

ОТЗЫВ

официального оппонента

кандидата технических наук, доцента Храмова Константина Константиновича
на диссертационную работу **Печникова Сергея Сергеевича**
**«Формирователи спектрально-эффективных радиосигналов
с компенсацией амплитудно-фазовых искажений»**, представленную
на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

Актуальность темы.

Постоянное повышение качества радиоэлектронной аппаратуры, используемой в частности в цифровых системах радиосвязи специального назначения, является тенденцией современного этапа развития систем передачи информации. Поэтому актуальными задачами остаются исследование и разработка эффективных способов и устройств формирования радиосигналов с заданными спектрально-временными параметрами.

Предметом диссертационного исследования Печникова С.С. являются методики и алгоритмы преобразования формы спектрально-эффективных радиосигналов для их усиления с помощью нелинейных усилителей мощности, применение которых позволяет повысить энергетические и качественные показатели формирователей сигналов с амплитудно-фазовой модуляцией. Это дает основание утверждать об актуальности темы исследований.

Содержание диссертационной работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 131 наименование, и приложений.

Во введении обоснована актуальность и практическая значимость выбранной тематики, приведены цель работы и решаемые задачи, а также сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ влияния нелинейных искажений, вносимых усилителем мощности, на увеличение внеполосного излучения в соседних каналах. Рассмотрены параметры, количественно определяющие линейность усилителя мощности, и основные критерии оценки спектральной и энергетической эффективности радиосигналов. Показано, что сигналы с амплитудно-фазовой модуляцией обладают высокой спектральной эффективностью, в связи с чем в сетях связи специального назначения получают широкое распространение цифровые стандарты радиосвязи APCO 25 и TETRA, применяющие, соответственно, сигналы с CQPSK- и $\pi/4$ -DQPSK-модуляцией. Далее в работе проводится обзор основных методов

линеаризации передающего тракта и анализ методов дефазирования сигналов, рассматриваются особенности и недостатки указанных методов.

Во второй главе исследованы структурные схемы формирователей функциональных составляющих (ФФС), являющихся результатом аппроксимаций гармонических функций ограниченным количеством членов разложений рядов Тейлора. Проведен анализ точности выполнения преобразований и спектральный анализ устройств формирования функциональных составляющих, а также модуляторов фазомодулированных сигналов базе ФФС и балансных модуляторов. Разработан формирователь узкополосных спектрально-эффективных радиосигналов на базе векторных модуляторов в квадратурных ветвях.

В третьей главе исследовано влияние фазового дисбаланса и ошибки усиления квадратурных каналов векторного модулятора на выходной сигнал. Проведен анализ параметрической чувствительности формирователя узкополосных спектрально-эффективных радиосигналов и анализ влияния ошибки фазы при осуществлении фазового сдвига на $\pi/2$ в тракте несущей частоты на форму выходного сигнального созвездия. Предложен метод автокомпенсации амплитудно-фазовых искажений, возникающих в квадратурных модуляторах. Во второй части главы исследовано влияние нелинейности усилителей и дисбаланса трактов усиления на выходной сигнал формирователя узкополосных спектрально-эффективных радиосигналов. Рассмотрено применение квадратурной обратной связи для устранения ошибок, вносимых каналами усиления.

В четвертой главе описан вариант технической реализации ФФС с учетом сигналов обратной связи и выполнено его экспериментальное исследование на базе ПЛИС при индексе модуляции $m_\phi \leq \pi/4$. Проведен выбор элементной базы и осуществлено моделирование формирователя узкополосных спектрально-эффективных сигналов (на примере стандарта TETRA), реализующего линейное усиление в нелинейных усилителях мощности, с одновременной компенсацией амплитудно-фазовых искажений. В качестве усилительных элементов были рассмотрены три интегральных усилителя различных производителей. Выполнена оценка и проведен сравнительный анализ спектральной эффективности сформированных сигналов.

В заключении подведены итоги диссертации в целом, сформулированы основные результаты и выводы.

Научная новизна.

Научная новизна работы заключается в разработке автором новых структурных схем формирователей узкополосных спектрально-эффективных радиосигналов, позволяющих синтезировать сигналы с амплитудно-фазовой

модуляцией с помощью двух фазомодулированных сигналов; в разработке метода компенсации амплитудно-фазовой нестабильности квадратурного модулятора радиосигналов; в полученных характеристиках и результатах анализа параметрической чувствительности формирователей узкополосных спектрально-эффективных радиосигналов; в разработке устройства формирования функциональных составляющих на базе ПЛИС.

Достоверность представленных результатов.

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждена корректным использованием математического аппарата, результатами модельных экспериментов, демонстрирующими эффективность предложенных структурных схем и методик компенсации искажений радиосигналов, а также их апробацией на научных конференциях различного уровня.

Теоретическая и практическая ценность результатов исследования.

Теоретическая ценность результатов диссертационной работы определяется развитием методов дефазирования и компенсации амплитудно-фазовых искажений, а также предложенными и исследованными алгоритмами формирования узкополосных спектрально-эффективных радиосигналов.

Практическая значимость проведенных в ходе выполнения работы исследований заключается во внедрении их результатов в образовательную деятельность кафедры инфокоммуникационных систем и технологий ФГКОУ ВО «Воронежский институт МВД России». Результаты диссертационного исследования применяются также в научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработках ФГУП «НТЦ Орион» ФСБ России, ОАО «Концерн «Созвездие», ООО «Радиокода».

Востребованность результатов в учебной и производственной сферах подтверждена актами о внедрении.

Автореферат.

Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы. В нем обоснована актуальность темы исследования, поставлена цель и задачи, сформулирована научная новизна и положения, выносимые на защиту, приведено основное содержание работы и заключение, представлен перечень основных публикаций.

Апробация работы и публикации.

Результаты работы докладывались и обсуждались на нескольких научных и научно-технических конференциях различного уровня. По теме диссертации опубликовано 28 научных работ, из них 6 статей в изданиях из Перечня ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК, 4 публикации включены в международные наукометрические базы Scopus и

IEEE Explore. Получены свидетельства о государственной регистрации патента на изобретение и государственной регистрации программы для ЭВМ.

Замечания по диссертационной работе.

В качестве замечаний по диссертационной работе можно отметить следующее:

1. В диссертации не рассмотрена возможность применения в формирователях иных методов компенсации (кроме автокомпенсации) дисбаланса амплитуды и фазы квадратурного модулятора, например, алгоритмов цифровой коррекции искажений (калибровки).
2. Из результатов работы не ясно, имеется ли возможность изменять уровень подавления амплитудно-фазовых искажений формирователя путем изменения параметров цепей автоматической компенсации.
3. Полезным оказалось бы сравнение предложенного метода формирования спектрально-эффективных сигналов с известными методами дефазирования радиосигнала.
4. В параграфе 4.3 не поясняются причины появления дискретных составляющих в спектрах выходного сигнала формирователей (рис. 4.14 и рис. 4.15) и их влияние на спектральную эффективность формируемых радиосигналов.
5. В работе имеется ряд стилистических ошибок и некорректных фраз:
 - «Один синусоидальный входной сигнал на частоте ω_1 на выходе будет генерировать на частотах $\omega_1, 2\omega_1, 3\omega_1 \dots n\omega_1$.» (с.16);
 - некорректное использование термина «комплексная огибающая» (с.116), а также опечатка:
 - ошибочные числовые значения в столбце b_{n+1} таблицы 1.1 (с.30) и столбце $\Delta\varphi$ таблицы 1.2 (с.33);
 - ошибочный индекс сигнала $u_2(t)$ в формуле 1.38 (с.40);
 - единицы измерения «МГц» вместо «кГц» (с.110).

Указанные замечания в целом не мешают восприятию изложенного материала, не затрагивают основных защищаемых положений и не снижают ее достоверность, научную и практическую ценность.


Заключение.

Диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на высоком уровне, и соответствует паспорту специальности 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения. В целом работа производит положительное впечатление и подтверждает высокую квалификацию соискателя.

Считаю, что диссертационная работа соответствует основным требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к работам, представленным на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Печников Сергей Сергеевич, заслуживает присуждение искомой ученой степени по специальности 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Официальный оппонент,
кандидат технических наук, доцент,
декан факультета радиоэлектроники
и компьютерных систем Муромского института
ФГБОУ ВО «Владимирский государственный
университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых»

Константин
Константинович
Храмов


18.08.2021г.

Адрес организации: 606262, Владимирская обл., г. Муром, ул. Орловская, 23
Телефон: 8(49234)77233,
E-mail: freecs@mivlgu.ru

Подпись К.К. Храмова заверяю
Директор института, профессор

А.Л. Жизняков

18.08.2021г.

