

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента Солонара Андрея Сергеевича, кандидата технических наук, доцента, ведущего научного сотрудника службы фундаментальных и прикладных исследований открытого акционерного общества «КБ Радар» – управляющей компании холдинга «Системы радиолокации» на диссертационную работу 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 диссертации специальности и отрасли науки**

Диссертационная работа Беленкевич Натальи Ивановны соответствует следующим пунктам паспорта специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения» в области технических наук:

- радиотехнические процессы, явления, сигналы, цепи и методы их анализа (пункт 1);

- генерация, усиление, преобразование, прием и передача сигналов. Модуляция. Демодуляция. Спектры, корреляционные функции, математические и статистические модели сигналов (пункт 2);

- исследование новых процессов и явлений в радиотехнике, позволяющих повысить эффективность радиотехнических, телевизионных, электронных систем и устройств, включая системы и устройства космического базирования (пункт 5).

### **2. Актуальность темы диссертации**

Одним из основных направлений развития современных радиотехнических средств является создание прецизионных устройств с целью повышения пропускной способности и качество формирования, обработки сигналов в телекоммуникационных, радиолокационных, навигационных и других систем.

Разработка прецизионных радиотехнических устройств требует поиска новых подходов к описанию математических моделей сигналов, звеньев и их реакций на комплексной плоскости на соответствующие сигналы. Новые подходы позволяют выявить факторы (параметры цепей и сигналов), влияющие на выходной сигнал звеньев.

Таким образом, приведенные в диссертационной работе Беленкевич Е.И. исследования выполнены на актуальную тему.

### **3. Степень новизны результатов и научных положений**

В соответствии с целью и основными задачами исследования соискателем получены научные результаты, наиболее важными из которых являются следующие.

1. Разработана математическая модель сигналов, звеньев и реакций на комплексной плоскости, которая, в отличие от известных, задает все типы

применяемых при моделировании континуальных детерминированных сигналов, линейных звеньев и реакций, обеспечивает необходимые преобразования используемых моделей сигналов и звеньев и создание 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 моделей звеньев с различными видами частотных характеристик, включая фильтры с несколькими полосами пропускания или (и) задерживания, значительно уменьшают объем подготовительной работы.

3. Разработана (на основе модифицированного операционного метода) математическая модель временных характеристик сигналов, звеньев и реакций, которая, в отличие от известных, являясь результатом разложения по конечной неортогональной системе собственных функций (звена и воздействия), представляет любую из временных характеристик аналитическим выражением из конечного числа слагаемых. В модели, справедливой при кратных полюсах передаточной функции звена, количество операций сложения и умножения определяется числом этих полюсов, что обеспечивает высокую точность (не зависящую от количества точек дискретизации по времени и определяемую только точностью вычисления элементарных функций в используемой системе программирования), устраняет проблемы оценки точности и сходимости решения, уменьшает объем вычислений и время моделирования, позволяет реализовать эффективную процедуру моделирования характеристик сигналов, звеньев и реакций во временной области. Для минимизации ошибки наложения спектров частота дискретизации по времени должна на порядок превышать ширину основного лепестка спектра видеоимпульса. Для последующей минимизации ошибки наложения реакций и достижения высокой точности моделирования (относительная среднеквадратическая погрешность менее 1 %) период повторения должен превышать длительность моделируемого видеоимпульса (радиоимпульса) в 10 и более раз.

4. Разработаны (на основе классического операционного метода) математические модели частотных характеристик сигналов, звеньев и реакций, которые, в отличие от известных, описывают амплитудно- и фазочастотные характеристики всех типов линейных звеньев, амплитудные и фазовые спектры непериодических (финитных, бесконечно протяженных), периодических сигналов и соответствующих им реакций, имеют простую реализацию и обеспечивают построение эффективной процедуры моделирования всех частотных и энергетических характеристик сигналов, звеньев и реакций.

#### **4. Обоснованность и достоверность основных результатов и рекомендаций**

Полученные в работе результаты достоверны, обоснованы, выводы аргументированы, вытекают из содержания проведенных исследований.

Результаты, выводы и рекомендации основаны на математических моделях и подтверждены компьютерным моделированием.

### **5. Научная, практическая и экономическая значимость результатов и основных научных положений диссертации**

Научная значимость результатов диссертации заключается в разработке математической модели временных характеристик сигналов, звеньев и реакций, позволяющей представить временную характеристику аналитическим выражением из конечного числа слагаемых. В модели, справедливой при кратных полюсах передаточной функции звена, количество операций сложения и умножения определяется числом этих полюсов, что обеспечивает высокую точность, устраняет проблемы оценки точности и сходимости решения, уменьшает объем вычислений и время моделирования, позволяет реализовать эффективную процедуру моделирования сигналов, звеньев и реакций во временной области.

Практическая значимость результатов диссертации состоит в возможности использования подходов к описанию математических моделей сигналов, звеньев и их реакций на соответствующие сигналы на комплексной плоскости при разработке прецизионных радиотехнических устройств.

Экономическая значимость определяется возможностью реализовать систему автоматического расчета математических моделей сигналов, звеньев и их реакций на соответствующие сигналы на комплексной плоскости для разработки прецизионных радиотехнических устройств.

Социальная значимость заключается в том, что предлагаемые соискателем новые знания имеют общественно полезное значение, поскольку связаны с повышением надежности и эффективности функционирования существующих и вновь разрабатываемых прецизионных радиотехнических устройств.

### **6. Полнота опубликования основных положений и результатов диссертации**

Изложенные в диссертационной работе результаты исследований и положения, выносимые на защиту, достаточно полно отражены в научной печати – опубликовано 29 работ, в том числе: восемь статей в рецензируемых отечественных и иностранных научных журналах, рекомендованных ВАК, общим объемом 3,625 авторского листа; 15 статей в сборниках материалов научных конференций и три тезиса докладов научных конференций в объеме соответственно 2,22 и 0,28 авторского листа. Получены три патента Республики Беларусь на изобретения (в том числе два патента на способы и один – на систему). Результаты работы отражены в семи научно-технических отчетах.

Опубликованные соискателем материалы и его личный вклад достаточно полно отражают научные и практические результаты диссертации.

### **7. Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК**

Диссертационная работа выполнена на достаточно хорошем научном уровне, оформлена в соответствии с требованиями ВАК.

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав с выводами, заключения, библиографического списка и приложений. Объем диссертации – 162 страницы.

В целом, оформление диссертации соответствует требованиям ВАК.

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

На основании анализа содержания диссертации, используемых методов исследования и интерпретации полученных результатов можно сделать вывод, что научная квалификация Беленкевич Натальи Ивановны соответствует ученой степени кандидата технических наук.

## **9. Замечания**

По диссертации возник ряд замечаний:

– на стр.41 выражение (2.1) представлено как передаточная функция специального вида, при этом автор ссылается только на свою статью, в которой также нет ссылок на первоисточник, где описано данное выражение. Такое представление информации вводит в заблуждение и создаёт впечатление, что автором выражения (2.1) является соискатель. Подобное представление передаточной функции (2.1) приводится в известной литературе (например, в учебнике «Основы автоматического управления систем радиоэлектронных средств» (стр. 81)). Также, необходимо отметить, что современные пакеты прикладных программ позволяют моделировать произвольные формы передаточных функций (например: `matlab(simulink)`);

– в главе 2 при описании математической модели сигналов, линейных звеньев и реакций нет информации о методе поиска коэффициентов  $a_{zi}$  передаточных функций (2.1), (2.11), (2.13), хотя выбор коэффициентов  $a_{zi}$  определяет конечный результат математического моделирования. Подобная информация приводится в главе 3 на стр.66, где указано, что поиск производится численным методом дифференцирования (с помощью конечных разностей), при этом нет подробностей о том, чем обусловлен выбор данного метода.

– в работе предложено описание математических моделей сигналов, звеньев и их реакций. Однако на стр.120 автор утверждает, что для реализации предложенного подхода в программно-аппаратного комплексе (ПАК) требуются «большие материальные и интеллектуальные ресурсы» и предлагает перейти к ПАК с использованием типовых звеньев на основе фильтра Золотарева-Кауэра и применить одноканальный вариант системы генерирования сигналов. Отсюда напрашивается вывод о несоответствии практически реализованного ПАК синтезированному по предлагаемой в диссертации методологии;

– для получения фильтров с несколькими полосами пропускания соискатель использует принцип перемножения передаточных функций полосовых фильтров. Такой подход имеет ряд недостатков:

а) схемная реализация такого фильтра в сосредоточенном элементном базисе подразумевает наличие в схеме помимо реактивных элементов (емкость, индуктивность) активных (резисторов), которые вносят существенные потери;

б) при относительно малой расстройке по частоте полосовых фильтров появляются искажения частотных характеристик.

В работе «Многополосное преобразование частоты» Чавка Геннадия Георгиевича для преодоления вышеуказанных недостатков предлагается использовать многополосное реактансное преобразование (Чавка, Г. Г. Многополосное преобразование частоты / Г. Г. Чавка // Изв. вузов СССР. Радиоэлектроника. – 1968. – № 12. – С. 1315–1318);

– применение частотных преобразований к передаточным функциям звеньев для нормирования (денормирования), формирования НЧ, ВЧ, полосно-пропускающих характеристик не является новой операцией;

– в диссертации упоминается о большом объеме подготовительных работ при моделировании (известными методами) звеньев с различными видами частотных характеристик, однако в современных САПР (например: AWR Studio, ADS, Matlab) никаких трудностей эта операция не вызывает;

– из текста диссертации непонятно, каким образом выбираются коэффициенты  $W$ ,  $V$ ,  $Z$  делителя частоты и по какому закону они должны меняться в процессе работы генератора;

– соискатель претендует на абсолютную новизну результатов исследований, т.к. в положениях, выносимых на защиту, отсутствуют отличительные признаки от известных методов, моделей и т.д. При этом не приводится их количественная оценка, а значит и не подтверждается эффективность новых подходов в сравнении с известными.

## 10. Заключение

Диссертация Беленкевич Натальи Ивановны «Методы, модели и системы моделирования сигналов и линейных звеньев систем радиоэлектроники» является квалификационной научной работой, подготовленной под научным руководством кандидата технических наук, доцента Ильинкова Валерия Андреевича. Содержание диссертационной работы соответствует специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения» в области технических наук, по которой она представлена к защите.

Беленкевич Наталья Ивановна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук за следующие новые научные результаты:

– математическую модель временных характеристик сигналов, звеньев и реакций на основе модифицированного операционного метода, отличающуюся результатом разложения по конечной неортогональной системе собственных функций, позволяющую представить временные характеристики аналитическим выражением из конечного числа слагаемых, уменьшить объем вычислений и время моделирования. При ограничениях на длительность импульсов, период их

следования и на вычислительные возможности, математическая модель временных характеристик сигналов, звеньев и реакций позволяет снизить относительную среднеквадратическую погрешность представления детерминированного сигнала более чем на 10 процентов по сравнению с методом ДПФ в зависимости от ограничений на частоту дискретизации.

Совокупность данных результатов позволила соискателю решить актуальную научную задачу.

Ведущий научный сотрудник  
службы фундаментальных и прикладных  
исследований открытого акционерного общества  
«КБ Радар» – управляющей компании холдинга  
«Системы радиолокации»,  
кандидат технических наук, доцент

А.С. Солонар

Я, *Солонар Андрей Сергеевич*, даю согласие на обработку моих персональных данных, связанную с защитой диссертации и оформлением аттестационного дела *Беленкевич Натальи Ивановны*.

Солонар Андрей Сергеевич

