

На правах рукописи

ШИПИЛО Евгений Михайлович



УДК.621.375.4

**РАЗРАБОТКА ИНЖЕНЕРНЫХ МЕТОДОВ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СОЗДАНИЕ ГИБРИДНО-
ИНТЕГРАЛЬНЫХ ТРАНЗИСТОРНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ
МОЩНОСТИ САНТИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛИН
ВОЛН ДЛЯ ПЕРЕДАТЧИКОВ ДОПЛЕРОВСКИХ РЛС**

**Специальность 05.27.01 «Твердотельная электроника,
радиоэлектронные компоненты, микро - и
наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах»**

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

г. Фрязино 2017 г.

Работа выполнена в АКЦИОНЕРНОМ ОБЩЕСТВЕ
«НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «ИСТОК»
ИМЕНИ А. И. ШОКИНА»

Научный руководитель:

кандидат технических наук **Котов Александр Сергеевич**

Официальные оппоненты:

доктор технических наук КОСОВ Александр Сергеевич,
заведующий лабораторией ИКИ РАН, г. Москва;

кандидат технических наук НАЗАРЕНКО Анатолий Петрович,
директор НТЦ, заместитель генерального директора НИИР, г. Москва.

Ведущая организация: Публичное Акционерное Общество Научно-
Производственное Объединение «Алмаз», г. Москва.

Защита состоится 18 апреля 2017 г. в 14⁰⁰ на заседании диссертационного совета Д 409.001.01 на базе АО «НПП «Исток» им. Шокина» по адресу: 141190, Московская область, г. Фрязино, Вокзальная, д. 2а. Большой конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке АО «НПП «Исток» им. Шокина» и на сайте

http://istokmw.ru/uploads/files/static/52/shipilo_e_m.pdf

Автореферат разослан 22 февраля 2017 г.

Учёный секретарь

диссертационного совета

кандидат технических наук



Куликова И.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В 90-х годах прошлого века, с продвижением СВЧ транзисторов в сантиметровый диапазон длин волн, остро встала задача модернизации целого ряда доплеровских РЛС с заменой электровакуумных задающих генераторов и маломощных предварительных усилителей полупроводниковыми модулями. Решение этой задачи не только обеспечивало уменьшение массы и габаритных размеров передатчиков, но и существенно расширяло тактико-технические характеристики РЛС.

Для промежуточного усиления сигнала в передатчиках доплеровских РЛС требовались твердотельные усилители (ТТУ) с выходной мощностью 0,5-10 Вт в полосе рабочих частот до 10 %, с коэффициентом усиления порядка 30 дБ, работающие в широком диапазоне длительности импульсов.

В отличие от усилителей широкого применения, к ТТУ доплеровских РЛС предъявляется комплекс повышенных требований к тонким параметрам формируемых сигналов:

- низкий уровень вносимых амплитудных и фазовых шумов,
- низкий уровень побочных составляющих спектра,
- стабильность выходной мощности в течение импульса,
- жёсткие требования к неравномерности АЧХ и ФЧХ,
- высокое быстродействие регулировки выходной мощности с целью оптимизации входной мощности вакуумного усилителя.

Для создания усилителей с заданными параметрами требовалось решить целый ряд задач по проектированию ТТУ. Эти задачи включали в себя разработку методов проектирования согласующих цепей для мощных усилительных каскадов, выбор оптимальной структурной схемы,

обеспечение требуемой формы огибающей импульса выходного сигнала и высокого качества спектра. Данные вопросы либо не были описаны в литературе в необходимом объеме, либо предлагаемые методы были недоступны из-за отсутствия необходимой аппаратуры (например - метод проектирования согласующих цепей на основе S-параметров транзистора, измеренных в режиме большого сигнала).

Потому разработка методов, позволяющих проектировать СВЧ усилители мощности с высоким качеством спектра выходного сигнала и создание на их основе СВЧ ТТУ для передатчиков доплеровских РЛС являлась очень **актуальной**.

Цель работы состояла в разработке методов проектирования мощных многокаскадных гибридно-интегральных СВЧ усилителей сантиметрового диапазона длин волн с высоким качеством спектра выходного сигнала.

Постановка задачи: для достижения поставленной цели решались следующие научные и практические задачи:

- разрабатывался метод проектирования цепей согласования полевого транзистора Шоттки (ПТШ) для усилителя мощности сантиметрового диапазона длин волн, основанная на линейной эквивалентной схеме;

- разрабатывался метод проектирования малогабаритных балансных усилительных каскадов в нескольких типоразмерах на основе электромагнитных расчётов;

- разрабатывался метод формирования структурной модели усилителя и программное обеспечение, позволяющие формировать структурные схемы мощных многокаскадных усилителей сантиметрового диапазона длин волн в заданном диапазоне частот и выходных параметров на

широкой номенклатуре серийных полевых транзисторов с оптимизацией структурной схемы по заданному целевому параметру.

– исследовались вопросы обеспечения высокого качества спектра выходного сигнала;

– исследовались вопросы минимизации влияния технологических разбросов конструкции ТТУ и параметров ПТШ на выходные характеристики;

– исследовались схемы питания и модуляции усилителя, обеспечивающие оптимальную форму импульса выходного сигнала.

Объектом исследования служат многокаскадные усилители мощности сантиметрового диапазона длин волн.

Предметом исследования являются методы проектирования СВЧ усилителей мощности с высоким качеством спектра выходного сигнала.

Научная новизна. В диссертации впервые получены следующие результаты:

1 Предложен и разработан метод проектирования цепей согласования ПТШ для усилителя мощности сантиметрового диапазона длин волн, основанная на линейной эквивалентной схеме транзистора;

2 Предложен и разработан метод формирования структурной схемы усилителя и программное обеспечение, позволяющие формировать структурные схемы мощных многокаскадных усилителей сантиметрового диапазона длин волн в заданном диапазоне частот и выходных параметров на широкой номенклатуре серийных полевых транзисторов с оптимизацией структурной схемы по целевому параметру;

3 Предложен способ подавления параметрической неустойчивости и самовозбуждения балансных усилительных каскадов путём введе-

ния в структурную схему усилителя реактивных элементов, создающих фазовый сдвиг на частоте паразитной генерации при сохранении фазовых соотношений сигналов транзисторов балансного каскада в рабочей полосе частот;

4 Предложен и разработан метод и программное обеспечение оптимизации согласующих цепей усилителя путём статистической компьютерной обработки фотографий настроенных приборов, позволяющие оптимизировать топологию многокаскадных усилителей мощности сантиметрового диапазона длин волн с учётом технологических разбросов транзисторов и элементов конструкции усилителя;

5 Предложена и разработана схема модулятора напряжения питания транзистора, которая позволяет изменять длительность импульса от 50 нс до непрерывного режима при стабильности выходного напряжения не хуже 1 %.

6. Разработаны рекомендации по уменьшению искажений формы огибающей выходного сигнала усилителя для широкого диапазона значений длительности импульса СВЧ мощности.

Научные положения, выносимые на защиту:

1 Модификация линейной эквивалентной схемы полевого транзистора, заключающаяся в замене сопротивления сток – исток сопротивлением, определяемым углом наклона нагрузочной линии, позволяет проектировать выходную цепь усилителя мощности на основе линейной модели транзистора;

2 Метод формирования структурной схемы усилителя на основе разработанной базы данных характеристик СВЧ транзисторов обеспечивает оптимизацию структурной схемы по заданному критерию;

3 Метод статистической компьютерной обработки изображений многокаскадных усилителей позволяет создать оптимальную топологию согласующих цепей с учётом технологического разброса параметров транзисторов и элементов конструкции;

4 Схема модулятора, на основе комбинации быстродействующего ключа и эмиттерного повторителя, обеспечивает регулировку длительности импульсов от 50 нс до непрерывного режима при стабильности выходного напряжения не хуже 1 %.

Практическая ценность работы.

Разработаны инженерные методы, позволяющие разрабатывать усилители мощности сантиметрового диапазона на основе полевых транзисторов с высоким качеством спектра выходного сигнала.

На основе разработанных методов проведена разработка более 20 типов усилителей для передатчиков доплеровских РЛС с уровнем выходной мощности от 0,5 до 10 Вт, полосой рабочих частот до 10 %, длительностью импульсов от 50 нс до непрерывного режима и регулировкой выходной мощности до 30 дБ. Разработанные усилители предназначены для работы в современной радиоэлектронной аппаратуре («С-300В», «С-300 ПМУ», «С-400», «Кредо-1», «Зоопарк-1М» и др.).

Апробация результатов работы.

Результаты работы докладывались на конференциях: Юбилейная научно-техническая конференция, посвящённая 70-летию ФГУП «НПП «Исток» «СВЧ-электроника. 70 лет развития» 15-16 мая 2013 года, г. Фрязино; “СВЧ-электроника, 2015. Наука. Технология. Производство” 13-14 мая 2015 года, г. Фрязино. Разработанные более чем 20 типов усилителей успешно работают в составе изделий специального назначения.

Публикации. По материалам диссертации автором опубликовано 7 статей в журналах из перечня ВАК для защиты кандидатских диссертаций.

Объём работы. Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Работа выполнена на 180 страницах текста, содержит 199 рисунка, три таблицы и список литературы из 45 наименований.

Содержание и результаты работы.

Во введении дано обоснование актуальности работы, определены цели и задачи исследований. Обоснована практическая значимость работы.

Первая глава включает в себя описание метода проектирования транзисторного СВЧ-усилителя, позволяющего быстро и однозначно решить задачу синтеза оптимальной топологии согласующих цепей (СЦ) с помощью линейного программного пакета.

В разделе 1.2 изложен основной подход к описанию нелинейного усилителя мощности на полевом транзисторе линейной эквивалентной схемой. При этом значение мощности насыщения усилителя в режиме класса А, определяется графоаналитическим методом на плоскости вольтамперных характеристик (ВАХ) транзистора – $P_{OUT} = \Delta U \cdot \Delta I / 8$. Где ΔU – размах ВЧ-напряжения, ΔI – размах ВЧ-тока.

Угол наклона динамической линии нагрузки определяет оптимальное сопротивление $R_{opt} = \Delta U / \Delta I$, при котором выходная мощность ПТШ максимальна.

Для достижения максимальной мощности необходимо синтезировать выходную цепь, создающую оптимальную нагрузку на зажимах генератора тока эквивалентной схемы ПТШ.

Решение поставленной задачи отыскивается согласно правилу сопряжённого согласования генератора с нагрузкой, при этом для расчётов используется не исходная модель ПТШ, а модель в которой значение дифференциального сопротивления стока R_{DS} приравнивается значению оптимальной нагрузки - R_{opt} .

В разделе 1.3 приведены формулы для замены основных нелинейных параметров ПТШ - ёмкости затвора C_{GS} , сопротивления канала R_J и крутизны передаточной характеристики G – их усреднёнными значениями для режима максимальной выходной мощности.

В разделе 1.4 представлен пошаговый компьютерный метод расчёта S-параметров выходной согласующей цепи, обеспечивающей мощность насыщения усилителя.

С помощью предложенного метода расчёта разработаны усилительные каскады на ПТШ с выходной мощностью порядка 4 ... 8 Вт в диапазоне частот от 3 до 9 ГГц.

Во второй главе рассмотрен метод проектирования усилительного каскада основанный на электромагнитном анализе топологии схемы.

Большая номенклатура изделий потребовала стандартизации типоразмеров УК. А это вызвало необходимость использовать типовые схемы, поддающиеся наиболее точному расчёту.

Стремление упаковать всё более сложные схемы в заранее заданные габариты привело к необходимости учитывать взаимное влияние расположенных на плате элементов, которое может существенно иска-

зять характеристики УК. Однако рекомендации по учёту взаимного влияния элементов в литературе отсутствуют.

Автором был разработан метод расчёта топологии усилительного каскада на основе 2,5 мерного электромагнитного анализа, в котором оптимальность вспомогательных элементов конструкции подтверждается последовательным сравнением характеристик исходной схемы, и схемы с введённым дополнительным элементом, конструкция которого оптимизируется в данный момент.

Критерием оптимальности топологии нового элемента является минимизация разности характеристик исходной схемы и схемы со вспомогательными элементами в рабочей полосе частот.

В третьей главе рассматривается процесс проектирования структурной схемы многокаскадных усилителей.

Приступая к проектированию нового усилителя мощности, разработчик, исходя из требований технического задания, должен ответить на основополагающие вопросы: на какой элементной базе строить усилитель?; сколько потребуется каскадов усиления?; потребуется ли суммирование мощности отдельных элементов и т.д.?

В данной главе предлагается компьютерный способ построения структурной схемы усилителей и решения обозначенных выше вопросов.

Способ основывается на разработанной автором базе данных параметров СВЧ транзисторов в диапазоне 5 ... 18 ГГц, с учётом влияния входной мощности, частоты, температуры, напряжения питания.

В разделе 3.2 рассмотрены два варианта построения структурной схемы: 1) от выхода ко входу, когда сразу оценивается возможность получения требуемой выходной мощности, далее процесс повторяется с ус-

тановкой на требуемую входную мощность только что спроектированного каскада, 2) от входа к выходу, когда входная мощность подаётся на первый элемент схемы усилителя и выходная мощность сравнивается с заданной в техническом задании. При достижении требуемого уровня процесс разработки заканчивается, иначе подбирается следующий усилительный элемент с новым уровнем входной мощности. Предпочтение в работе отдано второму подходу, т.к. структурная схема построенная таким образом представляет собой модель усилителя, на которой можно проследить основные зависимости параметров от входной мощности, частоты, температуры и т.д.

В разделе 3.3 рассмотрены основные, принимаемые в расчёт, характеристики транзисторов (поведение при изменении входной мощности, частоты, температуры, напряжения питания) и их аппроксимация.

В разделе 3.4 описана программа и метод построения структурной схемы усилителя.

Основные свойства программы продемонстрированы на примере проектирования структурной схемы усилителя с выходной мощностью 4 Вт в полосе частот от 7,7 до 8,5 ГГц при входной мощности 20 мВт, предельной рабочей температуре 70°C, напряжении питания 12 В, напряжении смещения минус 12.

Разработанный метод проектирования позволяет формировать таблицу, которая описывает многокаскадный усилитель и его основные параметры: коэффициент усиления, выходную мощность, потребляемый ток, коэффициент полезного действия. При этом упрощается выбор оптимальной конструкции многокаскадного усилителя по заданному критерию.

рию, в том числе для разработчиков, имеющих небольшой опыт работы в данной области.

В четвёртой главе рассматриваются вопросы обеспечения устойчивости усилителя.

Виды неустойчивости усилителя в работе разделены на три типа: 1) неустойчивости, связанные с системой питания и смещения усилителя, 2) неустойчивости, связанные с прохождением сигнала по ВЧ тракту с высоким общим усилением, 3) неустойчивости внутри отдельно взятого каскада.

Для всех типов неустойчивости в данном классе усилителей рассмотрены признаки её появления и влияние на выходные параметры усилителей. Даны практические рекомендации по обеспечению устойчивости.

В разделе 4.2 рассмотрена нестабильность усилителя по цепям питания усилителя.

В разделе 4.3 рассмотрена нестабильность усилителя по ВЧ тракту. При этом надо строго контролировать амплитудные условия самовозбуждения, поскольку фазовые условия всегда присутствуют.

В разделе 4.4 рассмотрена внутрикаскадная нестабильность усилителя за счёт большого коэффициента обратной передачи транзистора и параметрическая генерация.

Поскольку амплитудные условия самовозбуждения в данном случае изменить невозможно предлагается разрушить фазовые условия самовозбуждения путём введения в схему дополнительных элементов: перемычек, ФНЧ и т.п. при сохранении фазового соотношения в рабочей полосе частот.

В пятой главе рассматриваются метод статистической компьютерной обработки фотографий настроенных приборов с целью оптимизации топологии согласующих цепей усилительных каскадов с учётом технологических разбросов параметров транзисторов и элементов конструкции усилителя.

При изготовлении усилителя важным этапом является процесс настройки, при котором формируется окончательная АЧХ. Опыт серийного выпуска усилителей показывает, что расположение подстроечных элементов в одних и тех же каскадах усилителя может значительно различаться, что свидетельствует о заметном технологическом разбросе как элементов конструкции усилителя, так и параметров самих транзисторов. Это значительно усложняет процесс настройки многокаскадного усилителя.

Для упрощения процесса настройки была поставлена практическая задача создания топологии усилительных каскадов, оптимальной для существующих технологических разбросов параметров в серийном производстве.

Для решения этой задачи автором на базе графического редактора AutoCAD была разработана программа статистической обработки фотографий настроенных приборов.

В разделе 5.2 приведено описание алгоритма обработки данных.

Реальная модель усилителя отличается от идеальной по двум причинам. Во-первых, платы и транзисторы в усилителе размещены с некоторой погрешностью, как по месту расположения, так и по углу. Во-вторых, в результате настройки усилителя на платах появляются дополнительные микрополосковые элементы.

Принцип построения алгоритма проиллюстрирован на рис. 1, 2.

На первом этапе полученная информация (фотографии топологий) приводятся к сравнимым условиям (рис.1).

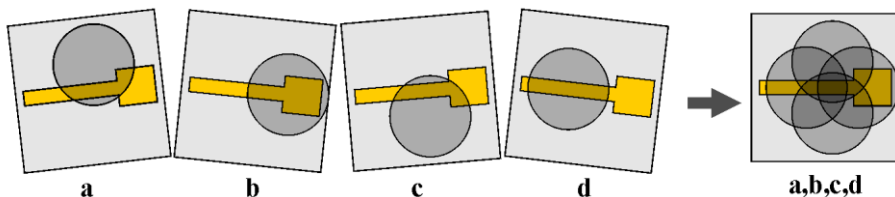


Рис. 1 Приведение исходной информации к сравнимым условиям

После этого в месте расположения схемы согласования строятся фигуры (топологические гистограммы), отражающие вероятность расположения подстроечного элемента в данном месте от 25 до 100 % (рис. 2).

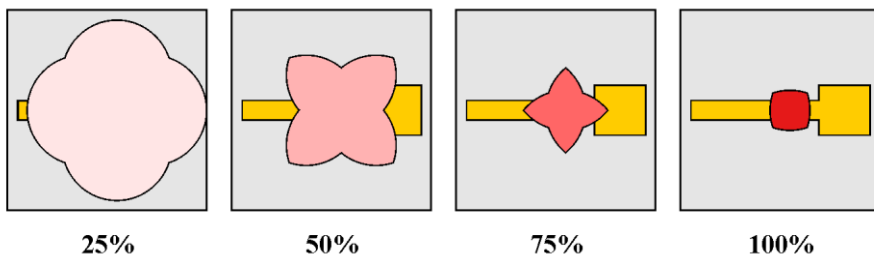


Рис. 2 Топологические гистограммы

На следующем этапе производится корректировка согласующих цепей с учётом полученных топологических гистограмм.

В разделе 5.3 приведены полученные результаты.

Результат расчётов топологических гистограмм на основании обработки 43 образцов трёхкаскадного усилителя 3-см диапазона приведён на рис. 3.

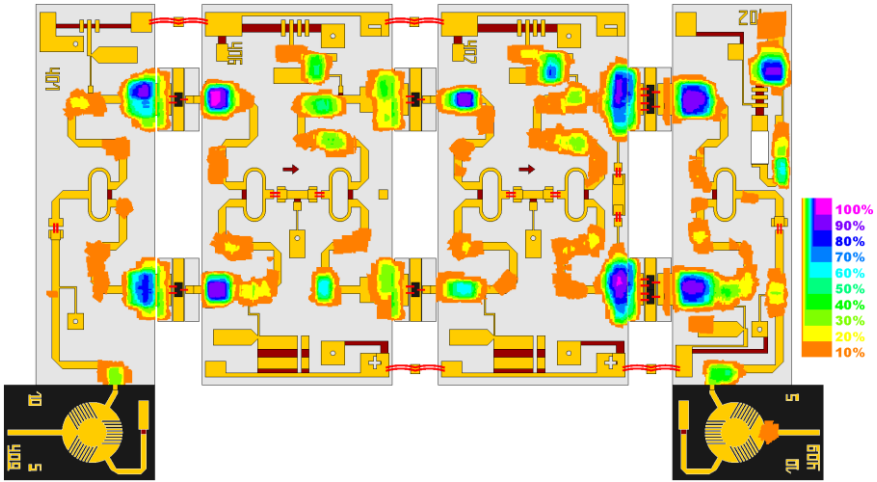


Рис. 3 Топологическая гистограмма усилителя

На основании полученных результатов конструкция была откорректирована. На рис. 4 представлены для сравнения амплитудно-частотные характеристики двух приборов первоначальной и откорректированной конструкции. Видно, что уровень мощности ненастроенного прибора почти соответствует необходимому минимальному уровню. Это почти на 3дБ лучше, чем у первоначальной конструкции.

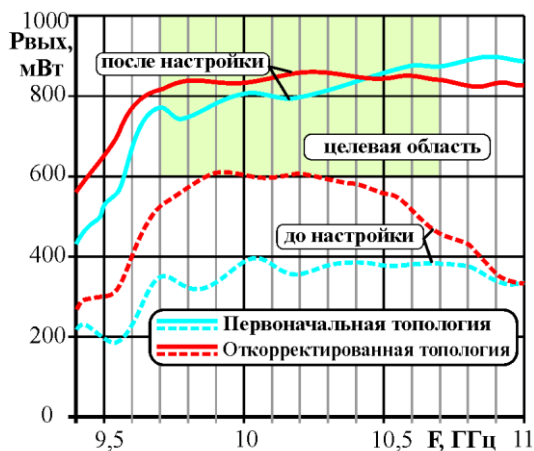


Рис. 4АЧХ приборов первоначальной конструкции и откорректированной, до настройки и после. Зелёным цветом выделена область требуемой выходной мощности и рабочих частот

Большой выигрыш получился во времени, затрачиваемом на настройку прибора.

В шестой главе рассматриваются вопросы формирования импульса СВЧ мощности.

Радиолокация основана на передаче зондирующего радио импульса, а затем, приёме и обработке отражённого от объектов сигнала. Плохо сформированный зондирующий импульс не позволит получить необходимую для дальнейшей обработки информацию.

Длительность импульса может меняться в очень широких пределах. При этом на первый план выходят разные процессы: быстрые электронные процессы в кристаллических структурах активных элементов; переходные процессы в системе питания или достаточно медленные тепловые явления.

В разделе 6.2.1 рассматриваются различные варианты построения модуляторов с модуляцией по цепи смещения затвора и по цепи питания стока.

Схема модуляции с быстродействующим ключом и емкостной стабилизацией полочки импульса широко используется, но требует больших накопительных ёмкостей для стабилизации полочки. При достаточно длинных импульсах и малых скважностях возникают паразитные эффекты модуляции и искажения формы полочки импульса, борьба с которыми требует ещё большего увеличения накопительной ёмкости.

Автором предложен вариант построения модулятора (см. рис. 5, б), в котором сочетаются минимальные длительности фронта и спада импульса за счёт быстродействующего ключа и безинерционная стабилизация полочки импульса эмиттерным повторителем.

Эмиттерный повторитель выполнен на мощном транзисторе 2Т908А-5, ключ на полевом транзисторе IRLR3103, ключом управляет драйвер TC4420.

Выбранное схемное решение позволяет формировать импульс напряжения длительностью от 50 нс вплоть до непрерывного режима при этом обеспечивает стабильность выходного напряжения в пределах 1%.

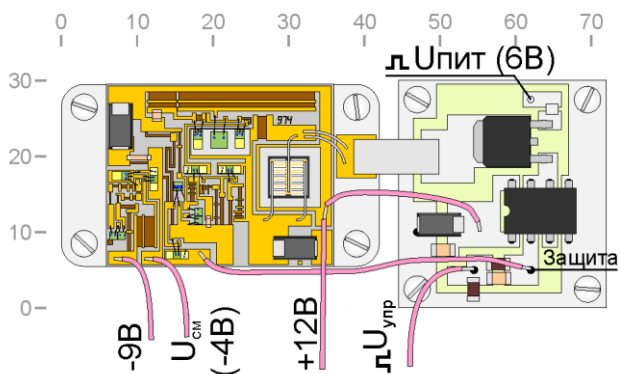


Рис. 7 Конструкция модулятора

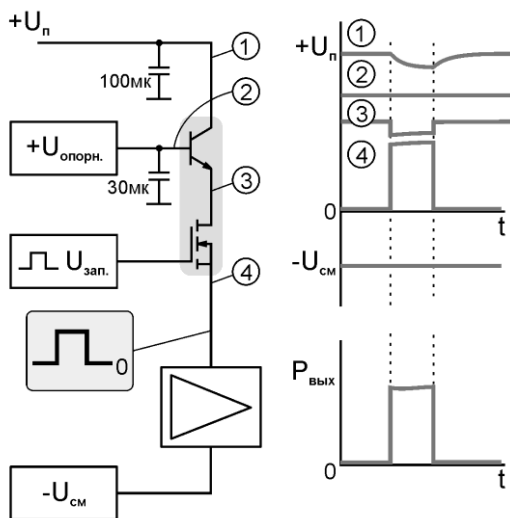


Рис. 8 Оптимальная схема построения модулятора для работы в широком диапазоне длительностей импульсов и скважности

Раздел 6.2.2 посвящён исследованию факторов, влияющих на форму огибающей СВЧ импульса мощности.

Приведены зависимости формы импульса (скоса полочки) от разогрева тр-ров разных типов:

- тр-р «Пират-40» («Исток») с толщиной кристалла 100 мкм имеет скос полочки 12 % и падение мощности на протяжении 800 мкс;

- тр-р FLM0910-8F («Fujitsu», Япония) с толщиной кристалла 25 мкм – скос полочки 6 % в пределах 100 мкс.

Исследована форма короткого (800 нс) импульса тр-ра FLM0910-8F с выбросом мощности порядка 15 % и длительностью 200 ... 300 нс в зависимости от частоты и температуры.

Исследована форма короткого (800 нс) и длинного (800 мкс) импульса тр-ров от напряжения питания.

Исследования показали, что для обеспечения требований к скосу полочки не более 8 % в диапазоне длительностей импульса от 800 нс до 800 мкс требуется применять пониженный режим питания транзисторов примерно до половинного уровня выходной мощности как для тр-ра FLM0910-8F, так и для тр-ра «Пират-40».

В разделе 6.3 обсуждаются проблемы обеспечения требований к форме импульса при непрерывном режиме питания.

Большой уровень входного сигнала вызывает изменение тока потребления транзистора и соответственно напряжения питания, что вызывает изменение выходной мощности во время прохождения импульса.

Тепловой режим несколько меняется, т.к. в паузе вся подводимая мощность переходит в нагрев структуры транзистора, а в импульсе разница между выходной и входной мощностью отводится от кристалла, и это существенно уменьшает его температуру. Вслед за уменьшением температуры увеличится коэффициент усиления и выходная мощность усилителя.

Для уменьшения влияния этих факторов предлагается выставлять такую рабочую точку транзисторов, которая не изменялась бы при отключении и включении входного сигнала, т.е. оптимальный режим работы усилителя будет А – АВ.

В седьмой главе рассматриваются вопросы регулировки выходной мощности усилителя.

В разделе 7.2 рассмотрены две схемы регулировки аттенуатором на рin-диодах при расположении аттенуатора в начале усилительной цепочки и при установке аттенуатора на выходе усилителя. Отмечены их особенности и основные недостатки.

В разделе 7.3 рассмотрена регулировка выходной мощности напряжением питания одного или двух выходных каскадов.

При этом исключаются лишние потери и ограничения мощности на выходе усилителя. К недостаткам данной схемы при глубокой регулировке двумя выходными каскадами (от 20 до 40 дБ), относится необходимость высокой точности установки регулирующего напряжения.

В заключении сформулированы основные научные результаты:

- 1 Разработан метод проектирования цепей согласования ПТШ для усилителя мощности сантиметрового диапазона длин волн на основе линейной модели полевого транзистора;

- 2 Разработан метод формирования структурной схемы усилителя и программное обеспечение, позволяющие формировать оптимальные структурные модели мощных многокаскадных усилителей сантиметрового диапазона длин волн в заданном диапазоне частот и выходных параметров на широкой номенклатуре серийных полевых транзисторов по заданному критерию;

3 Предложен способ подавления самовозбуждения и параметрической неустойчивости балансных усилительных каскадов путём введения в структурную схему усилителя реактивных элементов, создающих фазовый сдвиг на частоте паразитной генерации при сохранении фазовых соотношений в рабочей полосе частот;

4 Разработан метод оптимизации конструкции усилителя путём компьютерной обработки фотографий настроенных приборов и программного обеспечения, позволяющие создавать топологию многокаскадных усилителей мощности сантиметрового диапазона длин волн с учётом технологических разбросов элементов конструкции и параметров транзисторов;

5 Разработана схема модулятора напряжения питания транзистора позволяющая изменять длительность импульса от 50 нс до непрерывного режима при стабильности выходного напряжения не хуже 1 %;

6 Разработаны рекомендации по выбору оптимального способа регулировки выходной мощности усилителя;

7 Разработано более 20 типов твердотельных усилителей работающих в составе современных РЛС важнейших радиоэлектронных систем министерства обороны.

Объём поставок усилителей в 2016 г. составил около 250 модулей на сумму 84 млн. руб.

Публикации по теме диссертации в журналах из перечня ВАК.

1. А. Н. Каргин, Е. М. Шипило. Компьютерное линейное моделирование транзисторного усилителя мощности. – Радиотехника, 2003 г., №2, с. 61-64.

2. Шипило Е. М. Модулятор с высокостабильными временными характеристиками импульсов для усилителя на полевых транзисторах. – Электронная техника, Сер. 1, СВЧ-техника, 2004 г., №1, с. 24-28.
3. А. Н. Каргин, Е. М. Шипило. Нелинейное моделирование транзисторного усилителя мощности. – Радиотехника, 2006 г., №3, с. 43-46.
4. Шипило Е. М. Оптимизация транзисторного усилителя путём компьютерной обработки реальной топологии. – Радиотехника, 2006 г., №3.
5. Шипило Е. М. Полупроводниковые усилители мощности для передатчиков доплеровских РЛС и систем радиопротиводействия. – Электронная техника, Сер. 1, СВЧ-техника, 2013 г., № 3(518), с. 65-76.
6. Котов А.С., Мелешкевич П.М., Закурдаев А.Д., Востров М.С., Поляков А.В., Хромов А.В., Захаров С.М., Моторин В.П., Полякова В.М., Шипило Е.М., Гришина Е.А., Харабадзе Э.Т., Левашов Н.И. – Состояние и перспективы развития малогабаритных бортовых твердотельно-вакуумных СВЧ комплексированных изделий. – Электронная техника, Сер. 1, СВЧ-техника, 2013 г., № 3 (526). – С. 90–110.
7. Мякинков В.Ю., Губарев В.Ф., Рудый Ю.Б., Ковтунов Д.А., Калинин А.С., Футьянов С.И., Рабодзей А.Н., Шипило Е.М. – Приемопередающий модуль доплеровского измерителя скорости, угла сноса и высоты для современных самолетов. – Электронная техника, Сер. 1, СВЧ-техника, 2013 г., № 3(518), с. 200-205.

Другие публикации по теме диссертации.

8. Каргин А.Н., Шипило Е.М. – Модернизация изделия М45139 (типа “Ограда”) с целью перехода на современную элементную базу. Научно-технич. отчёт № 19-9207 по теме 5170, ОКР «Ограда-М». ФГУП НПП «Исток», 2003.
9. Каргин А.Н., Михайлов Е.И., Шипило Е.М. – Разработка полупроводникового усилителя в 10-см диапазоне длин волн с 10%-полосой рабочих частот и выходной импульсной мощностью не менее 5 Вт. Научно-технич. отчёт № 3-9211. по теме 2260, ОКР «Оплот». – ФГУП НПП «Исток», 2003.
10. Шипило Е.М., Ерпылёва Е.А., Стерлюкина И.В. – Разработка импульсного преобразовательно-усилительного модуля 2-см диапазона с повышенной выходной мощностью 250-500 мВт и расширенной полосой частот. Научно-технич. отчёт № 8-9320. Шифр «Днепр-02». – ФГУП НПП «Исток», 2008 г.
11. Котов А.С., Мелешкевич П.М., Закурдаев А.Д., Востров М.С., Поляков А.В., Хромов А.В., Захаров С.М., Моторин В.П., Полякова В.М.,

Шипило Е.М. и др. Разработка базовых технологий для создания нового поколения мощных вакуумно-твердотельных СВЧ приборов и гибридных малогабаритных СВЧ модулей с улучшенными массогабаритными характеристиками. Научно-технич. отчёт № 6-9331. Шифр «Вакуум-2010». – Фрязино. 2009 г.

