

На правах рукописи

ПЧЕЛИН Виктор Андреевич



УДК.621.385.6

**СОЗДАНИЕ МОЩНЫХ СВЧ УСИЛИТЕЛЕЙ НА
ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРАХ НА ОСНОВЕ
РАЗРАБОТАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РАСЧЕТНЫХ
МЕТОДИК**

**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 2007г.

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

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук Пашковский Андрей Борисович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Зырин Станислав Сергеевич,

кандидат технических наук Кищинский Андрей Александрович

Ведущая организация ФГУП КБ «Аметист» г. Москва.


Защита состоится 29 мая 2007г. в 14 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 28 апреля 2007г.

Учёный секретарь

диссертационного совета

кандидат физико-математических наук  Погорелова Э.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Твердотельные усилители мощности (УМ) являются основным элементом в передающих каналах РЛС, АФАР, системах связи, аппаратуре радиолокационного противодействия, специального назначения и в настоящее время УМ на полевых транзисторах обеспечивают величину мощности от единиц до нескольких десятков ватт в сантиметровом диапазоне длин волн.

Широкое применение нашли монолитные интегральные схемы (МИС), позволяющие получить необходимые уровни мощности и обеспечивающие высокие коэффициент усиления (K_y) и КПД при малых габаритах. Однако, на сегодняшний день отечественные разработки в этой области пока отстают от зарубежных аналогов.

В передающих каналах РЭА так же применяются внутрисогласованные транзисторы (ВСТ), представляющие собой транзисторные структуры с согласующе-суммирующими цепями, заключенные в металлокерамический корпус. На мировом рынке в основном задействованы две компании Fujitsu и Toshiba, выпускающие ВСТ.

Требования экономической независимости и национальной безопасности приводят к необходимости оперативного проектирования и создания большого числа УМ исключительно на отечественной элементной базе, номенклатура и параметры которой пока не установились и быстро меняются. Исходя из этого, специфика представленной работы заключается в том, что практически все УМ разрабатывались и выпускались с учётом этих требований. Выходная мощность лучших отечественных полевых транзисторов до недавнего времени составляла 0,7...1,5Вт в диа-

пазоне от 1 до 9 ГГц и 250...300 мВт в диапазоне от 9 до 18 ГГц. В связи с этим, в выходных каскадах УМ приходилось суммировать мощность большого количества (до 16 шт.) СВЧ транзисторов. В последних разработках применялись новые транзисторы, выпускаемые ФГУП «НПП «Исток», с выходной мощностью 5Вт и потребовалось решать сложные задачи, связанные с согласованием и технологией монтажа для получения первых отечественных корпусированных ВСТ и УМ с параметрами, соответствующими уровню современных зарубежных аналогов.

Вопросы расчёта и проектирования УМ на ПТШ отражены во множестве статей и научных работах, однако, при разработке УМ возникают проблемы, связанные с конкретным применением в аппаратуре, особенностями измерений электрических параметров ПТШ и использованием существующей элементной базы. Выбор оптимальных схем согласования и суммирования мощности при заданных габаритах канала, определение электрических характеристик (моделей) транзисторов в широком (октава и более) диапазоне частот, технологические вопросы монтажа и сборки узлов, влияющих на электрические параметры усилителей - неполный перечень проблем, которые необходимо решить при проектировании передающих каналов. Это приводит, в ряде случаев, к разработке дополнительных методик, ускоряющих и дополняющих общепринятые методы проектирования УМ.

Цель работы – создание экспериментально-расчетных методик и разработка на их основе мощных СВЧ усилителей и внутрисогласованных транзисторов.

Постановка задачи – для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- разрабатывался амплитудный метод оперативного определения входного и выходного импеданса СВЧ транзисторов;

- рассчитывались "S" – параметры транзисторов с помощью амплитудного метода;

- разрабатывались экспериментально-расчётные методики определения входных и выходных импедансов мощных СВЧ транзисторов, работающих в режиме большого сигнала с помощью сформированных на подложке геометрически правильных топологий из индиевой фольги (метод «слепков»);

- с помощью «слепков» проектировались малогабаритные согласующие и суммирующие цепи для усилителей мощности бортовой аппаратуры и АФАР длинноволновой части см диапазона, а также определялись согласующее - суммирующие цепи (ССЦ) для ВСТ;

- с использованием представленных методик определялись и уточнялись электрические параметры секции мощных СВЧ транзисторов для проектирования УМ АФАР и ВСТ коротковолновой части сантиметрового диапазона длин волн;

- применялись балочные выводы с целью улучшения электрических характеристик УМ и упрощения технологии сборки усилителей;

- использовались подложки с высоким значением ϵ и сосредоточенные элементы для согласования мощных транзисторов, которые также уменьшали габариты ССЦ.

Объектом исследования служат – мощные полевые СВЧ транзисторы с большой шириной затвора, их электрические характеристики, измеренные в режиме большого сигнала.

Предметом исследования служат – расчёт и экспериментальное обследование согласующих и суммирующих цепей транзисторов, усилителей мощности для АФАР, ВСТ и специальной аппаратуры, материалы и технология изготовления усилителей мощности.

Научная новизна. В диссертации впервые получены следующие результаты:

1. Разработан оперативный экспериментально-расчетный метод определения входных и выходных импедансов и S- параметров транзистора, основанный на измерении отражённой и проходящей через транзистор СВЧ мощности.

2. Разработана экспериментально-расчетная методика определения СВЧ параметров транзистора с большой шириной затвора, работающего в режиме большого сигнала.

3. Введено совместное использование балочных выводов и сосредоточенных элементов, значительно улучшающих электрические характеристики, упрощающих процессы сборки и уменьшающих габариты усилителей с большим числом ПТШ.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Разработанные оригинальные экспериментально-расчетные методики позволяют определять входные и выходные импедансы мощных полевых транзисторов, работающих в нелинейном режиме, их малосигнальные S – параметры, а также проводить экспресс - проверку нелиней-

ных моделей без использования векторных анализаторов и специального оборудования для измерения S – параметров в режиме большого сигнала.

2. Совместное использование сосредоточенных элементов и балочных выводов приводит к уменьшению габаритов, улучшению выходных характеристик, повышению надежности и упрощению сборки усилителей мощности L – (1 - 2 ГГц) и S – (2 - 4 ГГц) диапазона с большим количеством транзисторов.

3. Учет поперечных фазовых набегов позволяет проектировать для K_u - диапазона (12 - 18 ГГц) согласующие цепи с минимальным количеством звеньев без схемы деления мощности для транзисторов с большими поперечными размерами.

Практическая ценность работы.

Разработаны оперативные методики определения СВЧ параметров мощных полевых транзисторов, предложен метод улучшения характеристик и уменьшения размеров УМ и разработаны твердотельные усилители мощности для АФАР в области частот: L- (1 - 2 ГГц), S- (2 - 4 ГГц), C- (4 - 8 ГГц), X- (8 - 12 ГГц) части диапазона длин волн, первые отечественные ВСТ S-, X-, K_u - диапазона, мощный импульсный усилитель K_u - диапазона, передающий канал для радиорелейных линий связи (PPC) K_u - диапазона.

Апробация результатов работы.

Результаты работы опубликованы в материалах международных и российских конференций «СВЧ- техника и телекоммуникационные технологии», «КрыМикО» 10-14 сентября 2001г., 12-16 сентября 2005г, 9-16

сентября 2006г., Севастополь, «Intermatic-2004» «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения» 7-10 сентября 2004г., МИРЭА, г. Москва, «14 отраслевой координационный семинар по СВЧ технике», 5-8 сентября 2005г., пос. Хахалы, Нижегородской обл., «Четвёртая Международная конференция «Циклон», г. Ставрополь, октябрь 2002г.

Освоено мелкосерийное производство октавных усилителей мощности для АФАР L - и S - диапазонов. Проводились поставки УМ для АФАР S-, C- и X- диапазонов, а также получены опытные образцы 10 Вт усилителей K_u – диапазона и ВСТ мощностью 5...10 Вт, S-, C-, X-, K_u - диапазонов.

Публикации. По материалам работы автором опубликовано 26 печатных работ, получены 2 патента РФ.

Объём работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы. Работа выполнена на 110 страницах текста, содержит 64 рисунков, 2 таблицы и список литературы из 80 наименований.

Содержание и результаты работы.

Во введении дано обоснование актуальности темы 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 краткий обзор современных методик построения нелинейных моделей мощных СВЧ транзисторов, их достоинства и недостатки.

В разделе 1.1 описана специальная методика и представлена автоматизированная измерительная установка для получения параметров нелинейных (и линейных, как частный случай) моделей полевых СВЧ транзисторов средней мощности, в которой использовались векторный анализатор цепей, управляемый от персонального компьютера блок установки статических и импульсных режимов питания транзистора. Установка управляется компьютером, позволяющим в едином цикле провести весь комплекс необходимых измерений, обработать результаты с аппроксимацией нелинейных параметров формулами модели Матерки - Каспрчака и сформировать библиотечную модель транзистора.

В процессе работы имелась возможность визуального контроля измерений и результатов расчетов по формулам модели. Это относится к частотным зависимостям S-параметров для типового режима питания транзистора, к вольтамперным характеристикам, к режимным зависимостям емкостей C_{gs} , C_{dg} , к вольтамперным характеристикам прямого тока затвора I_g и тока пробоя сток-затвор. Продемонстрировано хорошее совпадение результатов расчетов с экспериментом.

В разделе 1.2. анализируются трудности, возникающие при построении нелинейных моделей, рассматриваются пути их преодоления и приводится один из вариантов методик построения нелинейной модели Матерки – Каспрчака. Предложенная методика имеет два основных преимущества:

1. Максимальная достижимая близость измеренных S – параметров транзистора и S – параметров нелинейной модели в окрестностях рабочей точки.
2. Значительное ускорение построения модели за счет исключения операций ручной подстройки и аппроксимаций нелинейных элементов.

В разделе 1.3. Проводится сравнение двух основных классов нелинейных моделей, отличающихся по сути лишь описанием ВАХ и двух нелинейных емкостей. К первой группе относятся модели типа «Materka – Kasparzak» или «Curtice – Ettenberg», ко второй различные варианты модели «Angelov». Анализируются их достоинства и недостатки. Формулируются основные требования к нелинейной модели полевого транзистора с субмикронным затвором. На основе сравнения с экспериментальными данными обеих моделей делается вывод, что для обычных ПТШ с субмикронным затвором более предпочтительно использование обычных (менее сложных) моделей первого типа.

Во второй главе приведены амплитудные методы измерения характеристик полевых СВЧ транзисторов.

В разделе 2.1 описан амплитудный метод определения импедансов транзистора (патент РФ № 2.088.946. – Приоритет от 24.07.1992.). Метод основан на измерении амплитуды проходящей и отраженной волны от транзистора с согласованной нагрузкой. Приведены формулы, позволяющие получить значения входного и выходного импедансов транзистора. Метод отличается простотой, дешевизной применяемой аппаратуры и высокой оперативностью. Приведены характеристики конкретного типа транзисторов, показано приемлемое совпадение ре-

зультатов расчетов с экспериментом. Эффективность метода продемонстрирована на примере разработки усилителя мощности для РРС K_u – диапазона.

В разделе 2.2 описан метод получения S - параметров четырехполюсников с использованием амплитудных измерений. Приводится схема устройства измерений, позволяющая подключать к четырехполюснику различные эталонные нагрузки. Описана методика, схема измерений и расчетные формулы для определения S - параметров четырехполюсников. Найденные нормированные величины Y-параметров четырёхполюсника пересчитываются в S-параметры по известным формулам. Приведены результаты измерений транзистора ЗП604А-2 и его рассчитанные S – параметры.

В третьей главе проанализированы проблемы, встречающиеся при проектировании усилителей мощности, в первую очередь вопросы, касающиеся разработки усилителей мощности АФАР L – и S – диапазонов длин волн. Изложены трудности, возникающие при определении параметров мощных транзисторов, работающих в нелинейном режиме. Проанализированы технологические проблемы, возникающие при сборке усилителей, возможные пути решения.

В разделе 3.1 описана методика определения электрических характеристик транзистора и параметров согласующих цепей на сосредоточенных элементах с помощью «слепков». На ее основе разработан передающий канал АФАР и УМ L – и S – диапазонов с октавными полосами частот. Для обеспечения рабочей полосы частот и уменьшения температуры сборки усилительных каскадов использовались специальные бабочные выводы транзисторов. Представлены результаты расчётов и из-

мерений электрических параметров передающего канала. Показано, что применение согласующих цепей с использованием сосредоточенных элементов позволяет значительно (в 2 – 3 раза) уменьшить габаритные размеры УМ и разместить его в передающем канале.

В разделе 3.2 описаны суммирующие цепи на сосредоточенных элементах, одновременно выполняющие функцию согласования (ССЦ). Приведены методики определения параметров согласующих конденсаторов и элементов монтажа. Показана возможность использования миниатюрных сумматоров Вилкинсона на сосредоточенных элементах в качестве ССЦ. Представлены результаты расчётов и измерений электрических параметров передающего канала. Показано, что применение согласующих цепей с использованием сосредоточенных элементов позволяет значительно (в 2 – 3 раза) уменьшить габаритные размеры УМ и разместить его в передающем канале. Внешний вид УМ АФАР S-диапазона показан на рис. 1.

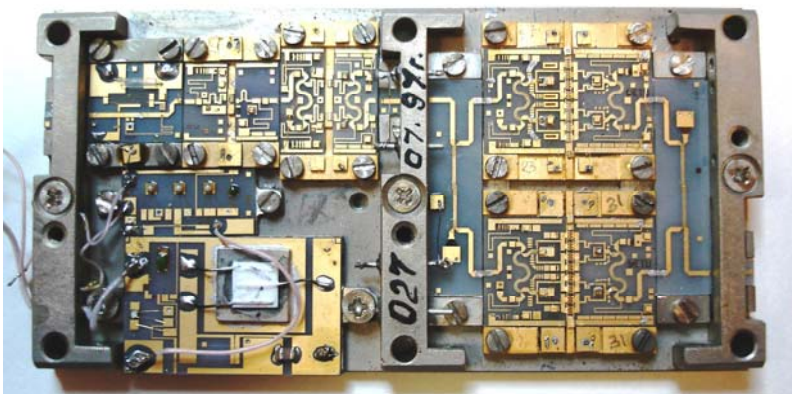


Рис.1 Внешний вид УМ АФАР S-диапазона с $P_{\text{вых}} = 10\text{Вт}$.

На этом принципе разработан первый отечественный внутрисогласованный транзистор S – диапазона с выходной мощностью более 10 Вт, разработка которого подробно описана в разделе 3.3.

В разделе 3.3 описана разработка внутрисогласованного транзистора с выходной мощностью 10 Вт, работающего в диапазоне частот 2,7...3,0 ГГц. Транзистор согласовывался с помощью согласующе-суммирующих цепей на сосредоточенных элементах. Применение кристалла с шириной затвора около 13,4 мм и потребляемым током 2,5А делают невозможным измерение всего кристалла, в частности, S-параметров, нагрузочных входных и выходных сопротивлений, вольт-фарадных и вольт-амперных характеристик. Поэтому подробно обследовалась в заданном частотном диапазоне одна секция, составляющая $1/8$ часть кристалла. Создавалась модель секции, работающая в режиме большого сигнала, проводилось измерение её электрических характеристик ($P_{\text{вых}}$, K_u) в тестовых микрополосковых согласующих топологиях в заданном частотном диапазоне, измерялись нагрузочные характеристики по методикам, представленным выше. После сравнений расчетов с экспериментом, расчетным путём создавалась топология согласования и суммирования мощности кристалла. С целью миниатюризации схем и упрощения профиля основания была выбрана подложка из поликора толщиной 0,3 мм. Внешний вид ВСТ приведён на рис. 2.

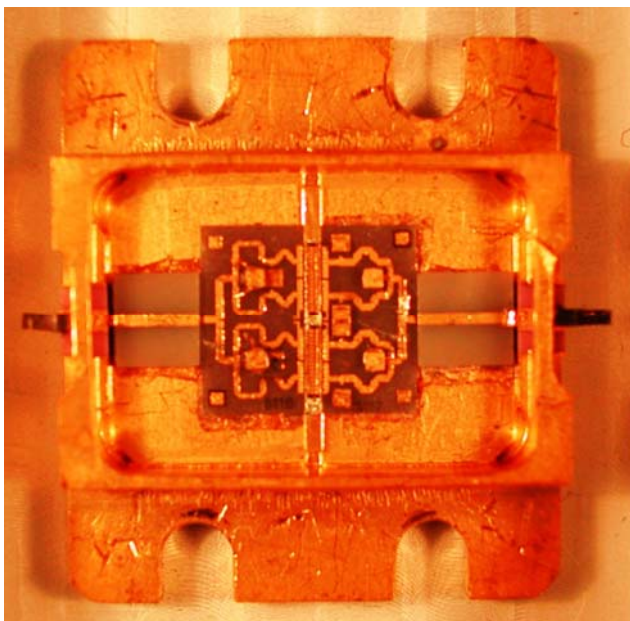


Рис.2 Внешний вид ВСТ S-диапазона.

В четвертой главе приведены результаты разработки первых отечественных внутрисогласованных транзисторов (ВСТ) S-, X -, K_u - диапазонов, 10 Вт усилителя мощности K_u – диапазона, а также предварительного усилителя и выходного усилителя мощности АФАР X – диапазона.

В разделе 4.1 описывается применение приведенных выше технических решений и методик, с помощью которых были разработаны усилители мощности и ВСТ для АФАР X – диапазона. Выходная импульсная мощность ВУМ при длительности импульса $\tau = 5$ мкс и $Q=4$ составляла $P=8...10$ Вт в диапазоне частот $9,0...9,4$ ГГц при коэффициенте усиления $8...9$ дБ и КПД $25...28\%$. Использование керамики с

высокой диэлектрической проницаемостью позволило решить задачи, связанные с согласованием УМ.

В разделе 4.2 приводятся результаты разработок ВСТ. Описываются особенности конструкций, моделирования, сравнение экспериментальных и расчетных данных. В результате работы были получены ВСТ со следующими электрическими параметрами.

Диапазон рабочих частот, ГГц	2,7-3,0 (лит.1)	5,9-6,4 (лит.2)	9,0-9,5 (лит.3)	14,1-14,5 (лит.4)
$P_{\text{вых max}}$, Вт, не менее	10	6-8	5	5
K_u , дБ не менее	8	7	6	5
КПД, %, не менее	25	22	20	18
U_c , В	7-8	7-8	7-8	7-8
I_c , А	4,0-4,8	4,0-4,8	2,0-2,4	2,0-2,4
Габариты, мм	21×24×5	21×24× 5	13× 21× 5	13× 21× 5
Масса, г, не более	15	15	8	8

Разработанные ВСТ S-, X-, K_u - диапазонов не имеют отечественных аналогов, по основным параметрам соответствуют зарубежным.

В разделе 4.3 описываются особенности разработки импульсного 10 ваттного усилителя мощности K_u – диапазона. Отмечено, что корректный учет поперечных фазовых набегов в мощных транзисторах с большим периодом структуры позволяет эффективно использовать кристаллы в усилителях мощности K_u диапазона со стандартными резонансными цепями согласования в предварительных каскадах усилителя. В выходных

каскадах применялись описанные выше методы согласования и суммирования мощности полевых транзисторов с малым периодом структуры. В результате был разработан усилитель мощности K_u -диапазона со следующими электрическими параметрами: выходная мощность $P_{\text{вых}}=9\text{...}11$ Вт, коэффициент усиления 35 – 38 дБ, при длительности управляющего импульса модуляции $\tau = 15$ мкс и скважности $Q = 10$. Неравномерность коэффициента усиления в любой части диапазона не превышает 0,3 дБ в полосе 100 МГц. Амплитудные и фазовые шумы модуля при отстройке 5 кГц не превышают величин минус 135 дБ/Гц и минус 120 дБ/Гц соответственно. Подавление входного сигнала в паузе между импульсами не менее 70 дБ за счёт затухания, вносимого усилительными каскадами при отсутствии напряжения на стоках (в паузе). Внешний вид УМ K_u -диапазона показан на рис.3.

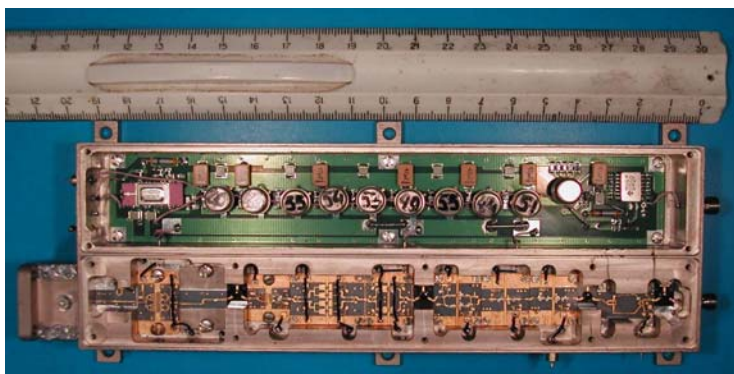


Рис.3 Внешний вид УМ K_u -диапазона.

В разделе 4.4 описываются преимущества и особенности балочных выводов при монтаже мощных полевых транзисторов (Патент РФ №2191492, приоритет 17.04.2000г.). Отмечено, что балочные выводы

дают возможность производить монтаж СВЧ – транзисторов при комнатной температуре. Тем самым исключаются термокомпрессионная сварка проволочных соединений транзисторов с платой (300 °С), покрытие золотом оснований усилительных каскадов, применение эвтектики золото – олово в качестве припоя. Всё выше перечисленное значительно упрощает процесс сборки и монтажа, за счет применения балок происходит увеличение частотного диапазона СВЧ – усилителей, и существенно снижает себестоимость производства УМ.

В заключении сформулированы основные полученные результаты:

1. Разработан оперативный экспериментально-расчетный метод определения входных и выходных импедансов транзистора, S- параметров, основанный на измерении отражённой и проходящей через транзистор СВЧ мощности.

2. Разработана экспериментально-расчетная методика определения параметров СВЧ транзистора с большой шириной затвора, работающего в режиме большого сигнала.

3. Введено совместное использование балочных выводов и сосредоточенных элементов, значительно улучшающих электрические характеристики и упрощающих процессы сборки усилителей с большим числом ПТШ.

4. Показано, что корректный учет поперечных фазовых набегов в мощных транзисторах с большим периодом структуры позволяет эффективно использовать кристаллы транзисторов в усилителях мощности

K_u диапазона без схемы деления мощности при минимальном количестве звеньев согласующих цепей.

С использованием разработанных методик был создан ряд мощных УМ на отечественных полевых транзисторах с параметрами, соответствующими современному уровню:

- УМ АФАР S – диапазона с $P_{\text{вых}} = 10$ Вт;
- УМ АФАР С – диапазона с $P_{\text{вых}} = 18$ Вт;
- октавные усилители мощности L – и S – диапазонов с $P_{\text{вых}}=7...10$ Вт;
- ряд ВСТ L-, S-, C-, X- диапазона с $P_{\text{вых}}=5...10$ Вт для широкого применения в РЛС, АФАР, систем связи и специальной аппаратуре;
- мощный импульсный усилитель K_u диапазона с $P_{\text{вых}}=9...11$ Вт;
- предварительный усилитель АФАР X – диапазона с $P_{\text{вых}}=1...1,5$ Вт;
- ВСТ для АФАР X – диапазона с $P_{\text{вых}}=8...10$ Вт.

Публикации по теме диссертации.

1. Пчелин В.А., Балыко А.К. Расчет и экспериментальное исследование микрополосковых усилителей на ЛПД // Электронная техника. Сер.1, Электроника СВЧ. - 1979. - Вып. 11. – С.93-94.
2. Балыко А.К., Пчелин В.А., Пругер А.А. Проектирование транзисторных усилителей СВЧ нетрадиционными методами // Электронная техника. Сер.1, Электроника СВЧ. - 1992. - Вып. 7. – С.17-22.
3. Балыко А.К., Пчелин В.А. Метод измерения входной проводимости четырехполюсника на СВЧ // Электронная техника. Сер.1, Электроника СВЧ. - 1994. - Вып. 4. – С.42-43.
4. Балыко А.К., Гусельников Н.А., Пчелин В.А., Юсупова Н.И. Теоретическое обоснование метода измерения S – параметров четырехполюсников на СВЧ // Электронная техника. Сер.1, СВЧ - техника. - 1997. - Вып. 1. – С.36-39.
5. Балыко А.К., Гусельников Н.А., Пчелин В.А., Юсупова Н.И. Теоретическое обоснование методов измерения импедансов двухполюсников и S-параметров четырехполюсников // Радиотехника и электроника - 1997. - Т.1. – № 2. - С.252-256.
6. Пчелин В.А. СВЧ – усилители мощности на сосредоточенных элементах // Электронная техника. Сер.1, СВЧ - техника. - 2000. - Вып. 1. – С.5-9.
7. Балыко А.К., Гусельников Н.А., Пчелин В.А., Юсупова Н.И. Моделирование усилителей мощности на полевых транзисторах //

- Электронная техника. Сер.1, СВЧ - техника. - 2001. - Вып. 2. – С.75-85.
8. Иовдальский В.А., Пчелин В.А., Моргунов В.Г., Васильев В.И. Применение выводных рамок полупроводниковых приборов в технологии ГИС СВЧ // Электронная техника. Сер.1, СВЧ - техника. - 2002. - Вып. 1. – С.57-61.
 9. Климова А.В., Королев А.Н., Красник В.М., Манченко Л.В., Пчелин В.А. Сравнение нелинейных моделей для транзисторов с субмикронным затвором. Радиотехника, 2006г. № 3, с. 72-77
 10. 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 №3, 2007г. Стр57-58.
 11. Применение выводных рамок полупроводниковых приборов в технологии ГИС СВЧ. Иовдальский В.А., Пчелин В.А., Моргунов В.Г., Чернобривец И.Н. // 11-я Международная конференция "СВЧ техника и телекоммуникационные технологии", 10-14 сентября 2001г. "Крымико-2001г." Севастополь, "Вебер" стр.460.
 12. Пчелин В.А., Иовдальский В.А., Моргунов В.Г., Васильев В.И. Применение выводных рамок ГИС СВЧ. // Электронная техника, Сер.1, СВЧ-техника, Вып.1(479), 2002г.Стр.51-61.
 13. Иовдальский В.А., Пчелин В.А., Моргунов В.Г. Совершенствование технологии соединений ГИС СВЧ. // Материалы четвёртой Международной конференции "Циклон" г. Ставрополь, октябрь 2002г. стр.66-68.

14. Применение выводных рамок в технологии ГИС СВЧ. // Пчелин В.А., Иовдальский В.А., Моргунов В.Г., Васильев В.И. Электродинамика и техника СВЧ, КВЧ и оптических частот. Том.10, Вып.3(35) г. Москва, 2002г., изд. МНТОРЭС им. Попова А.С. стр.154-159.
15. Иовдальский В.А., Пчелин В.А., Моргунов В.Г. / Малогабаритный балансный усилительный каскад для АФАР. // "Intermatic-2004". Материалы Международной научно-практической конференции "Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения." 7-10 сентября 2004г.М.: МИРЭА-ЦНИИ "Электроника" 2004г. часть 2, стр.100-101.
18. 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 конференции «СВЧ техника и телекоммуникационные технологии», 12-16 сентября 2005г Севастополь, с. 474 - 475.
19. Галдецкий А.В., Климова А.В., Манченко Л.В., Пчелин В.А. Суммирование трех мощных полевых транзисторов двухсантиметровом диапазоне длин волн 16-я Международная Крымская конференция "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии" (КрыМиКо'2006). Севастополь, 11-15 сентября 2006г.: Материалы конференции. Севастополь: "Вебер", с. 165-166, 2006.
20. Галдецкий А.В., Климова А.В., Манченко Л.В., Пчелин В.А. Сложение мощностей трех полевых транзисторов в двухсантиметровом диапазоне длин волн. Радиотехника №3, 2007г. Стр50-52.

21. 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» 16-я Международная Крымская конференция "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии" (КрыМиКо'2006). Севастополь, 11-15 сентября 2006г.: Материалы конференции. Севастополь: "Вебер", с. 167-168, 2006.
22. 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 K_d-диапазонов длин волн. Радиотехника №3, 2007г. Стр53-56.
23. 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» 16-я Международная Крымская конференция "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии" (КрыМиКо'2006). Севастополь, 11-15 сентября 2006г.: Материалы конференции. Севастополь: "Вебер", с. 169-170, 2006.
24. Бабинцев Д.В., Королев А.Н., Климова А.В., Красник В.А., Лапин В.Г., Малыщик В.М., Манченко Л.В., Пчелин В.А., Трегубов В.Б. Язан В.Ю. Мощный твердотельный импульсный усилитель двухсантиметрового диапазона. Радиотехника №3, 2007г. Стр41-42.
25. А.В. Галдецкий, А.В. Климова, Л.В. Манченко, А.Б. Пашковский, В.А. Пчелин, Р.А. Силин, И.П. Чепурных «Моделирование согласующих цепей мощных полевых транзисторов на керамике с

- высокой диэлектрической проницаемостью» 16-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2006). Севастополь, 11-15 сентября 2006г.: Материалы конференции. Севастополь: «Вебер», с.215-216, 2006.
26. А.В. Галдецкий, А.В. Климова, Л.В. Манченко, В.А. Пчелин. «Сложение мощностей полевых СВЧ транзисторов в двухсантиметровом диапазоне длин волн» Радиотехника №3, 2007г. Стр. 50-52.
27. Пчелин В.А., Манченко Л.В. Малыщик В.М. Материалы 14 отраслевого координационного семинара по СВЧ технике Разработка ВСТ 3см и 2см диапазонов длин волн с Рвых 5Вт, стр.74-76 , пос. Хахалы Нижегородской обл. 5-8 сентября 2005г.
28. Патент РФ № 2.088.946, приоритет от 24.07.1992. Устройство для измерения импеданса двухполюсника на СВЧ. Балыко А.К., Калинина О.Л., Пчелин В.А., Пругер А.А.
29. Патент РФ №2191492, приоритет 17.04.2000г., Выводная рамка для СВЧ и КВЧ полупроводникового прибора. Иовдальский В.А., Пчелин В.А.

Подписано в печать 27.04.07

Формат 60x80/16. Объём 1 усл. печ. лист.

Тираж 50 экз. ризограф ОАО «Исток Аудио Интернэйшнл»