

Широкополосный усилитель мощности S-диапазона с выходной мощностью 300 Вт в непрерывном режиме

Кищинский А.А., Суханов Д.А.

АО «Микроволновые системы»

г. Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, 11, 105120, Российская Федерация

ak@mwsystems.ru, sda@mwsystems.ru

Аннотация: В представляемой работе обобщаются результаты разработки и исследования параметров экспериментального образца усилителя мощности S-диапазона с октавной полосой частот и выходной мощностью 300-400 Вт в режиме усиления непрерывных колебаний. Усилитель построен по схеме 8-канального суммирования мощностей гибридно-интегральных усилительных модулей, выполненных на основе нитрид-галлиевых транзисторов в виде кристаллов. Каждый модуль имеет в нормальных климатических условиях выходную мощность 43-50 Вт при коэффициенте усиления 23 дБ и КПД по добавленной мощности 35-40%.

Ключевые слова: сверхвысокие частоты, транзисторный усилитель мощности, нитрид галлия, суммирование мощностей.

1. Введение

Освоение промышленного выпуска высоконадежных коммерчески-доступных GaN-транзисторов позволило повысить выходную мощность широкополосных усилителей мощности на порядок при разумной технической сложности изделия. Ниже рассматривается конструкция макета усилителя мощности диапазона 2-4 ГГц с октавной полосой частот и выходной мощностью 300-400 Вт в непрерывном режиме, построенного на основе схемы восьмиканального квадратурного суммирования и обсуждаются технические решения элементов его конструкции.

2. Схема и конструкция макета усилителя

На рисунке 1 показана структурная схема разработанного макета усилителя. Усилитель построен на основе восьми гибридно-интегральных усилительных модулей M2450B, разработанных авторами для применения в качестве базового элемента мощных усилителей диапазона 2-4 ГГц нового поколения. Каждый модуль содержит два балансных усилительных

каскада на кристаллах GaN-транзисторов с длиной затвора 0,5 мкм и шириной затвора 2100 мкм (в первом каскаде) и 7000 мкм (во втором каскаде). Транзисторы работают при напряжении стока 27 В. В качестве квадратурных мостов применены свернутые 3-дБ направленные ответвители [1] на подложках из поликора толщиной 0,5 мм, изготовленных по тонкопленочной технологии с увеличенной толщиной металлизации (20 мкм). Транзисторы установлены непосредственно на медное основание модуля, керамические платы припаяны к основанию через металлические прокладки из псевдосплава медь-молибден.

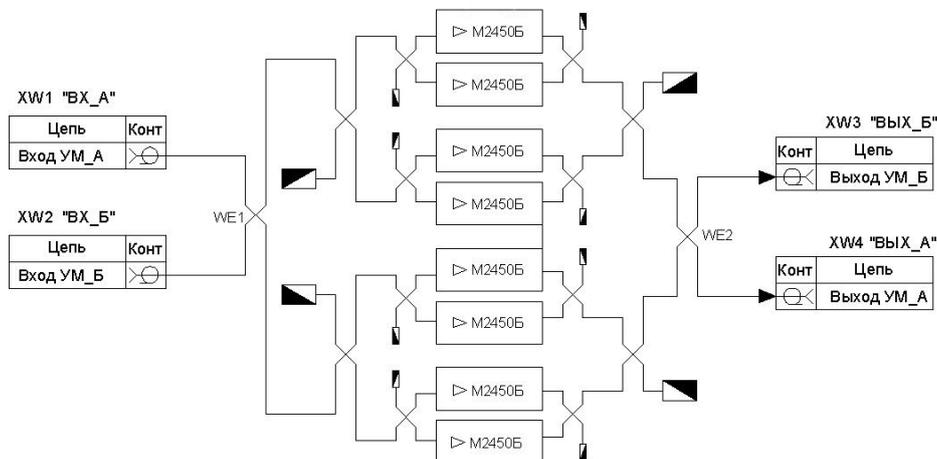


Рис 1. Структурная схема усилителя мощности

Модули, установленные в макет, имели следующие основные параметры в рабочем диапазоне частот от 2 до 4 ГГц в непрерывном режиме:

Линейное усиление	29 – 31 дБ
Выходная мощность	43 – 50 Вт
КПД	35 – 40 %
Рабочий ток стока	4,3 – 4,9 А
Перегрев рабочей зоны кристалла GaN-транзистора	110 – 130 градусов

(расчет при $R_{th}=4,8$ град/Вт)

Усилитель имеет два входа СВЧ сигнала (XW1, XW2) и два выхода (XW3, XW4) для исследования его параметров при коммутации сигнала в две независимые нагрузки (антенны).

Конструкция макета усилителя показана на рисунке 2 (экранирующие элементы сняты). Модули М2450Б установлены в отдельных экранированных отсеках алюминиевого корпуса и закреплены винтами. С обратной стороны корпуса закреплен радиатор жидкостного охлаждения.

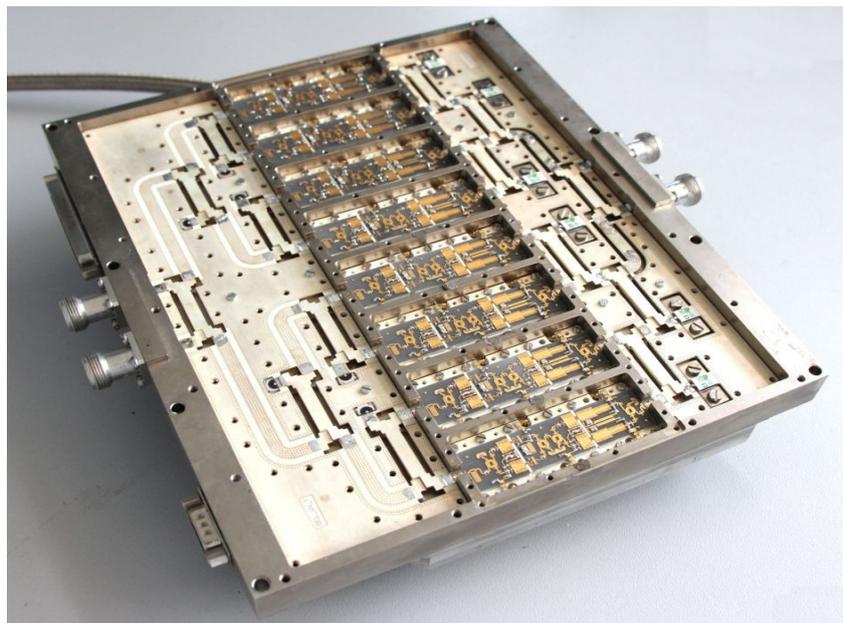


Рис 2. Общий вид макета усилителя

Входной сигнал с уровнем 3-5 Вт делится на 8 каналов при помощи квадратурных 3-дБ мостов, выполненных на основе секций с лицевой связью воздушной симметричной полосковой линии. Идея конструкции ответвителя заимствована из работы [2].

В качестве линии передачи была предложена и экспериментально отработана линия, конструкция которой показана на рисунке 3. Линия передачи формируется на двух сторонах диэлектрической подложки по стандартной печатной технологии с толщиной медной металлизации 70 мкм. Толщина диэлектрика (в сумме с двойной толщиной металлизации) выбирается равной зазору в секции лицевой связи квадратурного ответвителя, и задает величину зазора при монтаже пластин ответвителя. Металлизация с обеих сторон платы соединена металлизированными переходными отверстиями.

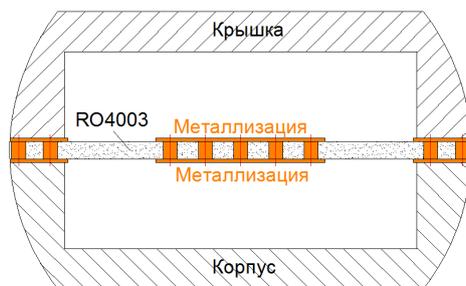


Рис 3. Разрез конструкции линии передачи мощного СВЧ сигнала

Плата зажимается между корпусом и экранирующей крышкой, образуя симметричную линию. Стабильность диэлектрической постоянной диэлектрика значения не имеет, электрическое поле в диэлектрике практически отсутствует. Предложенная конструкция технологична и обладает малыми вносимыми потерями (измеренные на макетах значения погонных потерь на частоте 4 ГГц составили 0,07 дБ на 10 см длины. Это важно, поскольку в выходном тракте распространяется сигнал с мощностью более 300 Вт. Для улучшения теплоотвода в выходном тракте между корпусом и нижней металлизацией дополнительно установлены 4 столбика из нитрида алюминия сечением 2 кв.мм. припаянные с двух сторон.

3. Параметры макета усилителя

Одним из важных параметров является «КПД суммирования» - отношение выходной мощности усилителя к арифметической сумме выходных мощностей суммируемых элементов. Основные факторы, снижающие КПД суммирования в широкой полосе частот:

- потери в выходном сумматоре (0,5 дБ);
- фазовая неидентичность модулей М2450Б (10-15 градусов);
- неидеальные КСВН входов сумматора.

Полученный на макете КПД суммирования в октавной полосе составил не менее 80%. Разница усредненных коэффициентов усиления в линейном режиме установленных модулей М2450Б и полученного коэффициента усиления усилителя составила в октавной полосе от 1,2 до 1,5 дБ.

Выходная мощность в режиме насыщения (компрессия усиления 8-9 дБ) составила 320-420 Вт при напряжении питания 27 В, рабочий ток усилителя в режиме насыщения составил от 32 до 39 А, КПД усилителя в

режиме насыщения - от 30 до 38%. При компрессии усиления 4 дБ выходная мощность составляет около 120 Вт, рабочий ток 19-21 А, КПД от 20 до 24%. Коммутация входов XW1 и XW2 позволяет направить выходную мощность на выход XW4 или XW3, соответственно. При этом измеренные отклонения не превышают 3-4%. В изолированный выход проникает сигнал с уровнем от -17 до -35 дБ относительно мощности на рабочем выходе.

Перегрев в центральной зоне установки модулей при расходе жидкости 3 л/мин составил 8 градусов. В качестве термоинтерфейса между корпусом усилителя и радиатором применялась термопаста ARCTIC SILVER 5 с теплопроводностью 8,7 Вт/м*К. Перегрев линий передачи и пластин сумматора оценивался по характеру плавления и изменения цвета термокарандашей с различными точками плавления, которыми последовательно маркировались элементы. Максимальный перегрев в точке соединения выходного разъема составил около 75 градусов.

4. Заключение

В октавной полосе частот S-диапазона Реализован гибридно-интегральный усилительный модуль с КПД 35-40% и выходной мощностью 43 – 50 Вт. Показана возможность 8-канального квадратурного суммирования с КПД суммирования более 80%, при этом КСВН входа и выхода усилителя не превышает 1,5, выходная мощность в непрерывном режиме составила 320-420 Вт, КПД 30-38%. При этих параметрах перегрев активной структуры кристалла GaN-транзистора составляет 110 – 130 градусов, что требует особого внимания к минимизации перегрева конструкции (жидкостное охлаждение, термоинтерфейс, медные основания модулей). Заметную роль играет нагрев элементов выходного тракта, что требует также внимания к его конструкции (элементы теплосъема, выходной соединитель, минимизация потерь в тракте).

Список литературы

[1] Кишинский А.А., Радченко В.В., Радченко А.В. Широкополосные квадратурные делители/сумматоры мощности для применения в усилителях СВЧ мощности // Материалы 19-й Международной Крымской конференции “СВЧ техника и телекоммуникационные технологии”. 2013. том 1. стр.6-10.

[2] I.Schmale. Synthesis of high-power broadside-coupled thick striplines including narrow lateral shielding // Proceedings of the 36th European Microwave Conference. 2006. p.p. 21-24.