

# Широкополосный усилительный модуль в диапазоне 2-4 ГГц с выходной мощностью 35 Вт

Зимин Р.А., Кищинский А.А., Суханов Д.А.

АО «Микроволновые системы»

г. Москва, 105120, Российская Федерация, ул. Нижняя Сыромятническая, 11  
zimmin@mwsystems.ru, ak@mwsystems.ru, sda@mwsystems.ru

**Аннотация:** В представляемой работе обобщаются результаты разработки и исследования параметров универсального широкополосного усилительного модуля диапазона 2-4 ГГц с выходной мощностью 35-50Вт в режиме усиления непрерывных колебаний при коэффициенте усиления 45 дБ. Применение нитрид-галлиевых (GaN) транзисторов позволило одновременно в 1,5-2 раза улучшить все основные параметры усилителя (габариты, массу, КПД, выходную мощность) по сравнению с выпускавшимся ранее аналогичным прибором на арсенид-галлиевых (GaAs) транзисторах.

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

## 1. Введение

Освоение промышленного выпуска высоконадежных коммерчески доступных GaN транзисторов позволило значительно улучшить комплекс параметров широкополосных усилителей мощности при уменьшении технической сложности и себестоимости изделий. Ниже рассматривается конструкция современного усилителя мощности диапазона 2-4 ГГц с выходной мощностью более 35 Вт в непрерывном режиме, разработанного авторами, и приводится подробное сравнение его параметров с параметрами разработанного ранее и серийно выпускаемого усилителя на основе GaAs транзисторов.

## 2. Схема и конструкция усилителя

На рисунке 1 показана структурная схема разработанного усилителя (УТМ35). Входной сигнал подается на цифровой управляемый 5-разрядный дискретный аттенюатор с минимальным разрядом 0,5 дБ. Управление аттенюатором осуществляется от аппаратуры потребителя по параллельному ТТЛ/КМОП интерфейсу. Аттенюатор может использовать-

ся для управления коэффициентом усиления модуля, калибровки тракта передатчика, или иных целей, необходимых пользователю.

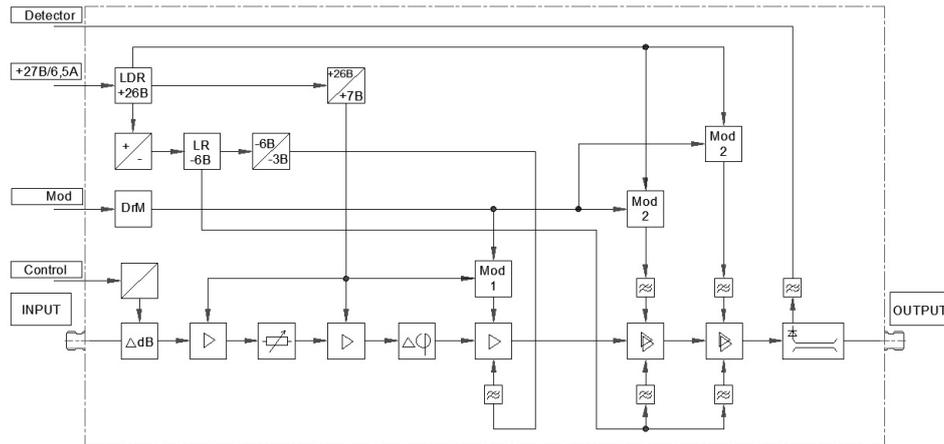


Рис 1. Структурная схема усилителя мощности УТМ35

Далее сигнал усиливается двухкаскадным предварительным усилителем на интегральных схемах, между которыми включен толстопленочный термозависимый аттенюатор серии TVA, выпускаемый фирмой EMC-RF Labs. Вносимое затухание этого аттенюатора уменьшается с ростом температуры конструкции, обеспечивая частичную компенсацию температурного дрейфа коэффициента усиления усилительного тракта. Далее сигнал усиливается однокаскадным усилителем на GaAs полевом транзисторе с длиной затвора 0,5 мкм и шириной затвора 2400 мкм, и подается на гибридно-интегральный усилительный модуль M2450Б, разработанный авторами для применения в качестве базового элемента мощных усилителей диапазона 2-4 ГГц нового поколения (выходной и предвыходной каскады).

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 26 В. В качестве квадратурных мостов применены свернутые 3-дБ направленные ответвители [1].

Для контроля выходной мощности и калибровки тракта передатчика, при необходимости, на выходе усилителя установлен направленный детектор, обеспечивающий уровень выходного напряжения 0,6-1,2 В при

выходной мощности усилителя 35 Вт, фронт и спад видеосигнала на нагрузке 1 кОм, подключенной к выходу детектора не превышают 0,5 мкс.

Конструкция СВЧ части усилителя показана на рисунке 2, описанные выше функциональные устройства реализованы в виде трех гибридно-интегральных узлов, установленных в отдельных экранированных отсеках алюминиевого корпуса и закрепленных винтами. Напряжения управления и питания подаются в СВЧ отсек через герметичные вводы и фильтры помех.

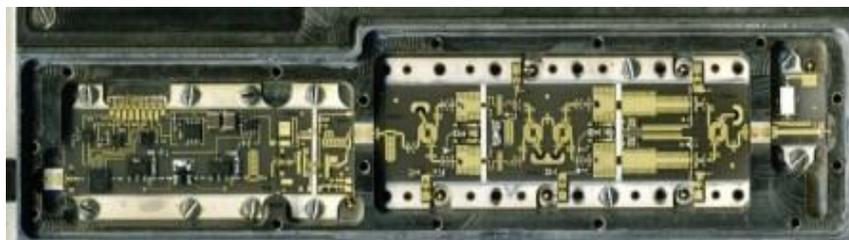


Рис 2. Общий вид СВЧ отсека усилителя

В отдельном отсеке корпуса (на рисунке 2 не показан) размещены устройства питания и управления, необходимые для работы усилителя. К ним относятся (см. рис.1):

- линейный стабилизатор силового питания GaN транзисторов выходного каскада (26В), защищающий усилитель от перепадов, нестабильностей и помех источника питания;

- импульсные неизолированные преобразователи напряжения, формирующие напряжения питания для усилительных каскадов на GaAs транзисторах (7В) и необходимые напряжения смещения (-6В и -3В);

- модуляторы питания, управляемые высокоскоростным драйвером, которые используются для быстрого (фронт импульса 0,2 мкс, задержка импульса 0,3 мкс) выключения и выключения силового питания СВЧ транзисторов при использовании усилителя в импульсном режиме или бланкирования передатчика в режиме приема аппаратуры, при этом коэффициент передачи усилителя уменьшается на 80 дБ.

Общий вид разработанного усилителя показан на рисунке 3, там же для сравнения габаритов показан аналогичный усилитель мощности РМ24-С8, более 10 лет выпускаемый АО "Микроволновые системы", и построенный на основе GaAs транзисторов в выходном каскаде.



Рис 3. Сравнение габаритов разработанного и серийно-выпускаемого усилителей

### 3. Параметры усилителя

Одним из важных для аппаратуры параметров является «Аппаратурный КПД» — отношение минимально-гарантированной выходной мощности усилителя к максимально-гарантированной мощности потребления в рабочем диапазоне частот, температур и динамическом диапазоне входных сигналов. В отличие от классического определения электронного КПД, который определяется на каждой частоте, температуре и входной мощности, аппаратурный КПД является интегральной оценкой, включающей много параметров и свойств усилителя (частотная неравномерность выходной мощности, рост тока при перегрузке входным сигналом и др.). Для широкополосных приборов эти два определения КПД могут существенно расходиться, в том числе — усилитель с лучшим электронным КПД может обладать худшим аппаратурным КПД, и наоборот.

Основные параметры разработанного усилителя УТМ35, важные для его применения в аппаратуре, приведены в таблице 1. Там же, для сравнения, приведены аналогичные параметры серийного усилителя РМ24-С8. Для обоих приборов параметры взяты из технических условий и соответствуют гарантированным границам. Видно, что по всем основным показателям новый усилитель, построенный на GaN транзисторах, опережает аналог, построенный на GaAs транзисторах, в 1,5-2 раза.

В части параметров линейного режима — коэффициента усиления (43-47 дБ), неравномерности АЧХ (3 дБ), температурного дрейфа усиле-

ния (4 дБ), КСВН входа и выхода (менее 2,0) — усилители практически идентичны.

Табл.1 Сравнение параметров усилителей УТМ35 и РМ24-С8

Параметр, ед. изм	Значение		Улучшение
	УТМ35	РМ24-С8	
Максимальная мощность потребления, Вт	162	161,5	равны
Минимальная выходная мощность в режиме насыщения, Вт	35	20	в 1,75 раза
Электронный КПД в режиме насыщения, %	30 - 40	15-18	в 2 раза
Аппаратурный КПД в режиме насыщения, %	21,6	12,4	в 1,74 раза
Типовая мощность рассеяния в режиме насыщения, Вт	110	130	в 1,18 раза
Объем корпуса, см <sup>3</sup>	203	372	в 1,83 раза
Масса, кг	0,6	0,89	в 1,48 раза
Себестоимость	182	278	в 1,53 раза

#### 4. Заключение

Разработан широкополосный усилитель на GaN транзисторах, в котором в октавной полосе частот реализован электронный КПД 30-40% и «аппаратурный КПД» более 21%, что вдвое превышает аналогичные показатели, достигнутые для усилительных модулей близкой мощности на GaAs транзисторах.

Усилитель имеет необходимые для эксплуатации в аппаратуре сервисные функции, а именно: однополярное питание от сети 27В; цифровое 5-разрядное управление коэффициентом усиления; встроенный быстродействующий (0,5 мкс) модулятор силового питания; схему термокомпенсации коэффициента усиления, детектор огибающей выходного сигнала. При этом, из-за существенного упрощения конструкции СВЧ тракта, себестоимость производства прибора также существенно уменьшилась.

#### 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.