

**И.В. Семейкин, С.В. Грищенко, В.А. Кожевников,
П.Л. Куршев**

ФГУП "Научно-исследовательский институт электронной техники"

Миниатюрный многокристальный внутрисогласованный усилитель мощности

В статье рассматриваются схемотехнические и конструктивные особенности миниатюрного многокристального внутрисогласованного усилителя с выходной мощностью 10 Вт в полосе частот 2,7-3,1 ГГц.

Ключевые слова: усилитель мощности, СВЧ LDMOS транзистор

В усилительных трактах активных фазированных антенных решётках широко применяются мощные СВЧ транзисторы, уровень выходной мощности которых обычно не превышает 100 Вт в S-диапазоне [1]. Входной и выходной импеданс типового дискретного транзистора рассматриваемого класса составляет единицы Ом. Поэтому для согласования с 50-омным трактом необходимо проектировать внешние входные и выходные цепи согласования. Такая трансформация необходима для согласованного включения усилителя мощности с другими высокочастотными компонентами системы [2].

Потребность в оперативном решении схемотехнических задач при проектировании перспективных радиотехнических средств вызвала появление на рынке миниатюрных многокристальных внутрисогласованных усилителей мощности (УМ). Главное их достоинство состоит в наличии внутренних входных и выходных согласующих цепей, обеспечивающих согласование с 50-омным трактом в заданной полосе частот. Другое важное достоинство заключается в использовании стандартных герметизированных транзисторных корпусов, что позволяет реализовать достаточно малые габаритные размеры усилителей мощности.

Таким образом, разработка миниатюрных усилителей наряду с производством самых современных дискретных транзисторов стала самостоятельным направлением СВЧ приборостроения обеспечивающим создание перспективных систем в области радиолокации и связи.

Перед разработчиками Воронежского НИИ электронной техники была поставлена задача разработки миниатюрного усилителя мощности с выходной мощностью 10 Вт в полосе частот 2,7-3,1 ГГц при напряжении питания 36 В с коэффициентом усиления по мощности более 10 дБ. При этом, конструктивно УМ должен быть выполнен в стандартном транзисторном корпусе типа КТ-57.

Для разработки миниатюрного усилителя были использованы современные лицензионные системы автоматического проектирования Microwave Office, ISE TCAD. Применение современного аппаратно-программного комплекса и тесное взаимодействие разработчиков транзисторов, схемотехников и технологов в рамках единого конструкторско-технологического структурного подразделения позволило сократить до минимума время проектирования усилителя мощности.

Создание миниатюрного усилителя с заданными характеристиками, прежде всего, потребовало разработки LDMOS транзисторного кристалла с выходной мощностью 10 Вт при напряжении питания 36 В.

Разработка конструкции и технологии транзисторной структуры потребовала решения следующих задач:

- выбор исходных эпитаксиальных структур;
- расчет конструкции и топологии транзисторных кристаллов;
- выбор оптимального соотношения диффузионных слоев;
- определение параметров диэлектрических и металлических слоев.

В результате выполненных исследований был создан кристалл LDMOS транзисторной структуры. Основные электрические параметры разработанного транзисторного кристалла приведены в табл. 1.

Таблица 1

Наименование параметра	Значение
Крутизна характеристики S , А/В ($U_{си} = 10$ В, $I_c = 0,7$ А),	0,4
Входная емкость $C_{11и}$, пФ ($U_{зи} = 0$, $U_{си} = 36$ В, $f = 1$ МГц)	20
Выходная емкость $C_{22и}$, пФ ($U_{зи} = 0$, $U_{си} = 36$ В, $f = 1$ МГц)	9
Проходная емкость $C_{12и}$, пФ ($U_{зи} = 0$, $U_{си} = 36$ В, $f = 1$ МГц)	0,7
Пороговое напряжение $U_{зи,пор}$, В ($I_c = 30$ мА, $U_{си} = 10$ В)	3
Сопротивление сток-исток в открытом состоянии $R_{си,отк}$, Ом	1,4
Максимально допустимый постоянный ток стока $I_{c,макс}$, А ($U_{зи} = 12$ В, $U_{си} = 8$ В)	2,5
Максимально допустимая постоянная рассеиваемая мощность полевого транзистора P_{max} , Вт ($T_k = 40$ °С)	30
Пробивное напряжение затвора $U_{зпроб}$, В	–0,5 В 15 В
Максимально допустимое напряжение сток-исток $U_{си,макс}$, В ($U_{зи} = 0$, $I_{c,отс} = 0,5$ мА)	65,0

Далее была разработана принципиальная электрическая схема усилителя мощности (рис. 1). Транзисторный кристалл VT1 подключен к входным (L1, C1, L2, C2) и выходным (C3, L3, L4, C4) согласующим LC-цепям. Конструктивно индуктивности представляют собой набор токоведущих выводов определенной длины из золотой проволоки. Элементы большой ёмкости ($C \geq 30$ пФ) выполнены на основе кремниевых кристаллов МОП-структур. В остальных случаях используются керамические конденсаторы.

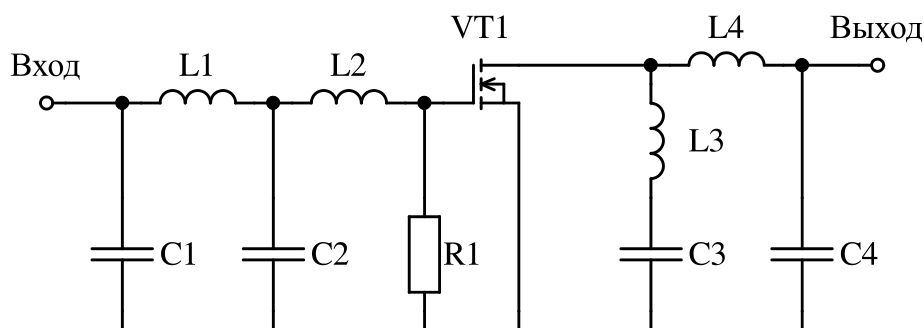


Рис. 1.

Встроенный в корпус УМ резистор R1 является составной частью делителя цепи смещения полевого транзистора VT1. Этот резистор с одной стороны позволяет

упростить схему установки тока покоя УМ и привести к минимуму паразитные реактивности в цепях смещения, с другой — выполняет функцию защиты подзатворного диэлектрика транзистора VT1 от электростатического разряда.

Данная конфигурация согласующих цепей, как показали исследования, является наиболее оптимальной. В этом случае удастся одновременно обеспечивать электрические и конструктивные характеристики изделия, предъявляемые в техническом задании.

Оптимизация электрической схемы миниатюрного УМ проведена в среде Microwave Office. Модель схемы УМ, используемая для анализа в программе Microwave Office, показана на рис. 2.

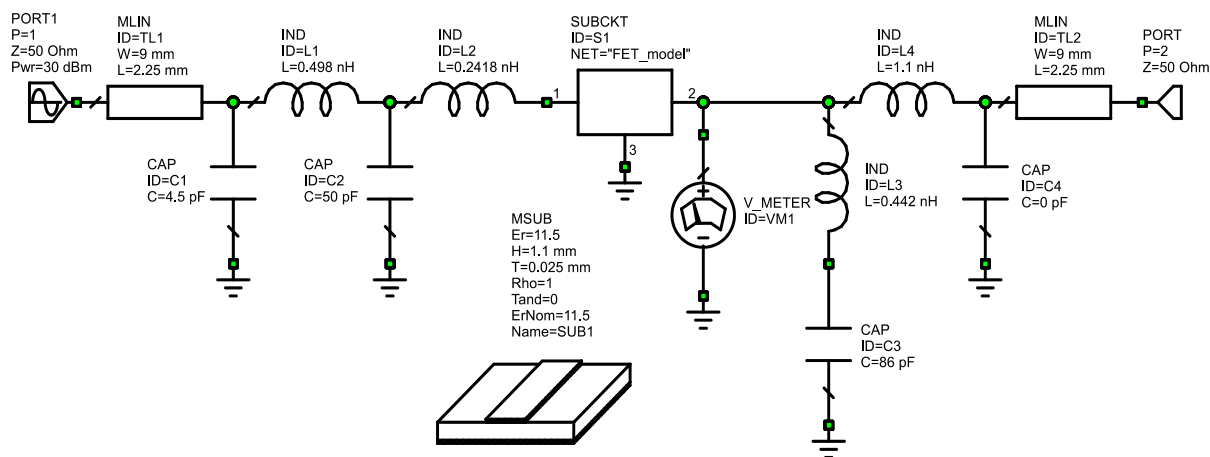


Рис. 2.

Необходимо отметить, что модель учитывает влияние емкостных и индуктивных составляющих входных и выходных контактных площадок используемого транзисторного корпуса КТ-57. Высокочастотные свойства этих площадок учитываются микрополосковыми линиями TL1 и TL2, соответственно.

Целями оптимизации модели УМ являлись:

- реализация максимального значения коэффициента усиления по мощности во всей рабочей полосе при относительно малой неравномерности его частотной характеристики;

- соблюдение условий оптимальной нагрузки стока, выбор которой с одной стороны ограничен областью безопасной работы транзисторного кристалла, с другой — величиной напряжения питания;

- входной импеданс усилителя должен быть близким к активному сопротивлению 50 Ом во всей области рабочих частот.

На рис. 3 показаны частотные зависимости S-параметров, полученные после окончательной оптимизации схемы УМ. Области минимальных и максимальных значений $|S_{11}|$ и $|S_{21}|$ соответственно лежат в заданной рабочей полосе частот 2.7 ÷ 3.1 ГГц, что свидетельствует об оптимальной настройке входных и выходных согласующих цепей УМ.

На рис. 4 представлена частотная характеристика выходной мощности усилителя, рассчитанная при линейном анализе его схемы в режиме постоянной входной

мощности $P_{\text{вх}} = 1$ Вт. Из представленных данных можно сделать вывод, что усилитель обеспечивает выходную мощность 10 Вт при коэффициенте усиления по мощности не менее 10 дБ.

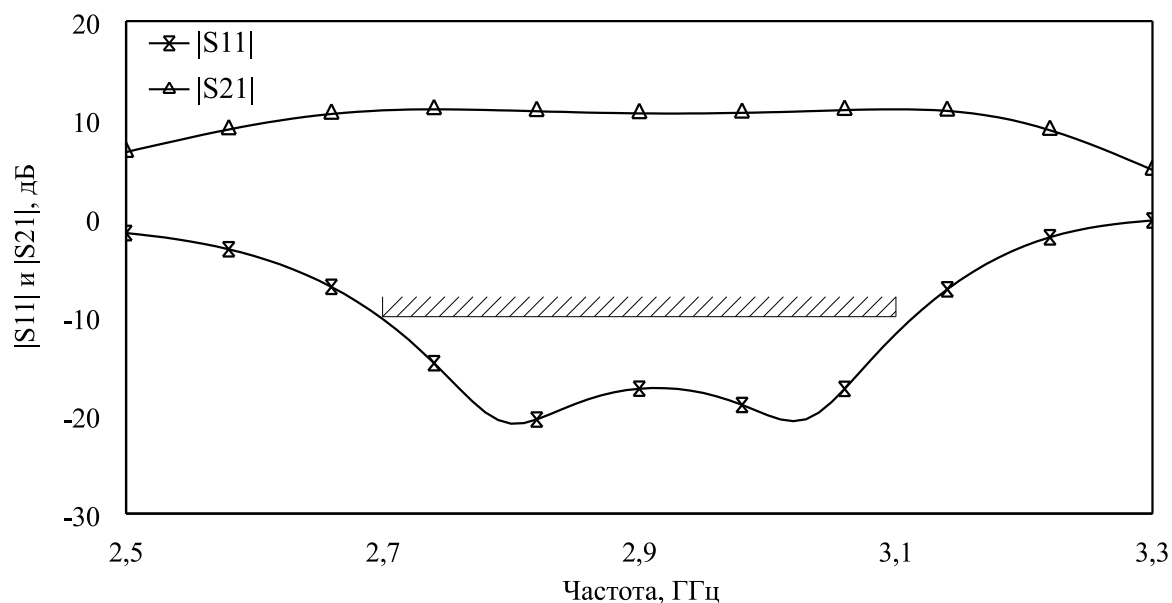


Рис. 3.

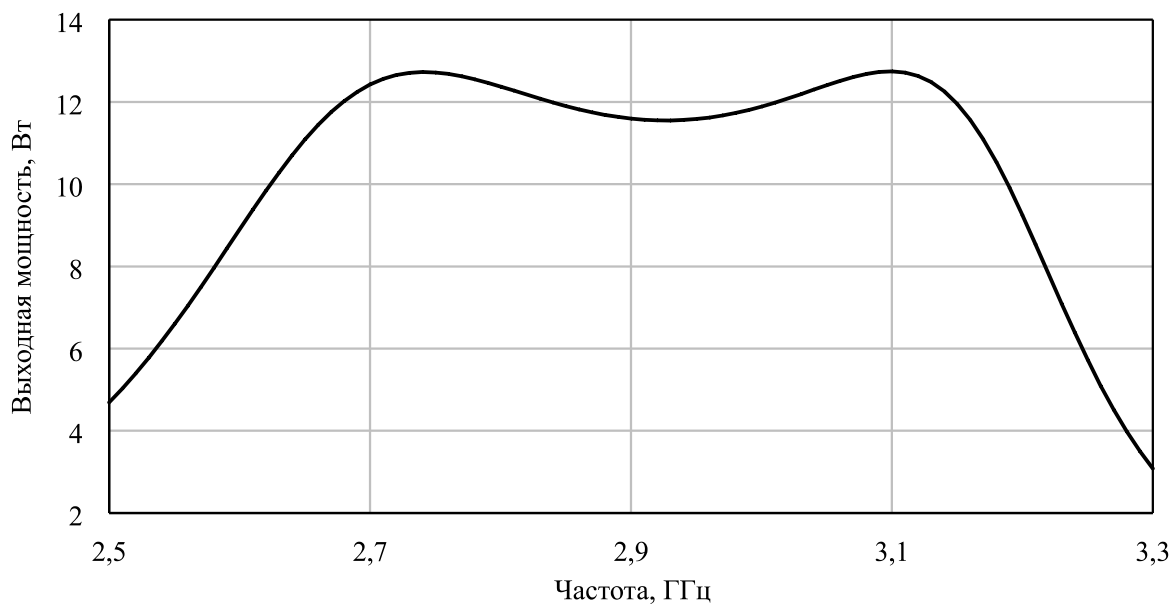


Рис. 4.

Измеренные значения выходной мощности $P_{\text{вых}}$ и коэффициента усиления по мощности $K_{\text{ур}}$ усилителя мощности приведены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что параметры разработанного миниатюрного многокристального внутрисогласованного усилителя мощности соответствуют расчетным и удовлетворяют требованиям технического задания.

Таблица 2

Наименование параметра	$f_1 = 2,7$ ГГц	$f_2 = 2,9$ ГГц	$f_3 = 3,1$ ГГц
Выходная мощность $P_{\text{вых}}$, Вт ($U_n = 36$ В)	10	10	10
Коэффициент усиления по мощности $K_{\text{ур}}$, дБ ($U_n = 36$ В)	10,5	10,1	10,3

Фотография усилителя мощности приведена на рис. 5.

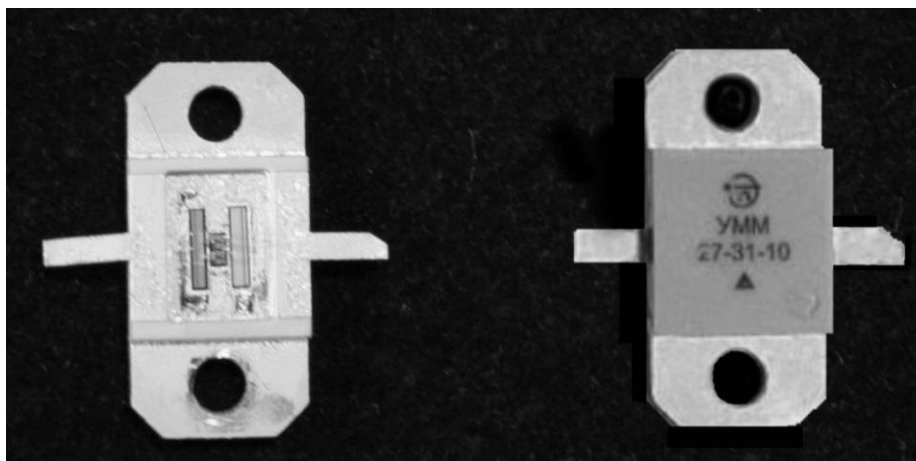


Рис. 5.

В заключении следует отметить, что применение разработанного миниатюрного многокристального усилителя мощности, позволяет значительно упростить решение схемотехнических задач согласования, что в целом, позволяет ожидать снижения стоимости и сокращения времени разработки усилительных блоков аппаратуры в 1,5 – 2 раза.

Библиографический список

1. В. Ассесоров, С. Грищенко, С. Жуков, В. Кожевников, И. Семейкин, А. Некрасов Усилительные паллеты – элементная база радиопередающей аппаратуры. // Компоненты и технологии. 2008. №7. С. 54-56.
2. И. Семейкин, В. Кожевников, С. Грищенко Мощные усилительные паллеты для модулей АФАР. // Современная электроника. 2010. №2. С. 18-19.