

ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата технических наук, доцента Родина Михаила Валерьевича на диссертацию Нгуен Данг Кань на тему «Исследование модуляционного тракта радиопередатчиков диапазона ВЧ с отдельным усилением составляющих при работе на узкополосную антенну», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

Проблему повышения энергетической эффективности радиопередатчиков ВЧ-диапазона, использующих радиосигналы с непостоянной огибающей, следует поставить едва ли ни на первое место среди научных проблем, связанных с разработкой устройств и систем радиовещания и радиосвязи. Причем возраст этой проблемы приближается к столетию. В настоящее время для повышения энергоэффективности радиопередатчиков ВЧ-диапазона, использующих спектрально-эффективные OFDM-радиосигналы, применяют, среди прочих, метод отдельного усиления составляющих радиосигнала (в зарубежной литературе – метод Кана). И хотя он известен почти 70 лет, только в наши дни, с учетом использования ключевых режимов работы (классы D, E, F и их модификации) конечных усилителей мощности и современной элементной базы, он позволяет достигать реально высокие значения КПД вещательных и связных радиопередатчиков.

Вместе с тем в ряде практических случаев связные ключевые радиопередатчики вынуждено работают на электрически короткую антенну – например, при размещении их на подвижных объектах или когда они являются носимыми. Однако согласование электрически коротких антенн может быть осуществлено только в относительно узкой полосе частот. Следовательно, конечный усилитель мощности радиопередатчика оказывается нагружен на узкополосную цепь, состоящую из согласующего устройства и собственно антенны. В то же время, как известно из практики, радиопередатчики с отдельным усилением составляющих OFDM-сигнала, работающие на узкополосную нагрузку, требуют согласования с антенной цепью с коэффициентом стоячей волны (КСВ) не хуже 1,05 в полосе частот усиливаемого сигнала. А значит, на практике имеет место проблема преодоления

Вход. № 52/24
«15» 05 2024.
подпись

противоречия между повышением энергетической эффективности ключевого радиопередатчика ВЧ-диапазона с отдельным усилением составляющих радиосигнала и сохранением заданных показателей качества усиливаемого радиосигнала и электромагнитной совместимости самого радиопередатчика. Поэтому задача снижения требований к полосе пропускания антенны для высокоэффективного ключевого радиопередатчика с отдельным усилением составляющих радиосигнала является **актуальной**, а диссертационная работа Нгуен Данг Кань, посвященная решению этой задачи, важной и своевременной.

В центре внимания автора диссертации находится модуляционный тракт радиопередатчика ВЧ-диапазона с отдельным усилением составляющих радиосигнала. Как показано соискателем, его выходной фильтр оказывает существенное влияние на возможность снижения чувствительности исследуемого радиопередатчика к полосе пропускания антенны.

В ходе проведения диссертационного исследования автором получены новые научные положения, обладающие теоретической и практической значимостью и выдвигаемые на защиту, а именно:

- показано, что в ключевых радиопередатчиках с отдельным усилением составляющих радиосигнала при их работе на узкополосную антенну сопротивление нагрузки линейно-параметрически изменяется, вплоть до отрицательных значений, при этом сопротивление нагрузки его модуляционного тракта становится нелинейным, фильтр модулятора оказывается без резистивной нагрузки в верхнем участке его полосы пропускания, что приводит к искажению его амплитудно-частотной характеристики (АЧХ), а также к резкой неравномерности группового времени запаздывания (ГВЗ) и появлению паразитных высокочастотных резонансных колебаний на его выходе, что увеличивает уровень внеполосных излучений радиопередатчика в целом;

- разработанная имитационная модель для исследования ключевых ВЧ радиопередатчиков с отдельным усилением составляющих радиосигнала, учитывающая особенности их работы на узкополосную нагрузку, с использованием реального OFDM-сигнала, позволяет исследовать процессы, протекающие в выходном фильтре модуляционного тракта, являющиеся основной причиной возникновения искажений при работе на резонансную антенну;

- применение двусторонне нагруженных фильтров на выходе модуляционного тракта позволяет радиопередатчику работать на антенны с вдвое меньшей полосой пропускания, что означает снижение требований к КСВ антенны с 1,03 до 1,07;

- предложенный ФВЧ-диплексер совместно с двусторонне нагруженным фильтром модуляционного тракта обеспечивает снижение требований к КСВ антенны до максимального значения 1,47, а допустимая полоса пропускания антенны может быть уменьшена до 2,5 полос сигнала.

Научная новизна полученных лично автором результатов заключается в том, что:

- определены обусловленные модуляционным трактом причины возникновения дополнительных искажений спектра выходного сигнала радиопередатчиков с отдельным усилением составляющих радиосигнала при работе на узкополосные антенны;

- разработан алгоритм имитационного моделирования спектра выходного сигнала радиопередатчиков с отдельным усилением составляющих радиосигнала при работе на узкополосные антенны для различных конфигураций модуляционного тракта с использованием фрагмента реального радиосигнала;

- выявлены зависимости минимально необходимой полосы пропускания выходного фильтра модуляционного тракта от полосы пропускания антенны и значения КСВ на краях полосы усиливаемого сигнала для случая работы радиопередатчика с отдельным усилением составляющих радиосигнала на узкополосную антенну, в том числе для предложенного применения двусторонне нагруженных фильтров;

- проведен анализ известных и предложенных решений по расширению пределов допустимого рассогласования узкополосной антенны. Показано, что использование предложенного диплексера совместно с двусторонне нагруженным фильтром модуляционного тракта обеспечивает снижение требований к КСВ антенны до максимального значения 1,47, а допустимая полоса пропускания антенны может быть уменьшена до 2,5 полос сигнала.

Достоинством диссертации является всестороннее и полное исследование особенностей работы выходного фильтра модуляционного тракта в составе радиопередатчика с узкополосной антенной. Существенное значение для

практики имеют предложенные соискателем конкретные типы фильтров, обеспечивающие снижение требований к КСВ.

Проведенный соискателем обзор известных трудов в области работы радиочастотных усилителей с отдельным усилением на узкополосную нагрузку отечественных и зарубежных авторов (что подтверждается соответствующими ссылками в тексте диссертации), анализ методов снижения требований к КСВ антенны и проведенное имитационное моделирование позволяют считать **обоснованными научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации.**

Теоретическая значимость работы заключается в полученных зависимостях минимально необходимой полосы пропускания фильтра модуляционного тракта от полосы пропускания антенны и значения КСВ на краях полосы усиливаемого сигнала, в том числе для случая применения предложенных двусторонне нагруженных фильтров и ФВЧ-диплексера.

Практическая значимость заключается в обеспечении возможности работы радиопередатчика с отдельным усилением составляющих радиосигнала с предложенным ФВЧ-диплексером совместно с двусторонне нагруженным ФНЧ модуляционного тракта на узкополосные антенны с КСВ на краях полосы сигнала 1,47 вместо допускаявшейся ранее величины КСВ 1,05, что существенно расширяет возможные области применения данных радиопередатчиков.

Представленные в работе результаты диссертационного исследования являются **достоверными**, что обусловлено корректностью постановки частных задач исследования, аргументированностью и доказательностью предложенной имитационной модели, корректностью применения математического аппарата и согласованностью результатов, полученных с помощью аналитических расчетов и имитационного моделирования с известными результатами натуральных экспериментов.

Необходимо отметить и **недостатки** диссертации и автореферата, которые заключаются в следующем:

1. В диссертации и в автореферате не приведены конкретные примеры возможного использования радиопередатчиков после внедрения в них полученных соискателем результатов исследования. Это усложняет оценку актуальности и практической значимости диссертации.

2. Заголовок раздела 4 «Методы снижения требований к полосе пропускания антенны...» является некорректным. Более точно он мог бы быть сформулирован как «Методы снижения чувствительности радиопередатчика к полосе пропускания антенны...» или «Методы расширения пределов допустимого рассогласования узкополосной антенны...».

3. В диссертации не пояснено, что такое R^2 на странице 56 и на рисунке 3.18. В тексте диссертации и в автореферате при первом упоминании не расшифрованы аббревиатуры «ГВЗ», «АЧХ», «ИСМ». Формулы в тексте диссертации и автореферата часто оформлены с нарушением требований ГОСТ 2.105. Схема на рисунке 2.1 скорее является функциональной, нежели принципиальной.

4. Соискатель некорректно использует термин «величина» (например, на страницах 3, 6, 13 диссертации и 4, 5, 17 автореферата). Величина – это количественная характеристика физического свойства материального объекта, физического явления или процесса. Поэтому корректно будет использовать вместо «величина КСВ» и «величина сопротивления» – «значение КСВ» и «значение сопротивления».

5. В качестве научной новизны указывается «разработка алгоритма имитационного моделирования спектра выходного сигнала передатчиков...». Однако в тексте диссертации в явном виде отсутствует блок-схема алгоритма. Возможно, вместо понятия «алгоритм» следовало использовать понятие «методика».

6. В тексте диссертации указывается на то, что «при моделировании модуляционного тракта широтно-импульсный модулятор был заменен на линейный усилитель» для увеличения скорости симуляции. Из текста диссертации не ясно, имеются ли экспериментальные подтверждения того, что на полученные в работе результаты не влияет метод управления силовой частью (в частности, широтно-импульсная модуляция) модуляционного тракта.

Указанные замечания не носят принципиального характера и не оказывают существенного влияния на общую оценку диссертации и полученных в ней научных и практических результатов.

Структура диссертационной работы отвечает задачам исследований. Диссертация аккуратно оформлена, характеризуется логичностью изложения

материала, снабжена достаточным количеством уместных и информативных иллюстраций и включает представительный перечень использованных источников из 68 наименований.

Основные выводы и результаты диссертации докладывались на представительных научно-технических конференциях и опубликованы в 9 научных трудах, среди которых 3 работы опубликованы в ведущих рецензируемых журналах, включенных в перечень Высшей аттестационной комиссии при Минобрнауки РФ, 4 работы проиндексированы в ведущих международных базах данных Web of Science и Scopus (две из них в журналах уровня Q1). Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Таким образом, требование об опубликовании полученных результатов в рецензируемых научных изданиях выполнено.

Автореферат диссертации соответствует требованиям по форме и содержанию. Его содержание полностью соответствует основным положениям и выводам, изложенным в диссертации.

Тема и содержание диссертации соответствуют п.п. 1, 4 и 7 паспорта научной специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

ВЫВОДЫ

1. Диссертация Нгуен Данг Кань, несмотря на отмеченные недостатки, является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, выполненной на достаточно высоком научном уровне и содержащей решение актуальной научной задачи расширения пределов допустимого рассогласования антенны при работе передатчиков с отдельным усилением составляющих на узкополосную антенну, имеющей важное значение для народного хозяйства страны.

2. По актуальности избранной темы, степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверности и новизне, а также значимости полученных результатов, диссертация полностью удовлетворяет критериям п.п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, а ее автор, Нгуен Данг Кань, заслуживает присуждения

ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Согласен на включение моих персональных данных в аттестационные документы соискателя ученой степени кандидата технических наук Нгуен Данг Кань и их дальнейшую обработку.

Доцент кафедры «Радиоэлектронные системы и устройства» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», кандидат технических наук, доцент



Михаил Валерьевич Родин

«14» 05 2024 г.

Подпись кандидата технических наук, доцента Михаила Валерьевича Родина заверяю.



ФИО составителя отзыва,
e-mail, телефон

Наименование организации

Почтовый адрес организации

Сайт организации

Телефон организации

E-mail организации

Родин Михаил Валерьевич,
mvrodin@bmstu.ru, (499) 263-65-68

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (научно-исследовательский университет)»

105005, Российская Федерация, г. Москва,
ул. 2-я Бауманская, д.5, стр.1

<https://bmstu.ru>

(499) 263-63-91

bauman@bmstu.ru