

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Лосева Александра Александровича
«Разработка и анализ технических решений усилителя мощности спутникового
ретранслятора, построенного методом дефазирования»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 05.12.04 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»

Диссертация Лосева А.А. посвящена проблеме обеспечения высокой энергетической эффективности усилителей мощности в спутниковых ретрансляторах без ущерба качеству ретранслируемых сигналов.

Тематика выполненных исследований - разработка и анализ новых технических решений, направленных на повышение линейности и энергетической эффективности усилителей мощности (УМ) спутниковых ретрансляторов, **является актуальной**. Мощность космической платформы ограничена возможностями солнечных батарей и в спутниковых ретрансляторах в основном потребляется усилителями мощности. Поэтому важной и актуальной проблемой является обеспечение возможно большего КПД этих усилителей. Платой за повышение КПД является ухудшение линейности. Применение современных спектрально эффективных многопозиционных сигналов с высоким пик-фактором предъявляет жесткие требования к линейности усиления таких сигналов, которые существенно ограничивают возможность получения высокого КПД усилителей мощности.

Метод дефазирования является одним из методов построения УМ, который позволяет строить линейные усилители мощности на основе нелинейных усилителей с высоким КПД. Этому методу в настоящее время уделяется внимание в научных работах, которые преимущественно направлены на его применение в наземных передающих устройствах. В диссертации Лосева А.А. проведено исследование широкого спектра вопросов, которые связаны с возможностями применения усилителей мощности, построенных по принципу дефазирования (УМДФ), в спутниковых ретрансляторах с учетом особенностей их применения в спутниковой связи. Как показал анализ диссертации, в ней получен **ряд новых результатов**, представляющих научную и практическую ценность.

В диссертации разработаны новые технические решения усилителя мощности для спутниковых ретрансляторов, в котором за счет применения метода дефазирования снижаются потребление мощности космической платформы и нелинейные искажения.

Диссертация содержит пять глав, изложенных на 166 стр., список литературы из 96 наименований на 10 стр. и три Приложения **А, Б, В** на 41 стр. м. п. текста. Приложение **В** содержит два Акта внедрения результатов диссертационной работы..

В первой главе представлен аналитический обзор, на основе которого сформулированы задачи диссертации. В обзоре рассмотрены методы предискажения сигналов, которые широко

применяются для снижения нелинейных искажений в спутниковых ретрансляторах. Показано, что на существующем уровне развития этих методов сохраняется потребность в снижении потребляемой мощности космической платформы без ущерба качеству ретранслируемых сигналов.

В диссертации предложено для усиления сигналов в ретрансляторах использовать метод дефазирования, который в отличие от применяемых методов позволяет использовать для линейного усиления высокоэффективные, но нелинейные, усилители мощности. В этой главе дан подробный обзор известных вариантов построения УМДФ в контексте решаемых проблем, специфических для этого метода, а также определены особенности применения метода дефазирования в спутниковых ретрансляторах.

Во второй главе обоснованы новые варианты построения усилителя мощности спутникового ретранслятора методом дефазирования, на которые получены патенты. *Отличием* предложенных усилителей от ближайших аналогов является наличие схемы нормирования амплитуды сигнала на основе пикового детектора, которая позволяет усиливать сигнал с произвольной, заранее неизвестной модуляцией, характерной для спутниковых ретрансляторов. Другим отличием является применение схемы с одним, а не двумя фазовым модуляторами, что, как показано в этой главе и в главах 3 и 4, позволило снизить влияние ошибок фазовой модуляции на линейность усилителя. В главе выявлены основные факторы, оказывающие влияние на линейность усилителя, и определен характер их воздействия. Разработана математическая модель преобразования сигнала в предложенных усилителях, отражающая влияние этих факторов, и соответствующий *имитационный алгоритм*, реализованный в программе для ЭВМ, на которую соискателем получено авторское свидетельство. Математическая модель и алгоритм использованы в следующих главах для оценки показателей линейности и эффективности предложенных усилителей и проверки правильности разработанных методик их оценки.

Третья и четвертая главы посвящены анализу нелинейных искажений, которые возникают в предложенных усилителях при усилении сигналов, характерных для спутниковой связи. В третьей главе рассмотрены многоканальные сигналы с частотным разделением, в четвертой – цифровые одноканальные сигналы с амплитудно-фазовой модуляцией. В результате анализа оценены пороговые значения параметров усилителей, при которых обеспечиваются типовые значения показателей, отражающих снижение помехоустойчивости приема сигналов и увеличение внеполосного излучения из-за нелинейности усилителя. На основе результатов анализа разработаны соответствующие методики таких оценок.

В пятой главе выполнены оценки эффективности использования мощности космической платформы предложенными усилителями мощности. Оценки показали, что эта эффективность может быть увеличена за счет надлежащего выбора одного из параметров предложенных усилителей (постоянная времени пикового детектора) по сравнению с аналогичными усилителями, не предполагающими возможности такой настройки. Сравнение с применяемыми методами предискажения сигнала показало, что при определенных условиях

снижение потребления мощности космической платформы может составлять десятки процентов. На основании результатов выполненного в главах диссертации анализа сформулированы практические рекомендации, которым необходимо следовать при построении усилителя мощности спутникового ретранслятора методом дефазирования для обеспечения высокой линейности и энергетической эффективности.

Основными новыми результатами, полученными в диссертации, являются:

1) обоснование новых технических решений усилителей мощности, позволяющих решить проблемы повышения линейности и энергетической эффективности усилителей с учетом специфики сигналов, поступающих на вход спутниковых ретрансляторов, и особенностей примененного метода дефазирования;

2) разработанные автором методики оценки показателей линейности предложенных усилителей, которые учитывают влияние не идеальности их элементов;

3) подход к сравнению различных методов снижения нелинейных искажений в усилителе мощности спутникового ретранслятора на основе комплексного показателя, позволяющего учесть выполнение требований к качеству сигнала и отражающего максимальное снижение потребляемой усилителем мощности, которое может быть достигнуто за счет надлежащего выбора параметров метода;

4) 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.

Полученные в работе результаты представляют научную и практическую ценность. Ряд полученных в диссертации результатов нашел отражение в разработках исследовательских организаций, что отражено в **актах внедрения**, приложенных к диссертации. Результаты диссертации использовались также в учебном процессе кафедры «Радио и информационные технологии» МФТИ, что также подтверждено соответствующим актом.

Разработанные методики позволяют обоснованно выбирать параметры предложенных УМДФ, при которых выполняются требования, предъявляемые к их линейности.

В диссертации выполнено сравнение характеристик предложенных усилителей с характеристиками усилителей, сегодня широко применяемых в спутниковой связи, и в которых необходимая линейность достигается за счет использования устройств, осуществляющих предискажения усиливаемого сигнала. Сравнение показало, что в предложенных усилителях возможно снижение потребляемой мощности при условии обеспечения заданных требований к вероятности ошибки и внеполосным излучениям и при определенном выборе их параметров. Используемый для сравнения новый подход является полезным при выборе наиболее энергетически эффективного технического решения среди альтернатив при конкретных заданных сигнальных конструкциях и требованиях к качеству сигнала.

Новые результаты автора (п. 1-3) позволили сформулировать практические рекомендации, которые могут служить основанием для опытно-конструкторской работы, направленной на создание новых высокоэффективных бортовых усилителей мощности для спутниковых ретрансляторов на базе предложенных технических решений.

Новый аналитический метод (результат 4) является значимым теоретическим результатом. Он расширяет инструментарий ученых, используемый для исследования влияния разбаланса трактов на линейность усиления многоканальных сигналов при использовании усилителей, основанных на методе дефазирования. Разработанный автором 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.

Степень достоверности и апробации результатов достаточно высокая.

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, представляются достаточно обоснованными и достоверными и соответствуют физике анализируемых процессов в усилителях. Выполненные в диссертации исследования, из которых следуют сделанные автором выводы и рекомендации, основаны на методах статистической радиотехники, спектрального анализа и математического моделирования. Теоретические результаты хорошо согласуются с результатами имитационного моделирования исследованных усилителей на ЭВМ.

Выполненное в диссертации обоснование технических решений усилителя мощности показало, что усовершенствования схемы усилителя позволяют существенно повысить линейность и КПД по сравнению с аналогами, построенными методом дефазирования. Показана перспективность применения таких усилителей в спутниковой связи.

В опубликованных в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК, пяти личных статьях автора диссертации изложены все основные её результаты.

Исследования, проведенные в диссертации, лежат в областях, которые включены в паспорт специальности 05.12.04 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения». В диссертации есть все необходимые ссылки на основные использованные источники, относящиеся к теме диссертации.

Автореферат написан грамотно и полно отражает содержание диссертационной работы.

Диссертация Лосева А.А. не лишена недостатков, к числу которых следует отнести:

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 энергии, 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 нечёткое 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.

Отмеченные недостатки не снижают общий уровень оценки данной работы, которая в целом заслуживает положительную оценку. Она представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения для разработки усилителей мощности спутниковых ретрансляторов.

Диссертационная работа выполнена на достаточно высоком научном уровне и отвечает всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24.02.2013 г. (в ред., утверждённой Постановлением Правительства РФ №335 от 21.04.2016 г.), предъявляемым к работам, представляемым на соискание ученой степени кандидата технических наук,

Считаю, что ее автор - Лосев Александр Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Официальный оппонент, заведующий кафедрой
«Средства связи и информационная безопасность»

доктор технических наук, профессор

Майстренко Василий Андреевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Омский государственный
технический университет» (ОмГТУ),

Адрес: 644050, г. Омск, пр-т Мира, д. 11

Тел.: +7 (3812) 65-85-60

Факс: +7 (3812) 65-26-98

Email: mva@omgtu.ru

 /В. А. Майстренко/

Подпись профессора В.А. Майстренко удостоверяю

Учёный секретарь учёного совета ОмГТУ

22.08.2017 г.



 /А.В. Бубнов/