

ОТЗЫВ

официального оппонента

**на диссертацию Грычкина Сергея Евгеньевича на тему
«Исследование и разработка высокоэффективных модуляционных
устройств передатчиков цифрового радиовещания диапазона ОВЧ»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.2.13 «Радиотехника, в том числе системы и устройства
телевидения»**

1. Актуальность темы диссертационного исследования

В настоящее время ведущие по уровню технологического развития страны (США, Китай, Австралия, Саудовская Аравия, государства Западной Европы и др.), опираясь на научные достижения последних десятилетий, активно переходят на современные цифровые технологии, в число которых, несомненно, входит телерадиовещание.

В Российской Федерации необходимости внедрения перспективных технологий цифрового вещания также придается большое значение. В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 3 декабря 2009 года N 985 в нашей стране реализована федеральная целевая программа «Развитие телерадиовещания в Российской Федерации на 2009-2018 годы», в числе основных задач которой отмечены перевод государственных сетей телерадиовещания на цифровые технологии и их модернизация.

Одной из нетривиальных задач в рамках указанной модернизации следует считать повышение коэффициента полезного действия (КПД) радиопередающих устройств (РПДУ) как функциональных узлов, способных оказать наиболее существенное влияние на показатели энергетической эффективности сетей в целом.

Наиболее перспективным направлением при решении задачи повышения КПД радиопередающих устройств сетей цифрового вещания является перевод их из линейного в ключевой режим, что позволило бы увеличить КПД с 15...20% до

значений порядка 80...95%. Однако в отличие от линейных усилителей мощности ключевые усилители мощности способны усиливать только сигналы с неизменной амплитудой. Для усиления сигналов с изменяющейся огибающей, к числу которых относятся и *OFDM*-сигналы, необходимо использовать специальные методы усиления, такие как метод дефазирования или метод раздельного усиления составляющих Л. Кана, а также различные методы, основанные на их комбинации.

Успешное решение задачи создания ключевых усилителей мощности для РПУ сетей цифрового вещания невозможно без разработки ряда теоретических и практических принципов построения модуляционных устройств, поскольку последние не только способны оказать заметное влияние на КПД радиопередатчика, но и определяют такие его показатели, как ширина полосы пропускания и уровень нелинейных искажений.

С учётом изложенного тема диссертационной работы и решаемая в ней научная проблема – снижение мощности потерь в модуляционных устройствах ключевых радиопередатчиков, предназначенных для использования в системах цифрового радиовещания диапазона ОВЧ, являются актуальными.

2. Научная новизна результатов исследований

В диссертационной работе получены следующие **новые** научные результаты:

1. Разработана модель и проведено имитационное компьютерное моделирование ШИМ-модулятора на *GaN*-транзисторах;
2. Разработана уточненная аналитическая методика расчета потерь мощности в ШИМ-модуляторах на современной элементной базе;
3. Проведено теоретическое исследование энергетических характеристик многоуровневого ШИМ-модулятора, выполненного на нитрид-галлиевых (*GaN*) транзисторах;

4. Проведена оптимизация порогов квантования по критерию минимума средних потерь мощности для различных распределений амплитуд огибающей сигналов цифрового радиовещания.

3. Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, характеризуются четкой логической аргументированностью. Их достоверность обеспечивается корректным применением математического аппарата и подтверждается результатами экспериментальных исследований и компьютерного моделирования.

Материалы диссертационной работы опубликованы в 7 печатных работах, включая 4 статьи в рецензируемых изданиях ВАК категории К1; 3 статьи в изданиях, индексируемых в базах данных *SCOPUS*. Автором получены два свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ. Анализ трудов соискателя показал, что основные положения, выносимые на защиту, отражены в опубликованных работах в полной мере. Наряду с этим, основные результаты по теме диссертации докладывались на международных конференциях.

С учетом изложенного степень обоснованности представленных в диссертации результатов в целом следует считать достаточной.

4. Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость работы заключается в разработанных методике расчета мощности потерь и методике оптимизации порогов квантования напряжения питания по критерию минимума потерь мощности в многоуровневых ШИМ-модуляторах на *GaN*-транзисторах, которые могут быть использованы не только при разработке радиопередатчиков для систем цифрового радиовещания, но и при разработке высокоэффективных радиопередатчиков для систем связи. Практическая значимость диссертации заключается в обосновании возможности

повышения КПД и снижения мощности потерь посредством использования комбинированного синтетического метода раздельного усиления с ШИМ-модулятором с оптимизированными порогами квантования напряжения питания, разработки методики проектирования подобных устройств.

Все вышеуказанные результаты получены автором лично.

5. Общая характеристика работы

Рецензируемая диссертация содержит 129 страниц (включая 4 страницы приложений), с рисунками и таблицами, списком использованных источников из 75 наименований. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и двух приложений. Автореферат соответствует диссертации и достаточно полно раскрывает ее содержание.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и основные направления исследований.

В **первом** разделе на основании рассмотрения принципов построения перспективных передатчиков цифрового радиовещания диапазона ОВЧ показано, что для усиления сигналов с высоким пик-фактором наиболее перспективным является применение усилителей мощности с раздельным усилением составляющих и реализации модулятора с применением квантования напряжения питания в усилителе мощности тракта огибающей. Обоснована целесообразность применения *GaN FET* транзисторов для решения задач диссертационной работы.

Во **втором** разделе разработана уточненная методика расчета потерь в ШИМ-модуляторе на *GaN FET* транзисторах, которая позволила более точно оценить коммутативные потери при переключении приборов.

В **третьем** разделе с использованием Релеевского распределения амплитуд огибающей сигнала проведена оптимизация порогов квантования многоуровневого ШИМ-модулятора на *GaN HEMT* транзисторах по критерию минимума средних потерь. По результатам оптимизации порогов квантования показано, что основной выигрыш в снижении средней рассеиваемой мощности

может быть достигнут при использовании всего двух напряжений питания. Установлено, что при дальнейшем увеличении числа уровней квантования повышение КПД оказывается не столь существенным, в то время как схемотехническая реализация модулятора заметно возрастает.

В **четвёртом** разделе приведены результаты экспериментальных исследований модулятора, подтвердившие сформулированные ранее теоретические результаты.

В **заключении** сформулированы основные результаты, полученные в ходе исследования.

6. Замечания и недостатки

1. Объём первой главы диссертации является избыточным и занимает 56 стр. Можно было бы без ущерба для качества работы сократить обзор известных методов построения ключевых усилителей мощности классов D и DE , приведенный в разделе 1.3.2.

2. Основное внимание в своей работе автор уделил проблеме повышения энергетической эффективности модуляционных устройств. При этом, к сожалению, за рамками диссертационного исследования остались спектральные характеристики указанных устройств. Актуальность рассмотрения одновременно и энергетических, и спектральных характеристик обусловлена тем, что, согласно известным публикациям, они находятся, как правило, во взаимоисключающем соответствии, когда попытки улучшить один из показателей сопровождаются ухудшением другого.

3. В терминологическом плане представляется неудачным использование словосочетания «мертвое время» в разделе 1.3.2, а также на стр. 80, 81, 115 и в ряде других мест. В качестве альтернативы ему можно предложить, например, термин «защитный интервал».

7. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней

Отмеченные недостатки не снижают общего положительного впечатления, которое производит рецензируемая работа. В целом диссертационная работа Грычкина Сергея Евгеньевича «Исследование и разработка высокоэффективных модуляционных устройств передатчиков цифрового радиовещания диапазона ОВЧ» соответствует требованиям пп. 9, 10 «Положения о присуждении ученых степеней» (далее - Положение) и является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей важное значение для развития отрасли радиотехники, а именно - снижение мощности потерь в высокоэффективных модуляционных устройствах для радиопередатчиков систем цифрового радиовещания диапазона ОВЧ с отдельным усилением составляющих. Диссертационная работа написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты, свидетельствует о личном вкладе автора в развитие принципов построения ключевых радиопередающих устройств. Содержание диссертации, результаты имитационного компьютерного моделирования и экспериментального исследования свидетельствуют о том, что полученные Грычкиным Сергеем Евгеньевичем результаты являются достоверными, имеют высокую теоретическую и практическую значимость. Основные научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях из списка ВАК категории К1 в виде четырех научных статей, и в научных журналах индексируемых международными базами данных, в виде трех научных статей, что соответствует п. 11,12,13 Положения. В диссертации имеются необходимые ссылки на сторонние источники и авторов согласно п. 14 Положения.

На основании изложенного считаю, что диссертационная работа Грычкина Сергея Евгеньевича полностью отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 (в действующей редакции), а Грычкин Сергей Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических

наук по специальности 2.2.13 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Официальный оппонент

профессор Высшей школы прикладной физики и космических технологий
Института электроники и телекоммуникаций Федерального государственного
автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-
Петербургский политехнический университет Петра Великого» доктор
технических наук, доцент

Сороцкий Владимир Александрович

" 13 " мая 2025 г.

Почтовый адрес ФГАОУ ВО «СПбПУ»:

Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, вн. тер. г. муниципальный округ
Академическое, ул. Политехническая, д.29 литера Б.

Телефон: +7 (812) 775-05-30

Адрес сайта: <https://spbstu.ru>

Адрес электронной почты: office@spbstu.ru

Подпись заверяю:

