

Экз. №

На правах рукописи

МАНЧЕНКО Любовь Викторовна

УДК.621.375.4.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ
И ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ ГИБРИДНЫХ
УЗКОПОЛОСНЫХ ТРАНЗИСТОРНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ
КОРОТКОВОЛНОВОЙ ЧАСТИ
САНТИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН.**

**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 2012г.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном унитарном предприятии «Научно – производственное предприятие «Исток».

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук **Пашковский А. Б.**

Официальные оппоненты:

– доктор технических наук, начальник отдела **Алыбин В.Г.**

– кандидат технических наук, начальник сектора **Богданов Ю.М.**

Ведущая организация ФГУП СКБ ИРЭ - РАН, г. Фрязино


Защита состоится 21 февраля 2012г. в 11 часов на заседании диссертационного совета Д409.001.01 при ФГУП «НПП «Исток» по адресу: 141190, Московская область, г.Фрязино, Вокзальная, д. 2а. Большой конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГУП «НПП «Исток»

Автореферат разослан 17 января 2012г.

Учёный секретарь

диссертационного совета

кандидат физико-математических наук  **Погорелова Э.В.**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время транзисторные усилители являются основным элементом в приемопередающих модулях (ППМ) РЛС, АФАР, системах связи сантиметрового диапазона длин волн. Требования национальной безопасности приводят к необходимости разработки ППМ на отечественной элементной базе. Перспективы в совершенствовании приемопередающих модулей связаны с применением монолитных технологий. Однако в настоящее время в нашей стране нет серийных монолитных усилителей с выходной мощностью более 2Вт. Поэтому разработка внутрисогласованных транзисторов (ВСТ) и гибридных усилителей для ППМ, реализующих высокие технические параметры, является актуальной и необходимой задачей. В свою очередь, задачи разработки компактных гибридных усилителей с высокими выходными характеристиками в двух и трехсантиметровом диапазоне длин волн предъявляют повышенные требования к качеству проектирования усилителей.

Вопросы моделирования малошумящих усилителей и усилителей мощности на полевых транзисторах отражены во множестве статей и научных работ. В то же время очевидным является факт, что математические модели элементов и методики проектирования реальных усилителей отражают особенности технологий фирм-производителей. Поэтому к началу работы над диссертацией оставался нерешенным круг задач, связанных с проектированием усилителей на отечественной элементной базе с учетом особенностей и возможностей имеющейся технологии. Определение коэффициента шума полевого тран-

зистора и усилителя на его основе после воздействия на них импульсов СВЧ мощности является актуальной задачей при разработке усилителей приемных трактов РЛС. Выбор оптимальных схем согласования и суммирования мощности транзисторов при заданных габаритах – одна из важнейших задач при проектировании гибридных усилителей мощности для АФАР. Обеспечение устойчивой работы усилителей в рабочей полосе частот и вне рабочей полосы – это проблема, которые необходимо решать при разработке и поставках усилителей для ППМ.

Это приводит к необходимости создания моделей и методик, дополняющих общепринятые методы проектирования усилителей сантиметрового диапазона длин волн.

Цель работы состояла в разработке методик моделирования элементов схем узкополосных СВЧ усилителей сантиметрового диапазона длин волн, оптимизации схем согласования и суммирования мощности для СВЧ усилителей и внутрисогласованных транзисторов, реализующих их устойчивую работу и высокие выходные параметры.

Постановка задачи: для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- разрабатывался метод расчета шумовых характеристик линейных усилителей произвольной топологии;
- разрабатывалась методика оценки изменения коэффициента шума полевого транзистора под воздействием импульсов СВЧ мощности;
- исследовались изменения характеристик малошумящего усилителя под воздействием импульсов СВЧ мощности;

– исследовались особенности нелинейных моделей мощных СВЧ транзисторов на псевдоморфных гетероструктурах с селективным легированием;

– разрабатывалась методика моделирования систем связанных микрополосковых линий, выполненных на подложке с большим значением диэлектрической проницаемости ϵ ;

– разрабатывались способы построения малогабаритных согласующих и суммирующих цепей многокаскадных мощных усилителей, обеспечивающих его устойчивую работу;

– разрабатывались модели элементов схем гибридных мощных усилителей, и исследовалось влияние особенностей сборки таких усилителей на их выходные характеристики;

– с использованием разработанных моделей и методик проектировались мощные усилители и ВСТ коротковолновой части сантиметрового диапазона длин волн для АФАР и аппаратуры специального назначения.

Объектом исследования служат маломощные СВЧ усилители и полевые транзисторы сантиметрового диапазона длин волн, мощные полевые СВЧ транзисторы с большой шириной затвора, мощные ВСТ и усилители на их основе, их электрические характеристики, измеренные в режиме большого сигнала.

Предметом исследования являются методы проектирования маломощных усилителей СВЧ, ВСТ и усилителей мощности для АФАР и аппаратуры специального назначения.

Научная новизна. В диссертации впервые получены следующие результаты:

1. Предложен и разработан метод определения шумовых характеристик усилителей произвольной топологии, позволивший совместить расчет сигнальных и шумовых характеристик;

2. Предложена и разработана методика оценки изменения коэффициента шума полевого транзистора под воздействием импульсов СВЧ мощности. Показано, что величину изменения коэффициента шума транзистора можно оценить по данным измерений средней величины его тока стока и коэффициента усиления.

3. Выяснено, что под воздействием входного импульса мощности могут существенно ухудшиться характеристики малошумящего усилителя, причем усилитель с однополярным питанием более чувствителен к воздействию СВЧ импульсов, чем усилитель с двухполярным питанием.

4. Предложена и разработана методика моделирования согласующих цепей мощных усилителей. Методика основана на замене системы связанных микрополосковых линий, выполненных на подложке с большой диэлектрической проницаемостью, системой эквивалентных одиночных линий.

5. Предложена топология и выполнено теоретическое исследование схемы двухкаскадного усилителя мощности, в которой сумматоры и делители мощности являются также элементами согласования, а для разделения каскадов по постоянному току используется полосно-пропускающий фильтр на двух связанных микрополосковых линиях. Показано, что такая схема построения усилителя позволяет исключить его внеполосное возбуждение.

6. Разработаны поправки в виде Т-образной эквивалентной схемы к двумерным моделям элементов согласующих цепей гибридных усилителей, выполненных на подложке с $\epsilon \approx 80$.

7. Проведено исследование влияния трехмерных неоднородностей схемы (близкое расположение края плат, зазоры между платами) двухкаскадных гибридных СВЧ усилителей мощности, использующих в согласующих цепях платы с большой ϵ . Показано, что такие неоднородности гибридной схемы могут приводить к существенному ухудшению характеристик мощных усилителей.

В результате выполнения работы получен ряд новых результатов, на основе которых формулируются следующие

Научные положения, выносимые на защиту:

1. При подаче импульсов СВЧ мощности на вход транзистора, работающего в режиме минимального коэффициента шума, нижняя граница увеличения шумовой температуры транзистора и, соответственно, усилителя на его основе прямо пропорциональна произведению среднего тока, текущего через транзистор, на его коэффициент усиления в рабочем режиме и обратно пропорциональна произведению рабочего тока на средний коэффициент усиления.

2. Двухмерный электродинамический анализ характеристик гибридных усилителей мощности, использующих в согласующих цепях микрополосковые линии, выполненные на платах из керамики с большой диэлектрической проницаемостью ($\epsilon \approx 80$), из-за краевых эффектов в керамике приводит к погрешности до 15% в определении расчетной частоты и к погрешности до 30% в определении значения выходной

мощности усилителя. Решением этой проблемы является дополнение двумерных моделей элементов схемы поправками в виде однозвенных Т-сочленений, учитывающими трехмерные неоднородности гибридной схемы.

3. Для узкополосных гибридных усилителей с суммированием мощности нескольких транзисторов в X- и Ku -диапазонах частот совмещение полосно-пропускающего фильтра на двух связанных микрополосковых линиях длиной $\lambda/4$ с синфазным делителем мощности, являющимся одновременно и элементом согласования, позволяет существенно уменьшить габариты усилителя, обеспечить развязку между транзисторами по постоянному току и обеспечить устойчивость усилителя вне рабочей полосы частот.

Практическая ценность работы.

Разработана методика оценки деградации параметров полевых транзисторов и усилителей под воздействием мощных СВЧ импульсов. Определена нелинейная модель, пригодная для описания мощных СВЧ транзисторов на псевдоморфных гетероструктурах. Предложена методика моделирования согласующих цепей мощных усилителей, заключающаяся в замене системы связанных микрополосковых линий системой независимых эквивалентных линий. Разработаны поправки к двумерным моделям элементов согласующих цепей мощных гибридных усилителей, учитывающие влияние трехмерных неоднородностей схемы усилителя. Предложена топология двухкаскадного усилителя мощности, в котором сумматоры и делители мощности являются также элементами согласования, а для разделения каскадов используется полосно-пропускающий фильтр на двух связанных линиях.

На основе разработанных методик и моделей проведено проектирование ряда усилителей мощности для АФАР X – диапазона длин волн, мощных ВСТ S-, C-, X-, K_u- диапазонов, мощного усилителя K_u-диапазона длин волн. Применение этих методов позволило на отечественной элементной базе разработать, изготовить и провести поставки:

- первых отечественных ВСТ с выходной мощностью 5Вт в X – диапазоне частот;

- гибридных усилителей с выходной мощностью 3Вт для бортовых АФАР X – диапазона частот;

- гибридных усилителей с выходной мощностью 10Вт для бортовых АФАР X – диапазона частот;

- гибридных усилителей с выходной мощностью 15Вт – 17Вт для АФАР X – диапазона частот;

- импульсных гибридных усилителей с выходной мощностью 9Вт - 11Вт для перспективных РЛС K_u- диапазона частот.

Апробация результатов работы.

Результаты работы опубликованы в материалах международных и российских конференций «СВЧ- техника и телекоммуникационные технологии», «КрыМикО», 12-16 сентября 2005г., 11-15 сентября 2006г., 10-14 сентября 2007г., 8-12 сентября 2008г., 14-18 сентября 2009г., 13-17 сентября 2010г., 12-16 сентября 2011г., 14 –го отраслевого координационного семинара по СВЧ технике, пос. Хахалы Нижегородской обл., 5-8 сентября. 2005г., XVII координационного научно-технического семинара по СВЧ технике, пос. Хахалы Нижегородской обл., 6-8 сентября 2011г.

Публикации. По материалам диссертации автором опубликовано 35 печатных работ, из них 20 работ в журналах по перечню ВАК для защиты кандидатских диссертаций.

Объём работы. Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, списка литературы. Работа выполнена на 115 страницах текста, содержит 54 рисунка, две таблицы и список литературы из 101 наименования.

Содержание и результаты работы.

Во введении дано обоснование актуальности работы, определены цели и задачи исследований, перечислены основные результаты, выводы и рекомендации, научные положения, выносимые на защиту. Обоснована практическая значимость работы.

Первая глава включает в себя описание метода расчета шумовых характеристик линейных усилителей и методики оценки изменения коэффициента шума полевого транзистора под воздействием импульсов СВЧ мощности. Приведены результаты теоретических исследований деградации характеристик малошумящего усилителя приемного тракта РЛС под воздействием импульсов СВЧ мощности.

В разделе 1.1 представлен краткий обзор методов описания шумовых характеристик полевых транзисторов и линейных усилителей. При известных шумовых параметрах транзистора задача определения коэффициента шума усилителя сводится к расчету результатов совместного действия на линейную систему большого числа источников шума. До начала работы над диссертацией расчет шумовых характеристик схемы проводился после расчета ее сигнальных характери-

стик. В настоящей работе разработан алгоритм расчета шумовых характеристик линейных усилителей, в котором сигнальная и шумовая матрицы схемы формируются одновременно.

В разделе 1.2. описан метод расчета шумовых характеристик линейных схем. Для описания шумовых свойств используется матрица спектральных плотностей шумовых токов

$[Y_C] = \frac{1}{\Delta f} \cdot \overline{I \cdot I^+}$. Для

этой матрицы определены формулы преобразования элементов матрицы в соответствии с граничными условиями для токов и напряжений в узлах схемы. Получены рекуррентные формулы, позволяющие сформировать Y_C - матрицу линейной схемы произвольной топологии, поскольку не накладывают ограничений на тип соединений элементов. Выведены формулы, связывающие элементы шумовой Y_C - матрицы с шумовыми параметрами усилителей: коэффициентом шума, эквивалентным шумовым сопротивлением, комплексной оптимальной проводимостью генератора сигнала.

В разделе 1.3. представлена методика оценки деградации характеристик полевых СВЧ транзисторов и усилителей приемного тракта РЛС под воздействием импульсов СВЧ мощности. В этой ситуации коэффициент шума транзистора F может заметно увеличиться, а коэффициент усиления K уменьшиться. Время восстановления этих характеристик может быть довольно велико. Одним из основных механизмов, отвечающих за этот эффект является перезарядка глубоких энергетических уровней в буферном слое структуры транзистора, которая приводит к появлению дополнительной проводимости по буферному слою и, соответственно, к изменению коэффициентов шума и

усиления. Измерение коэффициента шума в паузе между импульсами СВЧ мощности ($P_{\text{имп}}$), попадающими на вход транзистора, представляется весьма проблематичным. Поэтому был проведен эксперимент, заключающийся в последовательно-ступенчатом увеличении импульсной мощности на входе транзистора и одновременном измерении в паузах между импульсами усредненных значений тока стока (I) и коэффициента усиления (K_F) транзистора. На основе теории расчета тепловых шумов выведена формула, связывающая изменение во времени усредненного значения коэффициента шума полевого транзистора со средними значениями тока стока и коэффициента усиления:

$$\overline{F(t)} \approx 1 + \frac{K_F^0 \cdot \overline{I(t)}}{K_F(t) I_0} (F_{\text{min}} - 1)$$

Эта формула позволяет провести нижнюю оценку обратимых изменений коэффициента шума в зависимости от уровня падающей СВЧ мощности.

Проведена оценка, как появление дополнительной паразитной проводимости в транзисторе влияет на характеристики двухкаскадного усилителя, предназначенного для работы в приемном модуле РЛС. В усилителе с однополярной схемой питания дополнительная проводимость в транзисторе изменяет напряжение на его затворе при попадании на вход усилителя импульса СВЧ мощности. Для расчета новой рабочей точки использовалась нелинейная модель транзистора. Расчеты показали, что коэффициент шума усилителя в этой ситуации увеличился более чем на 2 дБ, а падение коэффициента усиления составило более 3 дБ. В усилителе с двухполярным питанием при попадании на его вход импульса мощности рабочая точка транзистора оста-

ется постоянной. Но и в этом случае дополнительная паразитная проводимость в транзисторе достаточно сильно влияет на выходные характеристики усилителя: коэффициент усиления уменьшился на 1дБ, а коэффициент шума на центральной частоте вырос с 1,75 дБ до 2,7 дБ.

Во второй главе приведен обзор методов проектирования малошумящих и мощных усилителей СВЧ, современных методик построения нелинейных моделей мощных СВЧ транзисторов, их достоинства и недостатки. Изложены трудности, возникающие при проектировании мощных усилителей, связанные с конструкцией современного мощного транзистора с большой шириной затвора. Приведены результаты проектирования мощных внутрисогласованных транзисторов и мощных гибридных усилителей X – диапазона для передающих трактов АФАР.

В разделе 2.1 приведено описание современной системы проектирования интегральных устройств СВЧ. Такая система включает в себя пакеты расчетных программ, пакеты графических программ, измерительную аппаратуру, необходимую для измерения статических и СВЧ параметров, в том числе и оборудование для проведения измерений на кристаллах. Описаны этапы проектирования малошумящих и мощных усилителей СВЧ.

В разделе 2.2 описаны особенности проектирования малошумящих СВЧ усилителей с применением корректирующих цепей. Применение корректирующих цепей представляется обоснованным тогда, когда разработанный усилитель удовлетворяет требуемым техническим условиям, но является неустойчивым на частотах, удаленных от рабочей полосы частот. Приведены результаты пре-

одоления подобных проблем для малошумящего двухкаскадного усилителя приемного тракта РЛС. Поскольку возбуждение усилителя происходило на частотах вне его рабочей полосы частот, для перевода усилителя в устойчивое состояние решено было установить на входе усилителя корректирующий фильтр. Проведен анализ различных вариантов построения корректирующего фильтра. Экспериментальные исследования усилителя с включенным на его входе полосно-пропускающим фильтром на двух связанных микрополосковых линиях показали, что усилитель стал устойчивым во всем исследуемом диапазоне частот, а его СВЧ характеристики в рабочей полосе частот не ухудшились.

В разделе 2.3 проанализированы проблемы, встречающиеся при проектировании усилителей с суммированием мощности нескольких транзисторов, приведен обзор современных методик построения нелинейных моделей мощных СВЧ транзисторов, описаны результаты разработки нелинейной модели для полевых транзисторов на псевдоморфных гетероструктурах с селективным легированием и длиной затвора около 0,25 мкм.

Изложены трудности, возникающие при моделировании усилителя с согласующими цепями, формируемыми на подложке с большой диэлектрической проницаемостью ϵ . Компактность упаковки элементов согласования обуславливает сильную связь между ними, которую нужно учитывать в расчетах. Использование стандартных моделей связанных линий приводило к возникновению неустойчивостей решений нелинейных задач, и, как следствие, к невозможности проведения оптимизационных расчетов. Для решения этих проблем

была разработана методика, заключающаяся в замене в модели усилителя системы связанных микрополосковых линий системой эквивалентных независимых линий. Параметры эквивалентных линий рассчитывались по программе трехмерного моделирования.

Приведены результаты моделирования первых отечественных мощных ВСТ и усилителей мощности для АФАР X – диапазона. На примере ВСТ X – диапазона частот показано, что результаты расчетов выходных характеристик ВСТ по нелинейной модели дают удовлетворительное совпадение с экспериментальными данными.

Описаны особенности конструкции двухкаскадного гибридного мощного усилителя X – диапазона для передающих каналов АФАР.

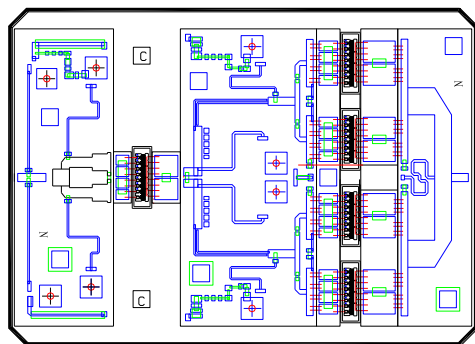


Рис. 1

На рисунке 1 представлен рисунок топологии двухкаскадного гибридного мощного усилителя. В цепях согласования затворов и стоков транзисторов используются элементы, выполненные на подложке с большим значением диэлектрической проницаемости ($\epsilon = 80$). Выявлено, что трехмерные неоднородности схемы усилителя (близкое расположение краев плат, зазоры между платами) оказывают существенное влияние на выходные характеристики усилителя. Программы двумерного моделирования не могут учесть эти неоднородности. Поэтому

было проведено теоретическое исследование по определению эквивалентных схем таких неоднородностей. Проведено трехмерное и двухмерное моделирование элементов согласующих схем усилителя. Эквивалентная схема трехмерных неоднородностей была выбрана в виде T- сочленения емкости на землю и индуктивностей на проход. Сопоставление результатов трехмерного и двухмерного моделирований позволило определить значения элементов эквивалентных схем трехмерных неоднородностей схемы усилителя. Проведено моделирование схемы усилителя с учетом трехмерных неоднородностей для различных вариантов заполнения зазоров между платами (воздух, припой). Показано, что различные особенности сборки усилителя могут приводить к уменьшению его выходной мощности, сдвигу рабочей полосы частот. Сопоставление с экспериментом подтвердило результативность такого подхода к моделированию мощных гибридных усилителей. На рисунке 2 приведены расчетная (сплошная кривая) и экспериментальные (для трех образцов усилителей) частотные зависимости выходной мощности двухкаскадного гибридного усилителя.

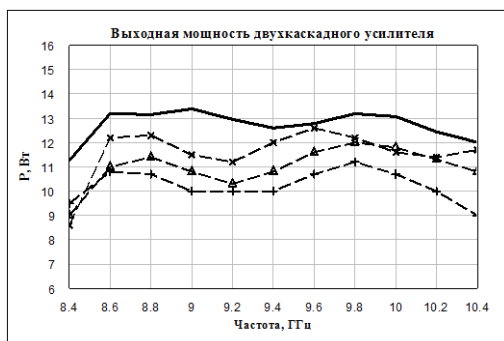


Рис. 2

В третьей главе описываются способы подавления паразитного самовозбуждения малошумящих и мощных усилителей X – диапа-

зона. Приведен краткий обзор методов анализа устойчивости усилителей, описаны способы подавления паразитной генерации в разработанных для РЛС маломощных и мощных усилителях.

В разделе 3.1 анализируется процедура оценки устойчивости схемы усилителя. Сложность решения проблемы самовозбуждения связана с тем, что анализ устойчивости проводится для законченного проекта усилителя, и наличие в схеме паразитной генерации приводит к забраковке выполненного проекта.

В разделе 3.2 рассмотрены методы повышения устойчивости, применимые к маломощным усилителям. Показано, что повысить устойчивость усилителя можно, используя диссипативные согласующие цепи. Вторым схемотехническим решением этой задачи является введение отрицательной обратной связи в активном элементе усилителя.

В разделе 3.3 описываются особенности обеспечения устойчивой работы усилителей мощности. Наличие нескольких элементарных транзисторов в общем чипе мощного транзистора, общие цепи питания многокаскадного прибора приводят к появлению петель обратной связи, которая может оказаться положительной на краях рабочей полосы частот, или за ее пределами. Рассмотрены способы подавления паразитной генерации, примененные при разработке первых отечественные мощных ВСТ S-, X-, K_u- диапазонов.

Изложены особенности проектирования импульсного 10 ваттного усилителя мощности K_u – диапазона. В выходном каскаде усилителя для деления мощности применен модифицированный мост, плечи которого представляют собой полосно-пропускающий фильтр на двух связанных микрополосковых линиях длиной $\lambda/4$. Совмещение функ-

ций делителя и фильтра позволило на малой площади одновременно решить проблемы деления мощности, развязки по постоянному току и обеспечить устойчивость усилительного каскада вне рабочей полосы частот.

В заключении сформулированы основные полученные результаты:

1. Разработан метод расчета шумовых характеристик линейных усилителей произвольной топологии.
2. Разработана методика оценки изменения коэффициента шума полевого транзистора под воздействием импульсов СВЧ мощности. Показано, что усилители с униполярным питанием более чувствительны к воздействию импульсов СВЧ мощности, чем усилители с двухполярным питанием.
3. Разработана методика моделирования согласующих цепей мощных усилителей, основанная на замене системы связанных микрополосковых линий, выполненных на подложке с большой диэлектрической проницаемостью, системой эквивалентных одиночных линий.
4. Разработаны поправки в виде Т-образной эквивалентной схемы к двумерным моделям элементов согласующих цепей гибридных усилителей, выполненных на подложке с $\epsilon \approx 80$.
5. Показано, что трехмерные неоднородности (края плат, зазоры между платами) схемы гибридного усилителя мощности, в котором используются платы с $\epsilon \approx 80$, могут существенно искажать выходные СВЧ характеристики усилителя.
6. Предложена топология и выполнено теоретическое исследование схемы двухкаскадного усилителя мощности, в которой

сумматоры и делители мощности являются элементами согласования, а для разделения каскадов используется полосно-пропускающий фильтр на двух связанных микрополосковых линиях. Показано, что такая схема построения усилителя позволяет исключить его внеполосное возбуждение.

Публикации по теме диссертации в журналах из перечня ВАК.

1. Манченко Л.В. Программа расчета передаточных и шумовых характеристик полевых СВЧ транзисторов в различных схемах включения // Электронная техника. Сер.1. Электроника СВЧ. - 1986. -Вып.3. - С. 76.
2. Манченко Л.В. Метод расчета шумовых характеристик линейных усилителей СВЧ произвольной топологии //Электронная техника. Сер.1. Электроника СВЧ. - 1988. - Вып.9. - С. 35.
3. Манченко Л.В. Определение шумовых параметров полевого СВЧ транзистора по экспериментальным значениям его коэффициента шума // Электронная техника. Сер.1. Электроника СВЧ. -1989. -Вып.4. - С. 18.
4. Балько А.К., Манченко Л.В., Мартынов Я.Б. Методика расчета сверхширокополосных усилителей на полевых транзисторах // Электронная техника. Сер.1. Электроника СВЧ.- 1985.-Вып.4. - С.32-36.
5. Манченко Л.В., Мавлютова Р. Ш. Программа расчета четырех шумовых параметров полевого СВЧ транзистора на основе измерений его коэффициента шума // Электронная техника. Сер.1. Электроника СВЧ. - 1990. - Вып.8. - С. 64.
6. Балько А.К., Козлов Г.П., Манченко Л.В., Юсупова Н.И. Моделирование источников тока в эквивалентной схеме полевого транзистора по результатам измерения вольт - амперной характеристики // Радиотехника и электроника.- 1995.- Т.40.- №. 4.- С. 659-664.
7. Балько А.К., Васильев В.И., Гусельников Н.А., Левашов А.С., Лисицын А.А., Манченко Л.В., Родионов А.Д. Расчет фильтров СВЧ с заданными уровнями ослабления на двух частотах //

- Электронная техника. Сер.1. СВЧ – техника. - 1998. – Вып.2. - С. 59-65.
8. Балыко А.К., Гусельников Н.А., Левашов А.С., Лисицын А.А., Манченко Л.В., Мишичев М.А., Родионов А.Д., Юсупова Н.И. Синтез полосовых резистивных фильтров СВЧ с заданной величиной затухания на субгармонике основной частоты// Электронная техника. Сер.1. СВЧ – техника. - 1999. – Вып.1. - С. 40-45.
 9. Балыко А.К., Васильев В.И., Гусельников Н.А., Левашов А.С., Мишичев М.А., Манченко Л.В., Погорелова Э.В., Родионов А.Д., Юсупова Н.И. Разработка и исследование усилителя на ПТШ с корректирующими фильтрами // Электронная техника. Сер.1. СВЧ – техника. - 2000. – Вып.1. - С. 14-22.
 10. Балыко А.К., Васильев В.И., Гусельников Н.А., Левашов А.С., Манченко Л.В., Юсупова Н.И. Широкополосный малошумящий усилитель на полевых транзисторах с барьером Шотки // Радиотехника. - 2000 - № 2. - С. 83-88.
 11. Алексеенков В.И., Балыко А.К., Васильев В.И., Галдецкий А.В., Манченко Л.В., Рукавицын А.Ф., Ушаков М.А., Семенов Г.А., Виноградова М.Ю. Определение шумовых параметров транзистора методом эквивалентных схем на основе измерения S – матрицы и выходной мощности шума // Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ. – 2004. – Вып.2. – С. 4 - 19.
 12. Баранов И.А., Климова А.В., Манченко Л.В., Обрезан О.И., Пашковский А.Б. Оценка влияния глубоких уровней в буферном слое на характеристики транзисторов и малошумящих усилителей при воздействии импульсов СВЧ мощности на входе // Радиотехника. – 2006. – № 3. – С. 34-42.
 13. Климова А.В., Королев А.Н., Красник В.М., Манченко Л.В., Пчелин В.А. Сравнение нелинейных моделей для транзисторов с субмикронным затвором//Радиотехника. – 2006. – № 3. – С.54-59
 14. Галдецкий А.В., Климова А.В., Манченко Л.В., Пашковский А.Б., Пчелин В.А., Силин Р.А., Чепурных И.П. Особенности проектирования согласующих цепей мощных полевых транзисторов на керамике с высокой диэлектрической проницаемостью // Электронная техника. Сер.1. СВЧ – техника.– 2006. – Вып.2. – С.26 – 28.
 15. Красник В.М., Манченко Л.В., Пашковский А.Б., Потапова Т.И., Пчелин В.А. Нелинейная модель гетероструктурных полевых

- транзисторов с субмикронным затвором на гетероструктурах с селективным легированием // Электронная техника. Сер.1. СВЧ – техника. – 2007. – Вып.4. – С. 25–28.
16. А.В.Галдецкий, А.В.Климова, Л.В.Манченко, А.Б.Пашковский, В.А.Пчелин, Р.А.Силин, И.П.Чепурных. Системы связанных линий на керамике с высокой диэлектрической проницаемостью и моделирование согласующих цепей мощных полевых транзисторов. // Радиотехника. – 2007. – №3. – С. 57–58.
 17. Галдецкий А. В., Климова А. В., Манченко Л. В., Пчелин В. А. Сложение мощностей трех полевых транзисторов в двухсантиметровом диапазоне длин волн // Радиотехника. – 2007. – №3. – С. 50–52.
 18. Королев А.Н., Климова А.В., Красник В.А., Ляпин Л.В., Малыщик В.М., Манченко Л.В., Пчелин В.А., Трегубов В.Б. Мощные корпусированные внутрисогласованные транзисторы S-, C-, X- и Ku- диапазонов длин волн. // Радиотехника. – 2007. – №3. – С. 53-56.
 19. Бабинцев Д.В., Королев А. Н., Климова А. В., Красник В.А., Ляпин В.Г., Малыщик В. М., Манченко Л. В., Пчелин В. А., Трегубов В. Б. Язан В.Ю. Мощный твердотельный импульсный усилитель двухсантиметрового диапазона. // Радиотехника. – 2007. – №3. – С. 41-42.
 20. Капралова А.А., Лукашин В.М., Манченко Л.В., Пашковский А.Б. Уменьшение погрешности контактирования при измерении параметров мощных полевых транзисторов. // Радиотехника. – 2011. – № 6. – С. 72–77.

Другие публикации по теме диссертации.

1. Климова А. В., Королев А. Н., Красник В. М., Манченко Л. В., Пчелин В. А. Сравнение нелинейных моделей 5Вт транзисторов с субмикронным затвором ФГУП НПП «ИСТОК». // Материалы 15 Международной Крымской конференции «СВЧ техника и телекоммуникационные технологии», 2005. Севастополь. "Вебер". - С. 474 -475.
2. Пчелин В.А., Манченко Л.В. Малыщик В.М. Разработка ВСТ 3см и 2см диапазонов длин волн с Rвых 5Вт // Материалы 14 отраслевого координационного семинара по СВЧ технике, п. Хахалы Нижегородской обл., 5-8 сентября. 2005. - С.74-76.

3. Галдецкий А.В., Климова А.В., Манченко Л.В., Пашковский А.Б., Пчелин В.А., Силин Р.А., Чепурных И.П. Моделирование согласующих цепей мощных полевых транзисторов на керамике с высокой диэлектрической проницаемостью. // Материалы 16 Международной Крымской конференции "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии". 2006. Севастополь. "Вебер". - С.215-216.
4. Галдецкий А.В., Климова А.В., Манченко Л.В., Пчелин В.А. Суммирование трех мощных полевых транзисторов в двухсантиметровом диапазоне длин волн. // Материалы 16 Международной Крымской конференции "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии" 2006. Севастополь. "Вебер". С.165-166
5. Королев А.Н., Климова А.В., Красник В.А., Ляпин Л.В., Малыщик В.М., Манченко Л.В., Пчелин В.А., Трегубов В.Б. Ряд внутрисогласованных транзисторов высокой мощности 10, 5, 3, 2 см диапазона длин волн ФГУП НПП «ИСТОК» // Материалы 16 Международной Крымской конференции "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии" 2006, Севастополь. "Вебер". С. 167-168.
6. Королев А. Н., Климова А. В., Малыщик В. М., Манченко Л. В., Пчелин В. А., Трегубов В. Б. Мощный импульсный твердотельный усилитель двухсантиметрового диапазона длин волн ФГУП НПП «ИСТОК» // Материалы 16 Международной Крымской конференции "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии" 2006. Севастополь. "Вебер". - С. 169-170.
7. Красник В.М., Манченко Л.В., Пашковский А.Б., Потапова Т.И., Пчелин В.А. Нелинейная модель гетероструктурных полевых транзисторов с субмикронным затвором ФГУП НПП «ИСТОК». // Материалы 17 Международной Крымской конференции "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии" 2007. Севастополь. "Вебер".- С. 69-70.
8. Ляпин Л.В., Манченко Л.В., Пчелин В.А., Трегубов В.Б. Внутрисогласованный транзистор X-диапазона с повышенным коэффициентом усиления и КПД // Материалы 18 Международной Крымской конференции "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии" 2008. Севастополь. "Вебер".- С. 69-70.
9. Галдецкий А.В., Манченко Л.В., Пашковский А.Б., Пчелин В.А. Подавление самовозбуждения в мощных самосогласованных транзисторах X-диапазона с повышенным коэффици-

- ентом усиления // Материалы 18 Международной Крымской конференции "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии". 2008. Севастополь. "Вебер". - С. 75-76.
10. Капралова А.А., Манченко Л.В., Пчелин В.А. Уменьшение погрешности контактирования при восстановлении эквивалентных схем мощных полевых транзисторов // Материалы 19 Международной Крымской конференции "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии". 2009. Севастополь. "Вебер". С. 121-122.
 11. Манченко Л.В., Пчелин В.А., Трегубов В.Б. Двухкаскадный усилитель мощности на гетероструктурных полевых транзисторах ФГУП «НПП «Исток» // Материалы 20 Международной Крымской конференции "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии". 2010. Севастополь. "Вебер". С. 127-128.
 12. Далингер А.Г., Корчагин И.П., Малыщик В.М., Манченко Л.В., Пчелин В.А., Трегубов В.Б. Гибридно- интегральные малогабаритные усилители мощности для передающих каналов АФАР // Материалы XVII координационного научно-технического семинара по СВЧ технике, пос. Хахалы Нижегородской обл., 6-8 сентября 2011. С. 108-110.
 13. Пчелин В.А., Корчагин И.П., Малыщик В.М., Галдецкий А.В., Манченко Л.В., Капралова А.А. Двухкаскадный усилитель Х-диапазона с выходной мощностью 17 Вт на элементарной базе ФГУП «НПП «Исток» // Материалы 21 Международной Крымской конференции "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии". 2011. Севастополь. "Вебер". - С. 135-136.
 14. Трегубов В.Б., Пчелин В.А., Манченко Л.В. Оптимизация структурной схемы усилителя мощности Х-диапазона // Материалы 21 Международной Крымской конференции "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии". 2011. Севастополь. "Вебер". - С. 137-138.
 15. Капралова А.А., Манченко Л.В., Пашковский А.Б., Потапова Т.И., Чепурных И.П. Влияние особенностей сборки на характеристики мощных транзисторных усилителей // Материалы 21 Международной Крымской конференции "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии". 2011. Севастополь. "Вебер". - С. 139-140.

Подписано в печать

Формат 60x80/16. Объём 1 усл.- печ. листов.

Тираж 50 экз. ризограф ОАО «Исток Аудио Интернэйшнл»