

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 55.2.002.01
НА БАЗЕ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ СВЯЗИ И
ИНФОРМАТИКИ» (подведомственного Министерству цифрового
развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации)
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело N _____

Решение диссертационного совета от 17.06.2025 г. N 130 о присуждении гражданину РФ Грычкину Сергею Евгеньевичу ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Исследование и разработка высокоэффективных модуляционных устройств передатчиков цифрового радиовещания диапазона ОВЧ» по специальности 2.2.13 - «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения» принята к защите «15» апреля 2025 г., протокол №128 диссертационным советом 55.2.002.01 на базе Ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» (далее МТУСИ), Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, 111024, г. Москва, ул. Авиамоторная, 8а, Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации № 244/нк от 03 марта 2016 г., изменения в составе утверждены Приказами Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 37/нк от 30.01.2019, № 599/нк от 15.10.2020, №804/нк от 16.12.2020 г., № 331/нк от 12.04.2021г., № 679/нк от 24.06.2022г., № 1215/нк от 12.10.2022г., № 433/нк от 26.05.2025.

Соискатель Грычкин Сергей Евгеньевич 26.12.1990 года рождения, в 2024 году окончил аспирантуру МТУСИ по направлению подготовки 11.06.01 - «Электроника, радиотехника и системы связи», с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь». Кандидатские экзамены сданы в 2021 г. (иностранный язык, история и философия науки) и в 2023 г. (специальная дисциплина) (имеется справка о сдаче экзаменов). Работает ведущим инженером в научно-исследовательской лаборатории (НИЛ-52) МТУСИ.

Диссертация выполнена на кафедре «Радиооборудование и схемотехника» МТУСИ.

Научный руководитель – д.т.н., доцент, Варламов Олег Витальевич, начальник научного отдела «Отдел организации научной работы и публикационной активности» МТУСИ, профессор кафедры «Радиооборудование и схемотехника» МТУСИ.

Официальные оппоненты:

1. Сороцкий Владимир Александрович – д.т.н., доцент, 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».

2. Родин Михаил Валерьевич – к.т.н., доцент, доцент кафедры «Радиоэлектронные системы и устройства» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)».

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное учреждение «Национальный исследовательский центр телекоммуникаций имени М.И. Кривошеева» (далее ФГАУ НИЦ Телеком), г. Москва - в своем положительном заключении, подписанном Марией Владимировной

Иванкович, к.т.н., заместитель директора ЦИ ПБТС, указала, что диссертация имеет значение для снижения мощности потерь в высокоэффективных модуляционных устройствах для радиопередатчиков систем ЦРВ диапазона ОВЧ с отдельным усилением составляющих.

Соискатель имеет 7 опубликованных работ по теме диссертации, из них 4 - работы, опубликованные в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК, 3 работы, индексируемые в международной базе SCOPUS, 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Основные публикации:

1. Варламов, О. В. Комбинирование синтетических методов высокоэффективного высокочастотного усиления / О. В. Варламов, Д. К. Нгуен, **С. Е. Грычкин**. – DOI: 10.36724/2072-8735-2021-15-9-11-16. // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2021. – Т. 15, № 9. – С. 11-16. (6 стр., личный вклад автора – 50%).

2. Varlamov, O. V. Simultaneous application of several synthetic methods for high efficiency radiofrequency amplification / O. V. Varlamov, D. C. Nguyen, **S. E. Grychkin**. – DOI: 10.1109/IEEECONF51389.2021.9416126. // В сборнике: 2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Conference Proceedings. – 2021. – С. 9416126. (5 стр., личный вклад автора – 60%).

3. **Grychkin S.E.** Calculation and simulation of GaN FET modulator for envelope elimination and restoration power amplifier / **S.E. Grychkin**, A.M. Zakharov, O. V. Varlamov. – DOI: 10.1109/SYNCHROINFO57872.2023.10178469. // В сборнике: 2023 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications. – 2023. – Р. 1-7. (7 стр., личный вклад автора – 43%).

4. **Грычкин С.Е.** Методика расчета КПД ШИМ модулятора на GAN FET транзисторах / **С. Е. Грычкин**, А.М. Захаров, О. В. Варламов. – DOI: 10.36724/2072-8735-2023-17-9-19-27. // Т-Comm: Телекоммуникации и

транспорт. – 2023. – Т. 17. № 9. – С. 19-27. (9 стр., личный вклад автора – 44%).

5. **Грычкин С.Е.** Повышение энергетической эффективности радиопередающей аппаратуры / **С.Е. Грычкин.** – DOI: 10.36724/2072-8735-2023-17-5-25-31. // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2023. – Т. 17. № 5. – С. 25-31. (7 стр., личный вклад автора – 100%).

6. **Грычкин С.Е.** Высокоэффективный многоуровневый GaN FET ШИМ модулятор для передатчиков цифрового радиовещания диапазона ОВЧ / **С. Е. Грычкин, О. В. Варламов.** – DOI: 10.36724/2072-8735-2024-18-9-4-12. // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2024. – Т. 18. № 9. – С. 4-11. (9 стр., личный вклад автора – 56%).

7. **Grychkin S. E.** Experimental Studies of a Multi-level GaN FET PWM Modulator / **S.E. Grychkin, O. V. Varlamov.** // В сборнике: 2024 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO). – 2024. – P. 1-5. (5 стр., личный вклад автора – 60%).

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2024685533 Российская Федерация. Программа нахождения оптимальных порогов квантования многоуровневого GaN FET ШИМ модулятора: № 2024683748: заявлено 14.10.2024: опубликовано 30.10.2024, / Варламов О.В., **Грычкин С. Е**; правообладатель Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики». – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ. (Личный вклад автора – 60%).

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2024686729 Российская Федерация. Программа расчета статических энергетических характеристик GaN FET ШИМ модулятора: № 2024683856: заявлено 14.10.2024: опубликовано 12.11.2024, / Варламов О.В., **Грычкин С. Е**; правообладатель Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего

образования «Московский технический университет связи и информатики». – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ. (Личный вклад автора – 60%).

Недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, отсутствуют.

На диссертацию и автореферат поступило 9 положительных отзывов от официальных оппонентов Сороцкого Владимира Александровича и Родина Михаила Валерьевича, ведущей организации Федеральное государственное автономное учреждение «Национальный исследовательский центр телекоммуникаций имени М.И. Кривошеева» (ФГАУ НИЦ Телеком), ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет», ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», ЗАО «МНИТИ», ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», ООО «Радиокомп».

Были отмечены следующие недостатки:

1. Объем 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».

4. Наименование ШИМ модулятора «многоуровневым» в данном исследовании представляется несколько некорректным. В теории модуляционных источников электропитания под многоуровневыми понимают источники, у которых напряжение на выходе может принимать несколько дискретных значений. В исследовании же диссертанта дискретные уровни напряжения имеют место на входе источника. Полагаю, на это надо было указать в диссертации, а лучше – предложить новую терминологию. Также необходимо отметить, что диссертант в тексте диссертации один и тот же модулятор называют то «многоуровневым», то «с квантованием напряжения» – необходимо все-таки определиться с единообразием терминологии.

5. В п. 2 научной новизны работы (стр. 8 диссертации) диссертант указывает на разработку методики, но не сообщает, что это, собственно за методика. Полагаю, что имелась в виду методика расчета потерь мощности.

6. На стр. 69, 72, 76 диссертации явно не хватает иллюстративного материала в виде схем (эквивалентная схема драйвера, эквивалентная схема транзистора), которые диссертант описывает лишь словами. Это значительно затрудняет понимание текста.

7. На стр. 73 диссертации корректнее указать на среднее значение тока, протекающего через дроссель. Ведь ток через дроссель не просто постоянный, а пульсирующий, то есть имеющий постоянную и переменную составляющие. Там же диссертант не указал на обязательное условие верности формулы (2.3) – она верна только тогда, когда ток через дроссель не прерывается. В дальнейшем, к сожалению, диссертант это условие не

проверил ни при моделировании, ни в результате экспериментальной отработки модулятора.

8. Из полученной диссертантом формулы (2.12) на стр. 76 диссертации следует, что мощность потерь зависит и от сопротивления открытого канала сток-исток транзистора, которое, в свою очередь, зависит от температуры транзистора. Однако диссертантом не исследуется, к сожалению, на сколько важна эта зависимость при расчете потерь мощности. Аналогично можно сказать и про зависимость мощности потерь от сопротивления нагрузки модулятора, в качестве которой выступает стоковая цепь усилителя мощности.

9. В схеме имитационной модели модулятора почему-то не учитываются потери в проводах, дросселе и конденсаторе. Полагаю, раз диссертантом исследуются потери в модуляторе, их нужно было учесть (тем более, что результаты имитационного моделирования сравниваются с результатами экспериментальной отработки). Либо уточнить, почему они опущены. Также следует отметить, что диссертантом не показано, почему индуктивность дросселя составляет 4,7 мкГн. Полагаю, такую индуктивность имеет дроссель выходного фильтра модулятора на тестовой плате с микросхемой LMG5200. Однако наличие неизменного по индуктивности дросселя в общем ограничивает использование данной тестовой платы, так как от этого значения индуктивности зависит характер протекания тока через дроссель, а значит, так необходимая линейность регулировочной характеристики модулятора.

10. В диссертации не пояснено, что такое Q_{rr} и r на стр. 73, R_{rad} – на стр. 101. В тексте диссертации (стр. 18) при первом упоминании не расшифрована аббревиатура «КУМ». Формулы в тексте диссертации и автореферата, а также список использованных источников часто оформлены с нарушением требований ГОСТ 2.105 и ГОСТ 7.0.11. На стр. 8 диссертации имеются ошибки форматирования текста. В тексте диссертации и автореферата часто отсутствуют требуемые знаки пунктуации. В формуле

(2.5) диссертации не хватает одной скобки. На рис. 4.6 диссертации неверно указано включение генератора в схему стенда

11. Целесообразно более детально указать связь между предметом, объектом и целью исследования.

12. В работе не рассмотрено применение разработанной методики оптимизации порогов квантования напряжения питания по критерию минимума потерь мощности для высокоэффективных многоуровневых ШИМ модуляторов при применении синтетического метода дефазирования, что могло бы расширить возможные области применения разработанной методики.

13. В диссертации не пояснены обозначения L_0 , C_0 , L_{ch} элементов схемы, приведенной на Рисунке 1.7.

14. Некорректно использованы обозначения единицы измерения времени "T(Secs)" на Рисунке 2.6.

15. В работе имеются некоторые недочёты редакционного характера (например, стр. 6).

16. Обозначения компонентов и единиц измерения величин на рисунке 3 автореферата не соответствуют ГОСТ.

17. В автореферате отсутствует пояснения получения выражений (3) и (4).

18. В третьем разделе приведены формулы для расчёта только для двух напряжений питания ШИМ модулятора.

19. В автореферате не указаны источники литературы, на которые имеется ссылка в разделе «Степень достоверности и апробация результатов».

20. «Раздельное усиление составляющих» более корректно заменить на единую формулировку «раздельное усиление огибающей OFDM сигнала», так как сигналы цифрового радиовещания, в зависимости от типа модуляции, имеют много частотных поднесущих (для OFDM с 16 QAM от 32 и более) и раздельное усиление составляющих (поднесущих) затрудняет реализацию предложенного способа для DRM+ и RAVIS.

21. На стр. 10 автореферата рисунок 2 состоит из двух частей, целесообразно ввести обозначения а), б) и раскрыть обозначения в тексте каждого.

22. Отсутствует расшифровка усилителей мощности УМДФ, УМЦПО на рисунке 1.

23. Не указано, в каком слагаемом формулы (1) учтены коммутативные потери, добавленные автором.

24. Часть имитационного компьютерного моделирования работы интегральной микросхемы LMG5200B проведена для нагрузки 5 Ом, а экспериментальное исследование для нагрузки 10 Ом что затрудняет сравнение результатов.

25. В автореферате не приведена схема построения многоуровневого ШИМ-модулятора для которой проводится оптимизация порогов квантования.

26. В тексте автореферата имеется классификация комбинирования синтетических методов линейного усиления (рисунок 1). Классификация требует более развернутых пояснений и расшифровки используемых сокращений.

27. Из текста автореферата не ясно, какую максимальную полосу частот огибающей может воспроизвести используемый усилитель, а также не указана максимально возможная полоса частот огибающей, которую позволяет реализовать доступная современная элементная база.

28. Не определено, на какой максимальной частоте несущей можно реализовать исследованное высокоэффективное устройство модуляции.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты и представители ведущей организации имеют значительное количество публикаций, близких к теме диссертационного исследования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- предложена комбинация синтетического метода с отдельным усилением составляющих сигнала и многоуровневой ШИМ модуляции с оптимизированными пороговыми значениями напряжения питания для построения высокоэффективного передатчика ЦРВ диапазона ОВЧ;

- разработана уточненная аналитическая методика расчета мощности потерь в ШИМ-модуляторах на GaN транзисторах, которая позволила увеличить точность расчёта КПД по сравнению с методикой предлагаемой производителем элементной базы, в частности, при выходном напряжении $V_{OUT} = 10 \text{ В}$ (20% от максимального выходного напряжения), отличие КПД составляет 15%, что подтверждено компьютерным моделированием и экспериментальными исследованиями;

- разработана методика оптимизации пороговых значений напряжения питания по критерию минимума потерь мощности для высокоэффективных многоуровневых ШИМ модуляторов, усиливающих сигналы огибающей с Рэлеевским распределением, которая позволяет снизить среднюю мощность потерь до трех раз при использовании двух значений напряжений питания. При использовании четырех значений напряжений питания, для наиболее распространенных сигналов цифрового радиовещания диапазона ОВЧ (DRM+, RAVIS), средняя мощность потерь снижается в 4,7 раза.

Теоретическая значимость исследования обоснована в разработанной методике расчета мощности потерь и методике оптимизации пороговых значений напряжения питания по критерию минимума потерь мощности в многоуровневых ШИМ модуляторах на GaN транзисторах для высокоэффективных передатчиков систем ЦРВ диапазона ОВЧ.

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

- представлена возможность повышения КПД и снижения мощности потерь посредством использования комбинированного синтетического метода отдельного усиления с ШИМ модулятором с оптимизированными

порогами квантования напряжения питания, разработки методики проектирования подобных устройств;

- основные результаты диссертации внедрены в АО «Концерн Гранит», ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», что подтверждается актами о внедрении.

Достоверность результатов диссертационной работы обеспечивается корректностью использования математического аппарата, соответствием результатов разработанных методик расчета с результатами имитационного компьютерного моделирования и проведенных экспериментальных исследований.

Личный вклад соискателя состоит в том, что все основные научные положения, а также промежуточные выводы, представленные в диссертационной работе получены автором самостоятельно. Из работ, выполненных в соавторстве, в диссертационную работу вошла только часть, которая выполнена лично автором.

Диссертация Грычкина Сергея Евгеньевича является научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной научной задачи – повышение энергетической эффективности передатчиков ЦРВ диапазона ОВЧ.

По новизне, уровню научной проработки и практической значимости полученных результатов работа отвечает требованиям п.9 и 10 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013г. № 842 (ред. от 16.10.2024), а ее автор Грычкин Сергей Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 - «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

На заседании «17» июня 2025 г. диссертационный совет принял решение присудить Грычкину Сергею Евгеньевичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 16, против нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета



А.С. Аджемов

М.В. Терешонок

Заключение совета составлено «17» июня 2025 г.