-240	
	Расчет	Эксп.	Расчет	Эксп.
Выходная мощность насыщения, Вт	1,5 ÷ 1,7	1,3 ÷ 1,8	2,6 ÷ 3,1	1,9 ÷ 3,2
Выходная мощность при компрессии 1 дБ, Вт	1,2 ÷ 1,4	1,1 ÷ 1,6	2,0 ÷ 2,4	1,8 ÷ 2,6
Коэффициент усиления, дБ	7,8 ÷ 9,1	7 ÷ 11	7,5 ÷ 9	4,7 ÷ 8
Неравномерность АЧХ, дБ	< 2,3	< 3	< 2	< 3
КПД, %	25 - 35	20 - 27	19 - 28	17 - 23
Ток потребления, мА	< 700	< 700	< 1200	< 1200

На основе описанных квазимонолитных каскадов был разработан широкополосный усилитель, структурная схема которого показана на рисунке 5.



Рисунок 5. Структурная схема усилителя
Figure 5. Block diagram of the amplifier

Усилитель включает в себя:

- входной малошумящий усилительный каскад с низким уровнем собственных шумов (МШУ);
- балансный электрически управляемый аттенуатор на p-i-n диодах для плавной компенсации

температурного дрейфа коэффициента усиления в диапазоне температур от -60 до +70 °C и цифровой 5-разрядный аттенуатор (АТ);

- предварительный усилитель мощности, корректор АЧХ и ФЧХ усилительного тракта (ПУМ);
- предвыходной и выходной усилительные каскады, рассмотренные выше (ГИС-120 и ГИС-240);
- направленный детектор выходной мощности (НО);
- стабилизаторы питания, быстродействующий модулятор питания; буферные ТТЛ-логические элементы управления цифровым аттенуатором, схему управления аттенуатором термокомпенсации, устройство защиты (устройство питания и управления).

Разработанный усилитель имеет габариты 91 x 38 x 17 мм и массу не более 80 г. Коэффициент усиления в полосе частот 8-18 ГГц составляет от 34 до 43 дБ при неравномерности не более 6 дБ, выходная мощность 1,9 – 2,8 Вт. Ток потребления по цепи "+9В" не более 2,35 А. Фазовая неидентичность не более ±25 градусов.

III. Заключение

Разработан транзисторный усилитель мощности диапазона 8-18 ГГц с выходной мощностью 2 Вт, показана эффективность применения квазимонолитной технологии для построения сверхширокополосных усилителей в верхней части см-диапазона.

Список литературы

1. Гармаш С.В. и др. Применение технологии пассивных схем на арсениде галлия в изготовлении широкополосных усилителей мощности СВЧ. Материалы 9 Крымской микроволновой конференции, Севастополь, Вебер, 1999, стр.5-8.
2. Кишинский А.А. и др. Комплекс программных средств для быстрого получения нелинейных моделей ПТШ на основе результатов измерений S-параметров и импульсных вольт-амперных характеристик. Материалы 8-й Международной Крымской конференции "СВЧ техника и телекоммуникационные технологии" 1998г, стр.362-365.
3. Иовдальский В.А., Пчелин В.А., Моргунов В.Г. Совершенствование технологии соединений ГИС СВЧ. Материалы IV Международной конференции. СевКавГТУ, Ставрополь, 2002.
4. American Technical Ceramics Corp. Thin-Film Products. Air Bridge. http://www.atceramics.com/products/air_bridge.asp