Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.375.026

Чепиков
Илья Алексеевич

Широкополосный энергоэффективный усилитель мощности сигнала с большим пик-фактором

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра

по специальности 7-06-0713-03 «Радиосистемы и радиотехнологии»

_____

Научный руководитель
Титович Николай Алексеевич
Кандидат технических наук, доцент

_____

Минск 2026

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия наблюдается значительный рост спроса на высокоскоростные беспроводные коммуникации, что связано с развитием технологий передачи данных, увеличением числа пользователей и стремительным ростом объема передаваемой информации. В этой связи особое внимание уделяется разработке и совершенствованию радиопередатчиков, которые играют ключевую роль в обеспечении качественной и надежной связи. Одной из основных задач, стоящих перед инженерами и учеными в области радиосвязи, является создание эффективных усилителей мощности сигнала, способных обеспечивать высокую производительность при минимальных затратах энергии. Важным аспектом в этой области является необходимость повышения энергоэффективности радиопередатчиков, что не только способствует снижению эксплуатационных затрат, но и уменьшает негативное воздействие на окружающую среду.

Энергоэффективность радиопередатчиков становится особенно актуальной в условиях растущей нагрузки на сети связи и увеличения требований к качеству передачи данных. В современных радиосистемах, таких как *LTE*, *5G* и *Wi-Fi*, необходимо обеспечивать высокую плотность потока данных, что требует от усилителей мощности способности работать в широком диапазоне частот и поддерживать высокие уровни выходной мощности. Однако, как правило, увеличение выходной мощности приводит к росту потребляемой энергии, что является серьезной проблемой для мобильных и стационарных систем связи.

Одним из подходов к решению данной проблемы является применение широкополосных усилителей мощности, которые способны эффективно работать в различных диапазонах частот. Широкополосные усилители обеспечивают необходимую гибкость и адаптивность систем связи, позволяя использовать их в различных приложениях, от мобильной связи до радиолокации. Однако, несмотря на свои преимущества, широкополосные усилители сталкиваются с рядом проблем, связанных с их энергоэффективностью и пик-фактором.

Пик-фактор, представляющий собой отношение максимального значения сигнала к его среднему значению, играет важную роль в характеристиках радиосигналов. Высокий пик-фактор может привести к значительным искажениям при передаче сигнала, что требует от усилителей мощности способности работать в условиях повышенной нагрузки. В связи с этим, разработка энергоэффективных широкополосных усилителей, способных эффективно обрабатывать сигналы с высоким пик-фактором,

представляет собой важную задачу, требующую комплексного подхода и применения современных методов и технологий.

В рамках данной работы будут рассмотрены методы повышения энергоэффективности радиопередатчиков, а также проведен анализ существующих технологий и решений в области широкополосных усилителей высокой частоты. В первой главе будет представлен обзор современных методов и подходов к повышению энергоэффективности радиопередатчиков, включая использование новых технологий модуляции, адаптивных алгоритмов управления мощностью и других инновационных решений. Особое внимание будет уделено анализу подходов, направленных на оптимизацию работы усилителей мощности, что позволит значительно повысить их эффективность и снизить потребление энергии.

Во второй главе будет проведен анализ существующих методов повышения эффективности широкополосных усилителей, включая использование различных архитектур, схемотехнических решений и технологий. Будут рассмотрены как традиционные подходы, так и современные разработки, направленные на улучшение характеристик широкополосных усилителей, включая использование новых материалов и технологий производства. Также будет проанализирован опыт внедрения различных решений в практику, что позволит выявить наиболее перспективные направления для дальнейших исследований и разработок.

Целью данной диссертации является повышение коэффициента полезного действия и линейности усилителя мощности путем внедрения

Таким образом, данная работа направлена на изучение актуальных проблем и решений в области разработки энергоэффективных широкополосных усилителей мощности сигнала с большим пик-фактором. В ходе исследования будут выявлены ключевые тенденции и направления, способствующие повышению эффективности радиопередатчиков, что, в свою очередь, позволит обеспечить более качественную связь

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы магистерской диссертации. При разработке современных радиоэлектронных средств все более жесткие требования предъявляются цифрового телевизионного вещания, и других систем, у которых имеется большое значение пик-фактора. Поэтому пересматривается подход к построению радиопередатчиков систем с большим значением пик-фактора. Достигается это путем повышения максимально возможного коэффициента полезного действия в оконечном каскаде усиления и достижение максимально возможной линейности и широкополосности систем.

Объект исследования: Схемы-модели различных методов построения усилителя мощности радиопередатчика.

Предмет исследования: Влияние специальных методов построения усилителей мощности на энергетические и частотные характеристики тракта усиления мощности.

Задачи исследования:

Анализ и проверка различных схем и методов построения тракта усилителя мощности радиопередатчика

Цель работы: Повышение коэффициента полезного действия и линейности и широкополосности усилителя мощности путем внедрения специальных схем построения каскадов радиопередатчика.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Данная работа посвящена исследовании методов построения широкополосных усилителей для сигналов с большим пик-фактором.

В первом разделе были рассмотрены основные характеристики сигналов с высоким пик-фактором, их влияние на работу радиопередатчиков. Анализируются статистические свойства современных широкополосных сигналов, особенности их спектрального состава и требования к усилителям мощности. анализ большого объема литературы.

Во втором разделе рассматриваются принципы работы систем автоматической регулировки режимов, их влияние на КПД и линейность усилителя. Анализируются алгоритмы управления и их эффективность. Исследуется метод раздельного усиления составляющих радиочастотного сигнала. Анализируются преимущества и ограничения метода, возможности его применения в современных системах связи. Рассматривается принцип работы метода дефазирования, его влияние на энергетические характеристики передатчика. Анализируются особенности реализации и ограничения метода. Проводится детальный анализ схемы Догерти, исследуются её достоинства и недостатки. Рассматриваются особенности настройки и эксплуатации усилителей по данной схеме.

В третьем разделе исследования методов построения широкополосных усилителей мощности были получены существенные научные и практические результаты. Анализ современных подходов к созданию широкополосных усилителей показал целесообразность рассмотрения двух основных направлений: усилителей с распределенным усилением (УРУ) и схем на основе конфигурации Догерти. Исследуются схемотехнические решения и их влияние на характеристики усилителя.

Таким образом, данная магистерская диссертация является важным шагом в развитии вопросов, касающихся использования радиотехнических методов с целью увеличения надежности работы оборудования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования разработана концепция широкополосного энергоэффективного усилителя мощности с повышенной устойчивостью к сигналам с большим пик-фактором. Техническое решение позволяет улучшить характеристики усилительных устройств,

Разработанная схемотехническая концепция усилителя мощности, основана на комбинации схемы УРУ в предварительном усилителе и схемы широкополосного выходного УМ Догерти с усовершенствованной системой согласования и фильтрации.

Создана математическая модель усилителя, позволяющая проводить предварительный анализ его характеристик на этапе проектирования. Достигнута средняя эффективная мощность 170 Вт при сохранении высокого уровня линейности (MER более 35,5 дБ). Обеспечен широкий рабочий диапазон частот с сохранением основных характеристик усилителя.

Практическая значимость работы определяется возможностью применения разработанного усилителя в современных системах связи, где требуется одновременное обеспечение высокой энергетической эффективности и линейности усиления в широком диапазоне частот. Особенно перспективным является использование данного решения в системах цифрового телевидения и мобильной связи. Применение УРУ и широкополосного УМ позволят исключить мостовые схемы сложения мощностей, что в целом значительно упрощает схему и конструкцию телевизионного передатчика, повышает технологичность производства.

Проведенные исследования показали [18], что предложенное техническое решение позволяет преодолеть существующие ограничения традиционных усилителей мощности при работе с современными широкополосными сигналами. Разработанный усилитель демонстрирует существенное преимущество по сравнению с существующими аналогами как по энергетическим показателям, так и по линейности усиления.

Перспективы дальнейшего развития работы связаны с оптимизацией параметров согласующих цепей для расширения рабочего диапазона частот, исследованием возможностей масштабирования мощности усилителя, разработкой методов автоматической настройки параметров в процессе эксплуатации

Полученные результаты могут служить основой для создания нового поколения широкополосных усилителей мощности, отвечающих современным требованиям к энергоэффективности и качеству усиления сигналов с большим пик-фактором.

Список опубликованных работ

[1]. Чепиков И.А. Особенности схемного и конструктивного построения энергоэффективных телевизионных передатчиков / Титович Н. А., Чепиков И.А. // 58 Научная Конференция Аспирантов, Магистрантов и Студентов БГУИР, 2022. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; редкол.: А.В. Короткевич [и др.]. – Минск: БГУИР, 2022;

[2]. Чепиков И.А. Усилители с большим пик-фактором: тенденции и направления развития / Титович Н. А., Чепиков И.А. // Информационные радиосистемы и радиотехнологии 2024: материалы Республиканской научно-практической конференции, Минск, 21-22 ноября 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; редкол.: В.А. Богуш [и др.]. – Минск: БГУИР, 2024;

[3]. Чепиков И.А. Широкополосный энергоэффективный усилитель мощности сигнала с большим пик-фактором / Титович Н. А., Чепиков И.А. // 61 Научная Конференция Аспирантов, Магистрантов и Студентов БГУИР, 2025. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; редкол.: А.В. Гранько [и др.]. – Минск: БГУИР, 2025.