

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 219.001.04 НА БАЗЕ
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
СВЯЗИ И ИНФОРМАТИКИ», ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ, ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

Аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 21 сентября 2017 г. № 19

О присуждении Лосеву Александру Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка и анализ технических решений усилителя мощности спутникового ретранслятора, построенного методом дефазирования» по специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения» принята к защите 18.05.2017, протокол № 17, диссертационным советом Д 219.001.04, созданным на базе ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» (МТУСИ), Федеральное агентство связи, 111024, Москва, ул. Авиамоторная, д. 8а, приказ о создании совета – № 244/нк от 03.03.2016.

Соискатель Лосев Александр Александрович, 1988 года рождения, в 2011 году окончил магистратуру государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)» с присуждением степени магистра прикладных математики и физики по направлению «Прикладные математика и физика». В 2014 году соискатель окончил аспирантуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)». Работает в должности начальника лаборатории в федеральном государственном унитарном предприятии Ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательском институте радио, ведомственная принадлежность - Федеральное агентство связи).

Диссертация выполнена в федеральном государственном унитарном предприятии Ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательском институте радио, ведомственная принадлежность - Федеральное агентство связи.

Научный руководитель - Быховский Марк Аронович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры систем и сетей радиосвязи и телерадиовещания МТУСИ.

Официальные оппоненты:

1. Майстренко Василий Андреевич - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Средства связи и информационная безопасность» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный технический университет» (ОмГТУ),

2. Семенов Эдуард Валерьевич - доктор технических наук, доцент, профессор кафедры радиоэлектроники и защиты информации федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР), старший научный сотрудник лаборатории 42 акционерного общества «Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов» (АО «НИИПП»), дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация - акционерное общество «Омский научно-исследовательский институт приборостроения» (АО «ОНИИП»), г.Омск - в своем положительном заключении (отзыве), рассмотренном и одобренном на заседании экспертного совета НТС АО «ОНИИП», подписанном заместителем начальника отдела по научной работе АО «ОНИИП», к.ф.-м.н. Зачатейским Д.Е., ведущим научным сотрудником АО «ОНИИП», к.т.н. Хмыровой Н.П., инженером-программистом АО «ОНИИП» Кащенко И.Е., утвержденном заместителем генерального директора АО «ОНИИП», к.ф.-м.н. Кривальцевичем, указала, что диссертация, как научно-квалификационная работа, содержит новые научно обоснованные технические решения усилителя мощности спутникового ретранслятора, имеющие существенное значение для развития страны. Усилители мощности, построенные методом дефазирования по предложенным техническим

решениям позволяют усиливать сигнал с произвольной, заранее неизвестной модуляцией, что типично для спутниковых ретрансляторов, и повышать линейность и коэффициент полезного действия усилителя по сравнению с аналогами. Эти усилители при определенных параметрах могут конкурировать с применяемыми зарубежными усилителями по показателям энергетической эффективности и линейности. Предложенные в диссертации методики и подходы позволяют судить о значениях параметров технических решений, которые необходимо обеспечить для достижения требуемых конкурентоспособных значений этих показателей. Выполненное в работе обоснование технических решений и разработанный методический аппарат их оценки рекомендуется в качестве основания для проведения опытно-конструкторской работы, направленной на изготовление и наземные испытания образцов усилителя мощности. Практическую ценность диссертации подтверждает использование ее результатов в работах по заказу АО «ИСС» и ООО «ЗАПСИБГАЗПРОМ-ГАЗИФИКАЦИЯ» и их внедрение в учебный процесс кафедры радио и информационных технологий МФТИ, а также полученные автором патенты (в соавторстве) и свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Существенную теоретическую значимость для развития отрасли технических наук имеет разработанный аналитический метод оценки влияния неидентичности трактов усилителя на его линейность при усилении многоканальных сигналов. Метод может использоваться (и его следует использовать) для проверки правильности оценок, выполненных известными имитационными и экспериментальными методами, не только в предложенных технических решениях, но и при многих других построениях усилителя методом дефазирования с двумя трактами усиления.

Соискатель имеет 18 опубликованных работ по теме диссертации, из них в рецензируемых периодических научных изданиях, входящих в перечень ВАК при Минобрнауки РФ, 5 работ. Публикации в изданиях перечня ВАК являются наиболее значительными работами:

1) Лосев А.А. Анализ искажений при усилении многоканальных сообщений по методу дефазирования из-за неидентичности трактов // Электросвязь. – 2015. - №3. - С. 49-53;

2) Лосев А.А. Повышение эффективности метода дефазирования // Техника радиосвязи. - 2015. - №4 (27). – С. 21-30;

3) Лосев А.А. Анализ влияния неточности фазовых модуляторов на линейность усиления сигнала по методу дефазирования // Труды НИИР. – 2015. - №1. – С. 75-82;

4) Лосев А.А. Анализ влияния постоянной времени пикового детектора на искажения сигнала в усилителе мощности по методу дефазирования и его коэффициент полезного действия // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2014. - Т.8, №10. - С. 47-52;

5) Лосев А.А. Проблемы линеаризации усилителей мощности по методу дефазирования // Труды НИИР. – 2014. - №4. – С. 66-77.

Публикации в изданиях перечня ВАК опубликованы соискателем лично. В них содержатся все основные результаты диссертации.

На диссертацию поступили отзывы:

1. От официального оппонента Майстренко Василия Андреевича, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Средства связи и информационная безопасность» ОмГТУ. Отзыв положительный и содержит следующие замечания: 1) в работе проанализировано только два класса сигналов, имеющих широкое применение в спутниковой связи: многоканальные сигналы с частотным разделением каналов и цифровые одноканальные сигналы с амплитудно-фазовой модуляцией, однако, в спутниковой связи применяются и другие виды широкополосных сигналов; 2) автором не рассмотрено влияние нелинейных искажений в усилителе мощности на фазовую синхронизацию при приеме сигнала земной станцией; 3) в работе проанализировано влияние особенностей применения УМ в спутниковых ретрансляторах, прежде всего связанных с видом ретранслируемого сигнала и ограниченностью энергетики, однако, другие особенности, такие как ограниченность массы и габаритов, радиационная

обстановка, возможности космической платформы по отводу тепла, оставлены за пределами рассмотрения; 4) для автореферата характерно нечеткое определение и разграничение разработанных и использованных автором методик и методов оценки показателей линейности усиления УМДФ; 5) разработанный автором метод аналитической оценки влияния не идентичности трактов на линейность усилителя, основанного на методе дефазирования, следовало бы включить в рекомендации по использованию результатов работы.

2. От официального оппонента Семенова Эдуарда Валерьевича, доктора технических наук, доцента, профессора кафедры радиоэлектроники и защиты информации ТУСУР, старшего научного сотрудника лаборатории 42 АО «НИИПП». Отзыв положительный и содержит следующие замечания: 1) основным недостатком диссертационной работы является отсутствие экспериментальных исследований; этот недостаток лишь частично компенсируется приведенными актами внедрения об использовании результатов работы в практических разработках; 2) как показано автором, постоянная времени применяемого им пикового детектора должна выбираться возможно большей для минимизации битовых ошибок; однако такие пиковые детекторы чувствительны к преднамеренным или естественным импульсным помехам; представляется, что предлагаемый усилитель будет неработоспособен не только в течение действия помехи, но и в течение значительного времени восстановления «перезаряженного» пикового детектора; 3) название второго раздела не вполне точно отражает его содержание; в подразделе 2.3 выполняется характеристика нелинейных искажений не только во временной области, но и посредством «безвременных» характеристик – амплитудной и амплитудно-фазовой; к тому же последняя с необходимостью подразумевает использование гармонического сигнала, что больше соответствует частотным представлениям; 4) название и терминология («многоканальный сигнал») в третьем разделе также представляются спорными; фактически речь идет о полосовых сигналах; используемые спектральные методы характеристики нелинейных искажений не позволяют усмотреть никакой внутренней структуры (каналов) в анализируемом сигнале; 5) вычисляемый в работе уровень нелинейных искажений

сигнала внутри полосы спектра сигнала легко моделируется, но весьма сложно измеряется практически; приведенная автором ссылка также ведет к результатам моделирования в системе MatLab; поэтому будет очень непросто подтвердить или опровергнуть полученные результаты моделирования на практике.

3. От ведущей организации – АО «ОНИИП». Отзыв положительный и содержит следующие замечания: 1) в работе следовало бы указать еще одно преимущество метода дефазирования; усилители мощности в трактах усилителя, построенного методом дефазирования, работают с высоким КПД, что снижает их тепловыделение; это существенно повышает их надежность и срок службы, позволяет уменьшить массу радиатора теплоотвода; 2) в работе для проверки правильности разработанных методик используется имитационное моделирование; на наш взгляд, лучшим решением было бы проведение натурального эксперимента; 3) в работе отсутствует анализ устойчивости предложенных схем, данному аспекту предлагается уделить большее внимание при защите диссертации; 4) в исследовании рассматривается только статическая модель усилителя мощности, рассмотрение динамической модели позволило бы более детально изучить надежность и долговременную стабильность системы.

На автореферат поступило 11 отзывов: ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет, АО «Информационный Космический Центр «Северная Корона», ООО «Ижевский радиозавод», ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва», ФГБОУ ВО «Московский технологический университет», АО «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем», ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт (государственный университет)», ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина», АО «Научно-исследовательский институт точных приборов», АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева», ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет». Все поступившие отзывы положительные.

Замечания, поступившие на автореферат, представлены в следующем обобщенном виде: 1) в автореферате много пояснений и известного материала, например на стр. 9...11, в то же время разработанный алгоритм (стр. 11) описан крайне скупо; 2) из автореферата не понятно, как оценивалась точность полученных при моделировании результатов, не приведены сведения о характеристиках погрешностей, например, видах распределения вероятностей, статистической устойчивости результата и т.п.; 3) из автореферата не ясно, каким образом учитывается возможная работа усилителя мощности в достаточно распространенном в спутниковых системах многосигнальном режиме, когда на вход УМ одновременно поступает несколько несущих на разных частотах; 4) в автореферате отсутствуют предварительные оценки массово-габаритных показателей разработанных УФДМ, прежде всего по сравнению со стандартными УМ, используемыми в бортовых ретрансляторах спутников связи; 5) хотя полученные результаты аналитических исследований рассмотренных в работе усилителей мощности подтверждены математическим моделированием, при ее проведении полезно было бы привести также экспериментальные данные; 6) в работе следовало бы провести сравнительный анализ линейности и эффективности предложенных усилителей мощности с существующими современными аналогами; 7) при анализе существующих методов предискажения автор ограничился рассмотрением искажений усиливаемых сигналов, возникающих в усилителях на ЛБВ; по нашему мнению, в работе следовало бы также рассмотреть твердотельные усилители из-за различия возникающих в них искажений АМ/АМ и АМ/ФМ; 8) заявленная автором одна из целей диссертационной работы «снизить потребление ограниченной мощности космической платформы» за счет применения усилителя мощности, построенного методом дефазирования, по нашему мнению в значительной степени не достижима; применительно к рассматриваемой ситуации, путем уменьшения потери выходной мощности с -3 дБ до -1 дБ для усилителя мощности спутникового канала связи, можно получить выигрыш около 2 дБ; однако реализовать его в полной мере с уменьшением затрат электроэнергии не удастся, даже со схемой «рекуперации» о которой говорит автор работы; пиковая реактивная

мощность в этой схеме будет примерно в четыре раза превышать мощность одного усилителя, что отразится на соответствующем росте энергетических затрат; 9) в контексте использования в УМ ламп бегущей волны (ЛБВ) и устройств «рекуперации» можно ожидать практически двукратного увеличения массы ретранслятора; при проектировании КА важно минимизировать массовый бюджет аппарата; в случае использования предлагаемого технического решения УМ увеличение массы БРК будет большим, чем в случае увеличения массы системы энергоснабжения КА от Солнца для воспроизводства сэкономленной в БРК части электроэнергии; 10) обоснованное автором требование, что комплексные коэффициенты усиления трактов должны отличаться от среднего не более чем на 2-3%, потребует специального отбора из значительного числа серийных ламп; невыполнение требования приведет к технической не реализуемости резервирования усилителей при их отказе в полете; 11) не описаны параметры и условия имитационного моделирования, в ходе которого получены зависимости $NPR(\tau)$ и $ABPR(\tau)$; 12) графики на рисунках 6(а) и 6(б) имеют перегибы, объяснения которых автором не приводятся; 13) из рисунка 7(б) следует, что предложенные автором технические решения при использовании сигналов АФМ-32 с коэффициентом сглаживания, не превышающим 0,25, обеспечивают выигрыш в эффективности по сравнению с методом предискажения сигнала на борту космического аппарата только при рекуперации не менее 100% мощности; однако в автореферате не приведен анализ технической реализуемости рекуперации 100% мощности, что ограничивает степень обоснованности предложенных автором технических решений; 14) из автореферата не ясно, возможна ли реализация предложенных технических решений усилителя на отечественной элементной базе в рамках программы импортозамещения; 15) в автореферате отсутствуют разъяснения, почему для описания неидентичности усилителей в трактах введен параметр μ , а не общепринятые отличия фазовых сдвигов и коэффициентов усиления; 16) не вполне ясно, по сравнению с каким случаем достигается снижение потребляемой мощности, проиллюстрированное на рисунке 6; 17) в автореферате не приведены оценки массогабаритных и надежности показателей предложенных усилителей,

которые являются существенными при создании бортового оборудования; 18) из рисунка 6 следует, что, чем больше мощности рекуперируется, тем на меньший процент снижается потребление; это представляется противоречивым; 19) как следует из текста автореферата, предложенные усилители отличаются друг от друга количеством фазовых модуляторов и наличием обратной связи; однако данные элементы отсутствуют в приведенных схемах; 20) следует отметить низкую публикационную активность соискателя в последнее время; 21) из описания введенного показателя E эффективности использования мощности космической платформы на странице 15 следует, что показатель должен обращаться в ноль при невозможности выполнения требований к уровню внеполосного излучения АВРР, однако, в приведенном выражении (8) показателя E отсутствует зависимость от АВРР; 22) на страницах 13 и 15 отмечено, что в результате выполненных анализов разработаны методики, позволяющие оценивать показатели линейности усиления, однако, сами методики не приведены; следовало привести краткое описание основных шагов; 23) в автореферате приводится словесное описание исследуемых вариантов построения усилителя (УМ№1-№4) и обобщенная схема усилителей УМ №3 и УМ№4 (рисунок 3); отсутствие в автореферате схем для каждого усилителя в отдельности затрудняет восприятие; 24) из автореферата не до конца понятно, почему для оценки эффективности выбран относительно сложно определяемый показатель E (формула 8), а не просто потребляемая мощность; 25) предложенная схема (рисунок 2) усилителя в два раза увеличивает количество УМ, что приводит к увеличению массы ретранслятора; не до конца отражен выигрыш для ретрансляторов по энергопотреблению, если таковой есть при данной схеме УМ; 26) сложность реализации УМДФ сопоставима с блоками ЦОС; в автореферате не проработан системный выигрыш при использовании ретрансляторов с обработкой сигналов на борту; 27) различия сравниваемых в работе новых схем УМДФ (УМ №1-4) описаны в автореферате излишне кратко, что препятствует четкому восприятию различий в их свойствах; недостаточно точно изложены преимущества и недостатки сравниваемых схем, что, в частности, делает неясной рекомендуемую область применения усилителя УМ №3; 28) рекомендации по отклонению

комплексных коэффициентов усиления трактов не более чем на 2-3% не позволяют уточнить, какие из факторов (амплитудные или фазовые отклонения) являются более опасными и наиболее неблагоприятно влияют на обеспечиваемые характеристики усилителя.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим образом.

1. Доктор технических наук, профессор В.А. Майстренко является крупным специалистом в области систем фазовой синхронизации с преобразованием частоты. Его научные интересы распространяются также на методы повышения эффективности передачи информации по каналам связи и анализ возникающих эффектов, что соответствует направленности диссертационного исследования А.А. Лосева. Работы В.А. Майстренко по тематике диссертации опубликованы в ведущих отечественных и зарубежных изданиях.

2. Доктор технических наук, доцент Э.В. Семенов является крупным специалистом в области методов измерения нелинейных искажений сверхширокополосных сигналов. В сфере научных интересов Э.В. Семенова, в частности, находятся вопросы линейности радиоэлектронных устройств, которые соответствуют одной из сторон диссертационного исследования А.А. Лосева. Работы Э.В. Семенова по тематике диссертации опубликованы в ведущих отечественных и зарубежных изданиях.

3. АО «ОНИИП» проводит исследования в области радиосвязи, ориентированные на решение широкого круга прикладных задач – от создания радиоэлектронных компонентов и устройств радиосвязи до комплексов и систем связи и управления связью. Предприятие известно работами в области радиопередающих устройств, которые активно ведутся и в настоящее время.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований обоснованы новые технические решения усилителя мощности, построенного методом дефазирования, которые позволяют усиливать радиочастотный сигнал с произвольной, заранее неизвестной модуляцией, повышать

линейность усиления используемых в спутниковой связи сигналов и снижать потребление ограниченной мощности космической платформы по сравнению с аналогами; **разработан** аналитический метод оценки влияния различия фазовых сдвигов и коэффициентов усиления нелинейных усилителей мощности в трактах усилителя на его линейность при усилении многоканальных сигналов, который в отличие от известных имитационных и экспериментальных методов позволил выполнить оценку с помощью аналитического расчета корреляционных функций; **разработан** комплекс методик оценки показателей линейности усиления характерных для спутниковой связи сигналов в предложенных усилителях, в части из которых впервые учтена неидеальность предложенных в работе усовершенствований усилителя, а в части используются новые методы оценки.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что разработанный новый аналитический метод расширяет инструментарий ученых, используемый для исследования влияния разбаланса трактов на линейность усиления многоканальных сигналов при использовании усилителей, основанных на методе дефазирования. Метод применим не только к предложенным усилителям, но и к большинству известных усилителей, построенных методом дефазирования с двумя трактами усиления. Метод служит альтернативой имитационному моделированию на ЭВМ и макетному эксперименту. Он может использоваться для проверки результатов, полученных этими методами, а также в качестве основы для дальнейших теоретических изысканий в данном направлении.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что при следовании выработанным в работе практическим рекомендациям предложенные защищенные патентами усовершенствования усилителя мощности, построенного методом дефазирования, позволяют повышать его линейность и КПД по сравнению с аналогами; при усилении характерных для спутниковой связи сигналов и заданных требованиях к помехоустойчивости и внеполосному излучению при определенных параметрах усилителя ограниченная мощность космической платформы расходуется более экономно, чем при использовании применяемых в настоящее время в спутниковой

связи методов предсказания сигнала; разработанные в диссертации методики дают возможность обоснованно выбирать параметры предложенных усилителей, при которых выполняются требования, предъявляемые к их линейности. Использование и внедрение результатов диссертации подтверждено актами, приложенными к диссертации. Результаты диссертационной работы использованы при эскизном проектировании бортовых ретрансляционных комплексов спутниковой связи в рамках составной части опытно-конструкторской работы «Построение бортового ретрансляционного комплекса фиксированной спутниковой связи космических аппаратов для системы спутниковой конфиденциальной мобильной связи» по заказу АО «ИСС»; использованы при выборе блока усилителя мощности терминальной станции в рамках работ на объекте «Строительство аэродрома «Темп», о. Котельный архипелага Новосибирские острова» по заказу ООО «ЗАПСИБГАЗПРОМ ГАЗИФИКАЦИЯ»; внедрены в учебный процесс кафедры радио и информационных технологий факультета радиотехники и кибернетики Московского физико-технического института (МФТИ) при разработке курса лекций, преподаваемого студентам МФТИ в рамках программы дисциплины «Теоретические основы спутниковой приемо-передающей радиоаппаратуры».

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что результаты обоснованы корректным применением математического аппарата, корректностью принятых исходных данных, допущений и ограничений и согласованностью теоретических результатов с результатами имитационного компьютерного моделирования; **теория** построена на известных и общепринятых научных положениях, на адекватном использовании в качестве методической основы методов статистической радиотехники, теории случайных процессов и спектрального анализа; **идея базируется** на анализе применяемых методов снижения нелинейных искажений сигналов в спутниковых ретрансляторах и обобщении результатов научных исследований, направленных на преодоление проблем построения усилителя мощности методом дефазирования; **использованы** методологические подходы известных ученых в области многоканальных систем радиосвязи, цифровой связи, моделирования нелинейных беспроводных систем.

Личный вклад соискателя состоит в получении всех основных научных результатов диссертации; апробации результатов исследования на семи научных и научно-технических конференциях, в том числе международных; публикации основных результатов диссертации в пяти статьях рецензируемых научных изданий, входящих в перечень ВАК.

На заседании 21 сентября 2017 года диссертационный совет принял решение присудить Лосеву А.А. ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек (из них 6 докторов наук по профилю защищаемой диссертации), участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени – 14, против – 1, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель

диссертационного совета Д 219.001.04

Аджемов Артем Сергеевич

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 219.001.04

Терешонок Максим Валерьевич

«21» сентября 2017 г.

