

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор УО «Белорусская  
государственная академия связи»  
д.т.н., профессор

А.О. Зеневич

«08» 02 2024 г.



## ОТЗЫВ

оппонирующей организации

УО «Белорусская государственная академия связи»

на диссертацию Беленкевич Натальи Ивановны

«Методы, модели и системы моделирования сигналов и линейных звеньев систем радиоэлектроники»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»

### 1. Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и отрасли науки

Содержание диссертации соответствует заявленной отрасли «технические науки» и паспорту специальности 05.12.04 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения», утвержденному приказом ВАК Республики Беларусь от 31.05.2023 г. № 131, а именно п.1 – радиотехнические процессы, явления, сигналы, цепи и методы их анализа; п.2 – генерация, усиление, преобразование, прием и передача сигналов. Модуляция. Демодуляция. Спектры, корреляционные функции, математические и статистические модели сигналов; п.4 – разработка новых и совершенствование существующих приемопередающих систем и устройств. Диссертационная работа соответствует отрасли технические науки.

### 2. Научный вклад соискателя в решение научной задачи с оценкой его значимости

Диссертационная работа посвящена решению актуальной научной задачи по разработке унифицированного подхода к математическому и физическому моделированию сигналов и линейных звеньев систем радиоэлектроники, обеспечивающего повышение точности и достоверности моделирования, расширение возможностей моделирования сложных систем радиоэлектроники и сокращение времени и стоимости их разработки.

Научная новизна полученных автором результатов заключается в следующем.

1. Автором обоснована совместная математическая модель сигналов, звеньев и реакций (СЗР) систем радиоэлектроники на комплексной плоскости,

которая, в отличие от известных, охватывает все типы континуальных детерминированных сигналов, линейных звеньев и реакций, обеспечивая необходимые преобразования используемых моделей и формирование их развитых библиотек.

2. Разработаны математические модели нормирования/денормирования, реактансных преобразований, перемножения и нормализации операторных передаточных функций минимально- и неминимально-фазовых линейных звеньев, которые, в отличие от известных, обеспечивают формирование звеньев с различными видами частотных характеристик и существенно сокращают объем подготовительной работы.

3. Автором разработана математическая модель временных характеристик систем радиоэлектроники на основе модифицированного операционного метода, которая, в отличие от известных моделей, представляет любую временную характеристику точным аналитическим выражением из конечного числа слагаемых, что значительно улучшает точность моделирования во временной области.

4. Разработаны математические модели частотных характеристик систем радиоэлектроники, которые, в отличие от известных, описывают амплитудно- и фазочастотные характеристики всех типов линейных звеньев, амплитудные и фазовые спектры непериодических и периодических сигналов и реакций, обеспечивают простую реализацию и эффективно моделируют частотные и энергетические характеристики.

5. Автором теоретически и экспериментально разработаны два метода и система генерирования стабильных электрических сигналов различной формы в широком диапазоне частот, которые обеспечивают одинаковую относительную нестабильность несущей частоты во всем диапазоне, что в разы превосходит стабильность сигналов, генерируемых известными методами.

6. Синтезирована структура программно-аппаратного комплекса математического и физического моделирования сигналов и линейных звеньев систем радиоэлектроники, который обеспечивает предельную точность математического моделирования временных характеристик, эффективные процедуры расчета частотных, энергетических и временных характеристик, существенно расширяет возможности физического моделирования.

### **3. Конкретные научные результаты, за которые соискателю может быть присуждена искомая ученая степень**

Соискателю может быть присуждена искомая ученая степень за следующие результаты.

1. Математическая модель сигналов, звеньев и реакций на комплексной плоскости, задающая все типы применяемых при моделировании

континуальных детерминированных сигналов, линейных звеньев и реакций и обеспечивающая необходимые преобразования используемых моделей сигналов и звеньев.

Научная новизна предлагаемой математической модели состоит в том, что она позволяет обеспечивать необходимые преобразования моделей сигналов и звеньев, создание развитых библиотек их математических моделей.

Научная и практическая значимость предлагаемой модели заключается в том, что она является основой для разработки математических моделей сигналов, звеньев и реакций в частотной и временной областях, имеющих повышенную точность расчета частотных, временных и энергетических характеристик и расширенные функциональные возможности.

2. Математическая модель временных характеристик сигналов, звеньев и реакций, справедливая и при кратных полюсах передаточной функции звена и изображения воздействия, представляющая любую из временных характеристик точным аналитическим выражением из конечного числа слагаемых.

Научная новизна предлагаемой математической модели состоит в том, что она позволяет обеспечивать предельную точность (не зависящую от количества точек дискретизации по времени и определяемую только точностью вычисления элементарных функций в используемой системе программирования) и реализовать эффективную процедуру моделирования сигналов, звеньев и реакций во временной области.

Научная и практическая значимость предлагаемой модели заключается в том, что она позволяет использовать алгоритм расчета временных характеристик, обеспечивающий построение эффективной автоматизированной процедуры моделирования сигналов, звеньев и реакций во временной области, при этом количество операций сложения и умножения определяется только числом полюсов передаточной функции звена и изображения воздействия, что обеспечивает предельную точность, уменьшает объем вычислений и время моделирования.

3. Два метода и система генерирования стабильных электрических сигналов различной формы в широком диапазоне частот, обеспечивающие во всем диапазоне одинаковую относительную нестабильность несущей частоты, равную относительной нестабильности опорного генератора.

Научная новизна предлагаемых методов и системы генерирования стабильных электрических сигналов различной формы в широком диапазоне частот состоит в том, что методы обеспечивают во всем диапазоне относительную нестабильность, равную относительной нестабильности высокостабильного опорного генератора, существенно меньшую, чем в известных методах, не накладывают ограничений на выбор промежуточной

частоты, что позволяет упростить структуру и аппаратную реализацию широкодиапазонной системы генерирования.

Научная и практическая значимость предлагаемых методов и системы генерирования стабильных электрических сигналов различной формы в широком диапазоне частот заключается в том, что система генерирования, построенная на основе предложенных методов, осуществляет одновременное формирование двух модулирующих и одного модулированного сигналов различной формы, что позволяет ее использовать как в автономном режиме, так и в составе комплекса моделирования для расширения его возможностей.

#### **4. Замечания по диссертации**

1. Объем первой главы, посвященный сравнительному анализу средств моделирования сигналов и линейных звеньев систем радиоэлектроники избыточен.

2. Не показаны преимущества разработанных устройств и программно-аппаратного комплекса по сравнению с конкретными известными решениями, такими как генераторы сигналов произвольной формы, системы прямого цифрового синтеза, генераторы на FPGA и др.

3. В диссертационной работе в разделе 1.2 дается краткое описание необходимости построения системы генерирования сигналов и реакций на основе специальных методов генерирования модулированных сигналов, обеспечивающих во всем широком частотном диапазоне высокую стабильность частоты. Также предлагается система генерирования сигналов на основе разработанного автором метода. Однако, не показаны преимущества системы по обеспечению стабильности несущей частоты по сравнению с известными решениями (термокомпенсированные и термостатированные генераторы).

4. Положения, выносимые на защиту не содержат критериев сравнения и оценки выигрыша.

Приведённые выше замечания не снижают научной и практической значимости полученных результатов.

#### **5. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует**

На основании анализа содержания диссертации, используемых методов исследования и интерпретации полученных результатов, их научной и практической значимости можно сделать вывод, что научная квалификация автора работы Беленкевич Натальи Ивановны соответствует учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

## 6. Рекомендации по практическому использованию результатов

Полученные в диссертационной работе Беленкевич Н.И. результаты могут быть использованы на практике специалистами, занимающимися моделированием радиотехнических систем и устройств, расчетом частотных и энергетических характеристик сигналов и звеньев.

Разработанный программно-аппаратный комплекс (ПАК) может использоваться в системах проектирования и разработки радиоэлектронных систем, в информационно-измерительных системах и комплексах, в системах и устройствах генерирования сигналов, при подготовке (переподготовке) специалистов в области радиоэлектронных систем и смежных областях.

При адаптации ПАК к требованиям и потребностям в каждой конкретной области применения позволит применять его для тестирования и отладки электронных устройств и радиоэлектронных систем, проверки и верификации электронных компонентов; тестирования средств связи.

## 7. Заключение

Автор диссертационной работы Беленкевич Наталья Ивановна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

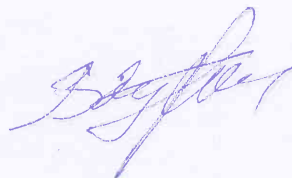
Диссертационная работа Беленкевич Натальи Ивановны рассмотрена на научном собрании Учреждения образования «Белорусская государственная академия связи» (протокол №7 от 08 февраля 2024г.) на основании приказа ректора академии № 40 от 31.01.2024 г., на котором соискатель выступила с докладом.

В голосовании приняли участие участники научного собрания, имеющие ученые степени доктора наук – 4 человека и кандидата наук – 13 человек.

**ЗА – 17, ПРОТИВ – НЕТ, ВОЗДЕРЖАЛОСЬ – НЕТ.**

Председатель научного собрания:

д.т.н., профессор,  
зав. кафедрой ЗОЖ



В.И. Курмашёв

Эксперт:

к.т.н., доцент,  
зав. кафедрой ТКС



С.И. Половня

Секретарь научного собрания:

к.ф.-м.н., доцент,  
зав. кафедрой ИКТ



С.Ю. Михневич