



РАЗРАБОТКА УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ Q-ДИАПАЗОНА

DEVELOPING Q-BAND POWER AMPLIFIER

ДОВБЫШ ИВАН АНАТОЛЬЕВИЧ

ivandov@yandex.ru

ШОКИРОВ ВЛАДИСЛАВ АНДРЕЕВИЧ

wl-shok@mail.ru

АО «НПП «Радиосвязь»
660021, г. Красноярск, ул. Декабристов, 19

DOVBYSH IVAN A.

ivandov@yandex.ru

SHOKIROV VLADISLAV A.

wl-shok@mail.ru

“SPA “Radiosvyaz” JSC
19 Dekabristov St., Krasnoyarsk, 660021

Построена модель модульного 10-Вт усилителя мощности в Q-диапазоне на коммерчески доступных GaAs-микросхемах с помощью волноводного делителя/сумматора мощности 1b8 с эффективностью сложения 76 %, конструктивно выполненного в виде фрезерованных каналов в металлическом основании. Определены требования к монтажу и сборке компонентов усилителя. В качестве примера был разработан, изготовлен и измерен макет усилителя мощности.

Ключевые слова: усилитель мощности; миллиметровый диапазон; Q-диапазон; волноводный делитель мощности; сумматор мощности.

The paper presents a Q-band 10W power amplifier based on the 1in8 power divider/combiner with 76% efficiency and commercial availability GaAs die chips. The construction requirements for power amplifier assembly have been determined. As an example, a power amplifier has been designed, fabricated and measured.

Keywords: power amplifier; millimeter-wave band; Q-band; waveguide power splitter; power combiner.

Усилители мощности миллиметрового диапазона обеспечивают высокоскоростную передачу данных в составе систем спутниковой связи и находят широкое применение в различных приложениях [1].

Использование современных интегральных микросхем — усилителей мощности, выполненных по технологии GaAs и GaN, позволяет твердотельным усилителям мощности составить конкуренцию усилителям на лампах бегущей волны, т. к. имеют уменьшенные габаритные размеры и среднее время наработки на отказ [2].

Мощность современных чипов усилителей Q-диапазона ограничена и не превышает 2,5 Вт для GaAs-технологии или 8–10 Вт для GaN-технологии.

Интеграция чипов мм-диапазона в микрополосковый тракт СВЧ требует высокой точности по изготовлению, установке и монтажу компонентов, а также автоматизированной разварки проволочных перемычек. Путем 3D-моделирования и экспериментов на макетах было установлено, что для получения удовлетворительного значения КСВн (не более 1,5) необходимо одновременно выполнять ряд следующих рекомендаций, указанных в табл. 1.

Для уменьшения влияния толщины платы в месте стыка и зазора между платами при стыковке чипа и микрополосковой

линии передачи необходимо выполнять переход с компланарной линии на микрополосковую линию передачи, а также для уменьшения общей индуктивности перехода удваивать или утраивать количество центральных перемычек.

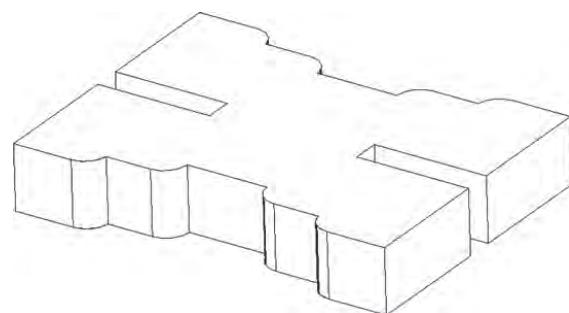


Рис. 1. 3D-модель квадратурного волноводного щелевого моста

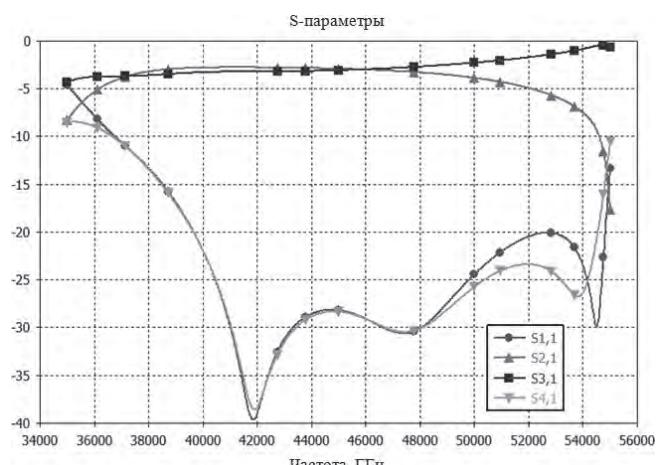


Рис. 2. Расчетные S-параметры квадратурного волноводного щелевого моста

Таблица 1. Допуски на интеграцию чипа в тракт СВЧ

Описание	Требование, мкм
1. Зазор между платами	50 ± 20
2. Разновысотность между платами	± 20
3. Несоосность примыкающих микрополосков относительно центра линии	± 20
4. Высота проволочных перемычек, не более	50
5. Длина проволочных перемычек между сварными точками, не более	150



Рис. 3. Внешний вид макета усилителя: а) вид сверху, б) вид снизу

Материал диэлектрика для мм-диапазона должен быть выбран из компромисса между толщиной, значением диэлектрической проницаемости, диэлектрическими и омическими потерями, механической пригодностью и затратами на изготовление микросборок. В настоящей работе для изготовления макетов выбран материал Rogers 4350B толщиной 0,254 мм ввиду возможности изготовления плат по малозатратной PCB-технологии.

Для разработки усилителя в данной работе выбран чип CGY2136UH/C1 (ОММС, Франция), имеющий выходную мощность в непрерывном режиме 2,2 Вт.

Выбор оптимального метода сложения мощности позволяет преодолеть ограничение мощности отдельного чипа. Эффективность сложения будет определяться потерями в отдельном компоненте сумматора/делителя. Эффективность сумматора/делителя мощности зависит от числа стадий сложения и потерь в каждой стадии [3]. Например, для получения эффективности сложения в 90 % при количестве стадий сложения, равной восьми, необходимо иметь потери в каждом сумматоре не более 0,15 дБ.

Для реализации 10-Вт усилителя мощности была выбрана схема делителя/сумматора мощности 1в8 на основе квадратурного волноводного щелевого моста (рис. 1, 2) [4]. Использование конструкции сумматора/делителя на волноводных щелевых мостах позволяет его изготовить путем фрезерования без необходимости введения подстроек винтов и регулировки после изготовления (при допусках на изготовление не более ± 10 мкм).

Для реализации перехода с волновода на чип используются угловые волноводно-полосковые переходы по входу и выходу, представляющие собой двустороннюю диэлектрическую плату с отрезком микрополосковой линии, которая монтируется на торец волновода [5]. Переход закрывается проводящей крышкой высотой с четверть длины волны. Таким образом, образуется модуль усилителя мощности, который устанавливается посредством винтов на волноводные окна входного/выходного сумматора/делителя мощности.

На основе данного подхода был изготовлен макет усилителя мощности (рис. 3). В результате измерений получен КПД

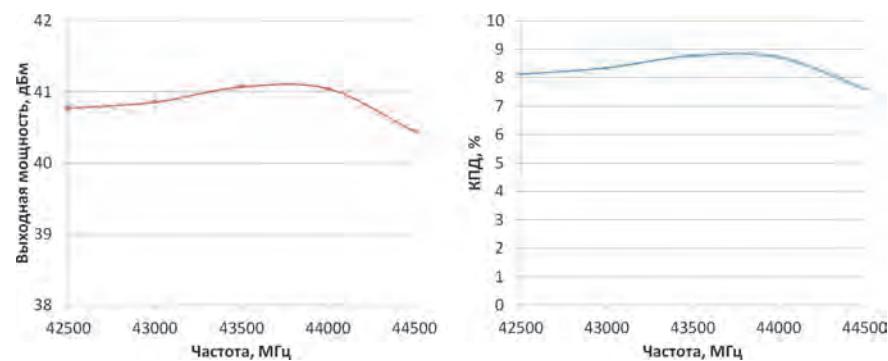


Рис. 4. Графики выходной мощности и КПД в режиме насыщения в зависимости от частоты

от 5,5–8 % при выходной мощности 9,8–13,3 Вт (непрерывный режим) в диапазоне частот 42,5–44,5 ГГц (рис. 4). Эффективность сложения при этом составила 76 %, что связано с дополнительными потерями из-за шероховатости токонесущей поверхности фрезерованных волноводов.

Авторы считают, что в данной работе новой является модель «квазипланарной» компоновки усилителя на основе модульной конструкции. Использование такого подхода позволяет интегрировать любую микросхему усилителя мощности без изменения базового блока сложения/деления мощности, заменив только устанавливаемые модули. Также появляется возможность простой герметизации конструкции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Komiak J. *Microwave and Millimeter Wave Power Amplifiers: Technology, Applications, Benchmarks, Future Trends* // 2016 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology (RFIT), Taipei, Taiwan.
2. Courtney P. et al. High Efficiency 80W X-Band Power Amplifier using Coaxial Waveguide Spatial Power.
3. Combining Technique // 2010 IEEE MTT-S International Microwave Symposium.
4. Bahl Inder. *Fundamentals of RF and Microwave Transistor Amplifiers*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2009. 671 p.
5. Лебедев И. В. Техника и приборы СВЧ / Лебедев И. В.; под ред. академика Девяткова Н.Д. — М.: Высш. школа, 1970. — 440 с.: ил.
6. Гвоздев В. И., Объемные интегральные схемы СВЧ / Гвоздев В. И., Нефедов Е. И. — Москва: Наука, 1985. — 255 с.