аттестационное дело № _____

дата защиты 18.04.2017 протокол № 30

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

Д409.001.01, созданного на базе Акционерного общества «Научно-производственное предприятие «Исток» имени А.И. Шокина» в соответствии с приказом Рособрнадзора №2397-1817 от 07.12.2007 по диссертации Шипило Евгения Михайловича на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка инженерных методов проектирования и создание гибридно-интегральных транзисторных усилителей мощности сантиметрового диапазона длин волн для передатчиков доплеровских РЛС» в виде рукописи по специальности 05.27.01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах» выполнена в Акционерном обществе «Научно-производственное предприятие «Исток» имени А.И. Шокина».

Диссертация принята к защите «14» февраля 2017 г., протокол № 27.

Соискатель Шипило Евгений Михайлович, гражданин РФ, начальник отдела НПК-2 Акционерного общества «Научно-производственное предприятие «Исток» имени А.И. Шокина».

В 1989 году соискатель окончил Ленинградский ордена Ленина политехнический институт им. М.И. Калинина по специальности «Физическая электроника».

Научный руководитель – кандидат технических наук Котов Александр Сергеевич, начальник НПК-2 Акционерного общества «Научно-производственное предприятие «Исток» имени А.И. Шокина».

Официальные оппоненты:

1. Косов Александр Сергеевич, гражданин РФ, доктор технических наук, заведующий лабораторией, Федеральное государственного бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук;

2. Назаренко Анатолий Петрович, гражданин РФ, кандидат технических наук, директор НТЦ, заместитель генерального директора, Федеральное государственное унитарное предприятие Ордена трудового красного знамени Научно-исследовательский институт радио;

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация Публичное Акционерное Общество Научно-Производственное Объединение «Алмаз», г. Москва, дала положительное заключение (заключение составили кандидат технических наук Цыцарев Алексей Юрьевич, заместитель начальника специального конструкторского бюро, доктор технических наук, профессор Алдошин Владимир Михайлович, заместитель начальника Научно-образовательного центра).

На диссертацию и автореферат поступили отзывы.

В отзыве ведущей организации отмечено, что актуальность работы обусловлена необходимостью поиска новых инженерных методов проектирования усилителей мощности СВЧ диапазона с предельно низким уровнем вносимых шумов в спектр усиливаемого сигнала, работающих в широком диапазоне частот для применения в современных доплеровских РЛС.

Таким образом, выбранная Шипило Е.М. тема диссертации и выполненная по ней разработка ряда СВЧ усилителей мощности для современных РЛС является актуальной.

Научная значимость результатов состоит в следующем:

1) разработан метод проектирования цепей согласования полевого транзистора Шоттки для усилителя мощности сантиметрового диапазона длин волн, основанный на линейной эквивалентной схеме транзистора;

2) 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) разработан метод подавления параметрической неустойчивости и самовозбуждения балансных усилительных каскадов путём введения 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) 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) разработана схема модулятора напряжения питания транзистора, позволяющая изменять длительность импульса от 50 нс до непрерывного режима при стабильности выходного напряжения в пределах 1 %.

В качестве недостатков указывается следующее:

1) в разделе 1 – отсутствует сравнение результатов расчёта топологии согласующих цепей транзистора, проведённой с использованием линейной модели с результатами расчёта с использованием нелинейной модели или S-параметров транзистора в режиме большого сигнала;

2) в разделе 3 – излишне подробно изложено описание программы проектирования структурной схемы усилителя, текст частично дублирует приложение А к диссертационной работе;

3) в разделе 5 – на рис. 5.30 приведены характеристики двух отдельных усилителей до корректировки топологии и после корректировки. Однако, поскольку речь идёт о статистической обработке параметров усилителей, следовало указать зоны параметров усилителей по обработанному массиву – до и после корректировки топологии;

4) в диссертационной работе не указаны требования, предъявляемые к источникам электропитания СВЧ усилителей, для обеспечения высокого качества усиленного сигнала.

Отмечено, что указанные замечания не снижают научную и практическую ценность полученных автором результатов.

В отзывах официальных оппонентов Косова А.С. и Назаренко А.П. отмечается, что рассматриваемая диссертационная работа является законченной научно-исследовательской работой и отражает существенный вклад соискателя научной степени в развитие отечественной СВЧ электроники и расширение объёмов промышленного производства новых РЛС.

Известные в настоящее время методы проектирования СВЧ усилителей опирались либо на сложные модели, требующие больших временных затрат на их разработку, либо недоступны для реализации из-за отсутствия необходимой аппаратуры.

Представленная работа является одной из немногих научных работ в этой области, связанная с разработкой усилителей мощности, обеспечивающих высокие показатели качества усилителей в условиях мелкосерийного производства.

Отмечается актуальность, новизна научного подхода, практическая значимость работы, соответствие работы требованиям п.9 «Положения», сделан вывод о присуждении соискателю искомой учёной степени.

Имеющиеся недостатки связаны с отсутствием обоснования частотных пределов методов проектирования согласующих цепей и структурной схемы многокаскадного усилителя, отсутствием чётко обозначенных температурных пределов метода проектирования структурной схемы, недостаточным обоснованием, с точки зрения статистики, эффективности метода корректировки топологии по фотографиям настроенных приборов и некоторой избыточности в описании общеизвестных методов проектирования в тексте диссертации.

На автореферат получено 7 отзывов. Все отзывы положительные.

1. АО «Микроволновые системы». Отзыв подготовил заместитель генерального директора – главный конструктор, к.т.н., Кищинский А.А.

2. АО «НИИ «Кулон». Отзыв подготовил начальник научно-технического комплекса № 1, к.т.н. Татаренков К.В.

3. АО «Концерн «Гранит-Электрон». Отзыв подготовил ведущий научный сотрудник, к.т.н., доктор электртехники АЭН РФ Ицкович Ю.С.

4. ПАО «НПО «Стрела». Отзыв подготовил начальник отдела приёмопередающих устройств, к.т.н. Воронцов С.И.

5. ОАО ВКБР. Отзыв подготовили главный инженер, к.т.н. Никонов В.Н. и начальник сектора, к.т.н. Зеленов Д.Ю.

6. АО ЦКБА. Отзыв подготовили начальник отдела, д.т.н., профессор Акиншин Н.С. и зам. начальника отдела, д.т.н., профессор Румянцев В.Л.

7. ФГБОУ ВО РГРТУ. Отзыв подготовил заведующий кафедрой «Электронные приборы», д.ф.-м.н., профессор Чиркин М.В.

Отмечается, что диссертация посвящена проектированию усилителей СВЧ мощности для доплеровских РЛС, к параметрам которых предъявляются жёсткие требования по форме радиоимпульса, качеству спектра, уровню вносимых шумов и прочие.

В работе получен ряд новых результатов:

Предложен и обоснован метод проектирования цепей согласования полевого транзистора Шоттки, основанный на линейной эквивалентной схеме транзистора.

Разработан метод структурного синтеза схемы построения усилителя мощности СВЧ с выбором оптимальной структурной схемы по целевому параметру.

Предложен и обоснован способ подавления параметрической неустойчивости и самовозбуждения балансных усилительных каскадов.

Разработан метод оптимизации топологии согласующих цепей транзисторов путём компьютерной обработки фотографий настроенных приборов, что позволило снизить трудоёмкость настройки и повысить повторяемость электрических параметров усилителя.

Выработаны рекомендации по уменьшению искажений формы выходного сигнала.

Разработаны технические решения схемы модуляции силовой цепи СВЧ транзистора с целью уменьшения искажений формы радиоимпульса.

В отзывах имеются критические замечания:

1) «Микроволновые системы»:

- Слишком сжатый стиль изложения, в результате которого содержание многих важных и интересных результатов, описанных в диссертации, не раскрыто (см., например стр. 12 о разделе 4.2 или на стр. 20 о седьмой главе).

- Не рассмотрены (и не упомянуты) особенности проектирования транзисторных СВЧ усилителей мощности на нитрид-галлиевых транзисторах, являющихся весьма перспективными приборами, но имеющих особенности применения.

- Предложенная в разделе 6.2.1 схема модулятора имея преимущества в части стабильности формы выходного импульса, имеет и существенный недостаток – большое падение напряжения на эмиттерном повторителе, что приводит к снижению КПД усилителя.

2) «Кулон»:

- Отсутствие примеров конкретных требований к неравномерности АЧХ и ФЧХ усилителей.

3) «Гранит-Электрон»:

- Исследование параметров усилителей проведено только при изменении длительности формируемых импульсов, в то время как на указанные параметры с большой вероятностью влияет также и скважность формируемых импульсов. Влияние скважности импульсов на параметры усилителей в работе не освещено.

4) «Стрела»:

- Использование нерасшифрованных аббревиатур и условных обозначений.

- В автореферате отсутствуют рекомендации по выбору оптимального способа регулировки выходной мощности усилителя.

5) ВКБР:

- На странице 3 автореферата к тонким параметрам формируемых сигналов, в частности, относится низкий уровень побочных составляющих спектра (вероятно имеется в виду как сосредоточенные, так и шумовые

составляющие), но в тексте автореферата эта важная тема с точки зрения обеспечения электромагнитной совместимости не раскрыта.

6) ЦКБА:

- Отсутствует формулировка теоретической значимости работы и оценка достоверности результатов.

- В п. 2 и 4 научной новизны (стр. 5 и 6) упомянуто разработанное автором программное обеспечение, однако в списке литературы отсутствуют свидетельства о регистрации программ.

- На защиту выносится схема модулятора (с. 7), однако ссылки на патент (полезную модель) в автореферате не приведены.

7) РГРТУ:

- Следовало привести результат оценки статистической достоверности расчётов топологических гистограмм.

- В тексте автореферата не выделена принципиальная новизна схемы построения модулятора, функционирующего в широком диапазоне длительностей импульсов и скважности (рис. 6 на стр. 18), поскольку использование сочетания биполярного и полевого транзисторов – известное решение. Возможно, 2Т908А было бы лучше заменить импортным транзистором, либо вообще использовать составной транзистор.

Во всех отзывах отмечается, что указанные недостатки не влияют на основные научные результаты работы и не снижают теоретической и практической ценности диссертации.

В дискуссии приняли участие: д.ф.-м.н. Любченко Владимир Евтихиевич, ФИРЭ; д.ф.-м.н. Панас Андрей Иванович, зам. директора по научной работе, АО «НПП «Исток» им. Шокина»; д.т.н. Алыбин Вячеслав Георгиевич, зам. генерального директора по науке ОАО « Российские космические системы»; д.т.н. Куприянов Павел Васильевич, начальник отделения 25 АО «НПП «Исток» им. Шокина»; д.т.н. Лябин Николай Александрович, начальник лаборатории АО «НПП «Исток» им. Шокина».

Соискатель имеет 11 опубликованных работ по теме диссертации, в том числе 7 статей в научных журналах и изданиях, которые включены в перечень

российских рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

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, с. 47-50.

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.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- разработан метод проектирования цепей согласования ПТШ для усилителя мощности сантиметрового диапазона длин волн, основанный на линейной эквивалентной схеме транзистора;

- 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;

- 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;

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

- предложен способ подавления параметрической неустойчивости и самовозбуждения балансных усилительных каскадов путём введения 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;

- 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 %.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- метод проектирования цепей согласования ПТШ для усилителя мощности сантиметрового диапазона длин волн, на основе уточнённой для уровня большого сигнала линейной эквивалентной схеме транзистора, позволил с приемлемой для практики точностью рассчитать импеданс оптимальной выходной нагрузки усилителя с учётом реактивной составляющей малосигнальной модели и активной составляющей нагрузочной линии;

- разработанные структурные схемы усилителя, позволили исследовать поведение многокаскадных усилителей и оптимизировать по целевому параметру их схемы, поскольку учитывают поведение активных элементов в зависимости от частоты, входной мощности, температуры, напряжения питания и структурные особенности схемы;

- предложенный способ подавления параметрической неустойчивости и самовозбуждения балансных усилительных каскадов путём введения в схему усилителя реактивных элементов, создающих фазовый сдвиг на частоте паразитной генерации при сохранении фазовых соотношений сигналов транзисторов балансного каскада в рабочей полосе частот, позволил создать

устойчивые усилители, работающие в широком диапазоне входных мощностей и напряжений питания;

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

- разработанная схема модулятора напряжения питания транзистора позволила изменять длительность импульса от 50 нс до непрерывного режима при стабильности выходного напряжения не хуже 1 %;

- разработанные рекомендации позволили уменьшить искажения формы огибающей выходного импульса СВЧ мощности для широкого диапазона значений длительности импульсов и скважности.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- разработанные и внедренные инженерные методы, позволили создать усилители мощности сантиметрового диапазона на основе полевых транзисторов с высоким качеством спектра выходного сигнала;

- на основе этих 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.).

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- хорошее соответствие результатов расчётов экспериментальным результатам;

- успешное проведение опытно-конструкторских разработок более 20 типов многокаскадных усилителей с обеспечением высоких требований по

спектру выходного сигнала и параметрам импульсного режима на основе разработанных методов;

- успешную эксплуатацию разработанных и серийно выпускаемых усилителей в количестве до 250 шт. в год в передатчиках РЛС важнейших радиоэлектронных систем Министерства обороны.

Личный вклад соискателя состоит в:

- выполнении экспериментальных работ в части отработки метода проектирования цепей согласования ПТШ для усилителя мощности сантиметрового диапазона длин волн, основанных на линеаризованной модели транзистора, экспериментально подтверждена достоверность метода;

- предложении и разработке метода формирования топологии малогабаритных балансных усилительных каскадов гибридно-интегральных усилителей, на основе 2,5-мерных электромагнитных расчетов;

- предложении и разработке метода и программного обеспечения оптимизации топологии усилительных каскадов гибридно-интегральных многокаскадных усилителей путём статистической компьютерной обработки изображений настроенных приборов;

- предложении и разработке метода и программного обеспечения проектирования структурной схемы многокаскадного усилителя на основе созданной базы данных серийных полевых транзисторов, позволяющие оптимизировать структурную схему усилителя по заданному параметру;

- предложении способа подавления самовозбуждения и параметрической неустойчивости балансных усилительных каскадов путём введения в структурную схему усилителя реактивных элементов, создающих фазовый сдвиг на частоте паразитной генерации без нарушения фазовых соотношений сигналов в рабочем диапазоне частот;

- предложении и разработке схемы модулятора напряжения питания транзистора, которая позволяет изменять длительность импульса от 50 нс до непрерывного режима при стабильности выходного напряжения не хуже 1 %;

- исследовании причины искажения огибающей импульса выходного сигнала усилителей, предложены рекомендации по их минимизации;

- исследовании различных вариантов регулировки выходной мощности усилителей, выработке рекомендаций по выбору оптимального способа регулировки выходной мощности в зависимости от параметров и режимов работы усилителя.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием основной идейной линии, заключающейся в разработке технических принципов создания и совершенствования твердотельных гибридно-интегральных усилителей на основе компьютерной обработки большого количества экспериментальных и теоретических (расчетных) данных, позволяющих учитывать технологические, конструктивные и эксплуатационные особенности разрабатываемых приборов.

Диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным действующим Положением о порядке присуждения ученых степеней, и принял решение присудить Шипило Евгению Михайловичу учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 11 докторов наук по специальности 05.27.01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах», участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени – 18, против присуждения ученой степени – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета
д.т.н. Борисов Александр Анатольевич

Ученый секретарь
диссертационного совета
к.т.н. Куликова Ирина Владимировна
18.04.2017 г.