



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
**ВОРОНЕЖСКИЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ИНСТИТУТ «ВЕГА»**

Московский пр., д. 7-б, г. Воронеж, 394026  
телефон: (473) 262-27-03, факс: 262-27-20  
e-mail: box@vega.techno-g.ru; http://vniivega.ru  
ОКПО 29692071, ОГРН 1053600451013  
ИНН/КПП 3662103035/366201001

на № 08.09.2021 от № 180/2661

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор  
АО «Воронежский Научно-  
Исследовательский Институт  
«Вега»

д.т.н., к.т.н., профессор

В.И.Штефан



2021 г.

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию 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 ДИССЕРТАЦИИ

В условиях ограниченного частотного ресурса обостряется проблема обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств и повышения спектральной эффективности передаваемых сигналов. Для этих целей являются наиболее подходящими сигналы с амплитудно-фазовой модуляцией. Однако их взаимодействие с нелинейными элементами (в первую очередь усилителями мощности) приводит к возникновению интермодуляционных искажений. В результате, современные телекоммуникационные системы, которые используют сложные схемы модуляции и генерируют выходной сигнал с непостоянной огибающей,

требуют усилителей мощности с высокой линейностью. Поэтому на современном этапе развития науки и техники актуальной задачей является теоретическое обоснование и экспериментальное исследование новых структурных схем формирователей спектрально-эффективных радиосигналов, позволяющих осуществлять нелинейное усиление мощности и методов компенсации амплитудно-фазовых искажений.

Развитие данной тематики в диссертации Печникова С.С. имеет важное теоретическое и практическое значение для радиотехники и ряда смежных областей.

Для решения поставленных задач в работе использованы методы математического и компьютерного моделирования, методы функционального преобразования, численные методы расчета и анализа, векторного исчисления.

### **Характеристика работы**

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

Результаты, представленные в диссертации, получены при непосредственном участии автора в разработке и исследовании приведённых в работе схем, алгоритмов, методов; в проведении моделирования и обработке полученных данных.

### **Научная новизна проведенных исследований и полученных результатов**

Наиболее значимые научные результаты диссертационной работы состоят в следующем:

1. Структурные схемы формирователей узкополосных спектрально-эффективных радиосигналов, позволяющие синтезировать выходные сигналы в виде двух фазомодулированных сигналов, отличающихся индексом модуляции пропорциональным амплитудам модулирующих квадратурных сигналов и

отсутствием дополнительной фазовой корреляции в фазомодулированных составляющих.

2. Метод компенсации амплитудно-фазовой нестабильности в квадратурном модуляторе радиосигналов, позволяющий минимизировать возникновение паразитной амплитудной и паразитной фазовой модуляции, отличающийся использованием компенсационных сигналов, синтезированных формирователем функциональных составляющих.

3. Полученные в результате моделирования спектральные характеристики и результаты анализа параметрической чувствительности формирователей узкополосных спектрально-эффективных радиосигналов, позволяющие оценить точность выполняемых преобразований.

4. Устройство формирования функциональных составляющих на базе ПЛИС, отличающееся минимальными аппаратными затратами и применением компенсации амплитудно-фазовых искажений в петле обратной связи.

Новизна и достоверность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, подтверждены апробацией на международных и всероссийских научных семинарах и конференциях.

### **Практическая значимость полученных в диссертации результатов**

Практическая значимость полученных результатов подтверждается следующими положениями:

1. Разработанные структурные схемы формирователей узкополосных спектрально-эффективных радиосигналов, синтезирующие выходной сигнал в виде двух квадратурных фазомодулированных составляющих для последующего нелинейного усиления.

2. Метод компенсации амплитудно-фазовой нестабильности в квадратурном модуляторе радиосигналов на базе формирователей функциональных составляющих, позволяющий минимизировать возникновение паразитной амплитудной модуляции на 47,3% и паразитной фазовой модуляции на 50% при отклонении фазовращателя на  $3^\circ$  и индексе фазовой модуляции  $\pi/4$ .

3. Спектральные характеристики и результаты анализа параметрической чувствительности формирователей узкополосных спектрально-эффективных радиосигналов, позволяющие оценить точность выполнения преобразований при отклонении фазовращателя от  $0^\circ$  до  $45^\circ$  и отклонении коэффициентов передачи балансных модуляторов от 1 до 0,7.

4. Устройство формирования функциональных составляющих на базе ПЛИС, входящее в состав структурной схемы формирователя узкополосных спектрально-эффективных радиосигналов, позволяющее компенсировать амплитудно-фазовые искажения в петле обратной связи.

5. Метод применения формирователей узкополосных спектрально-эффективных радиосигналов для осуществления линейного усиления в нелинейных усилителях мощности сигналов.

#### **Апробации и основные публикации по теме исследования**

Для решения поставленных задач в работе использованы методы математического и компьютерного моделирования, методы функционального преобразования, численные методы расчета и анализа, векторного исчисления.

Полученные результаты, выводы и рекомендации имеют практическую направленность, обладают научной новизной, полезностью и могут использоваться при разработке мобильных комплексов специального назначения и средств связи.

Результаты диссертационной работы достоверны, в достаточной степени опубликованы, в том числе в центральной печати, прошли апробацию на научных и научно-технических конференциях различного уровня.

По теме диссертации соискателем опубликовано 28 научных работ, из них 6 статьи в журналах, рекомендованных ВАК, 4 статьи в изданиях, индексируемых в Scopus. 1 патент на изобретение, 1 свидетельство о государственной регистрации программного обеспечения.

Автореферат диссертации в достаточной степени отражает ее основное содержание и соответствует требованиям ВАК.

### **Замечания по диссертационной работе**

При общей положительной характеристике работы обнаружилось следующие замечания

1. Отсутствует подробное сравнение предложенного метода компенсации амплитудно-фазовой нестабильности в квадратурном модуляторе с другими методами компенсации искажений.

2. В п. 3.2.1. при описании применения квадратурной обратной связи для устранения ошибок, вносимых в результате нелинейного усиления и несоответствия трактов усиления не была учтена ошибка, вносимая квадратурным демодулятором.

3. На некоторых графиках и рисунках отсутствуют наименования осей и единиц измерения.

4. Поскольку автор вводит определенные обозначения и сокращения, было бы целесообразно в начале диссертации привести их список, что заметно облегчило бы прочтение материала диссертации.

5. Присутствуют синтаксические и стилистические ошибки.

Отмеченные недостатки существенным образом не снижают ценность представленной работы, которая заслуживает положительной оценки.

### **Заключение**

Диссертационная работа «Формирователи спектрально-эффективных радиосигналов с компенсацией амплитудно-фазовых искажений» является законченной научно-квалификационной работой, в которой автором получены решения актуальных задач – формирование узкополосных многопозиционных спектрально-эффективных радиосигналов для систем радиосвязи специального назначения и при этом снизить амплитудные и фазовые искажения за счет использования компенсационных сигналов. Работа выполнена на высоком научном уровне и обладает теоретической и практической значимостью. Она соответствует требованиям ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор Печников Сергей Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени

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

Отзыв на диссертационную работу рассмотрен на заседании научно-технической секции отдела 104 АО «ВНИИ «Вега», протокол № 4 от 2 августа 2021 года

Отзыв подготовил главный специалист  
АО «ВНИИ «Вега»,  
к.ф.-м.н., доцент



Кашкаров В.М.

24.08.2021

АО «ВНИИ «Вега»

Акционерное общество «Воронежский  
научно-исследовательский институт «Вега»

Адрес: Россия, 394026, г. Воронеж, Московский проспект, д. 7-Б

Телефон: +7 (473) 246-31-88

Адрес электронной почты: [vega@vniivega.ru](mailto:vega@vniivega.ru)