

УТВЕРЖДАЮ  
Генеральный директор  
АО «Микро-ВИС».



Кан С.М.

2019 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Южанина Максима Владимировича на тему «Устройства измерения модуля комплексных сопротивлений двухполосных электрических цепей с применением синхронных детекторов радиосигналов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

### Актуальность темы диссертационной работы

Повышение точности измерений параметров электрических цепей в условиях сложной электромагнитной обстановки является актуальной проблемой при создании радиоэлектронных средств. При проведении радиотехнических исследований, решении задач проектирования и эксплуатации технологических датчиков, элементов устройств систем связи и управления широко используется такой параметр как комплексное сопротивление двухполосных электрических цепей. Разработка новых решений на основе синхронного детектирования радиосигналов, обладающего повышенной помехоустойчивостью, позволяет повысить точность измерений параметров электрических цепей в условии действия помех.

### Анализ содержания работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех разделов и заключения.

**Во введении** соискателем приведена общая характеристика работы, сформулированы цель и задачи работы, исследовательская актуальность, представлена научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

**В первой главе** выполнено обоснование актуальности работы, сформулирована цель и ограничен перечень задач для достижения цели. В частности, для этого выполнен анализ и классификация помех, действующих на входах детекторов радиооборудования, и упомянуты основные способы нейтрализации их действия. Описано решение помехозащищенного способа детектирования, построенного на основе использования синхронного детектирования. Дано описание методов анализа нелинейных электрических цепей, в том числе с помощью метода нелинейных токов в рамках аппарата функциональных рядов Вольтерра. Выполнен обзор существующих способов аппроксимации вольт-амперных характеристик полупроводниковых приборов. Проведён анализ методов определения составляющих комплексного сопротивления двухполосных электрических цепей, в том числе для химического источника тока.

**Во второй главе** выполнена модификация метода нелинейных токов для получения расчётных выражений, которые определяют зависимость выходного тока синхронного детектора с учётом всех составляющих тока. Рассмотрены составляющие

тока, имеющие нелинейный характер образования и образованные за счёт частных проводимостей нелинейного элемента, а также составляющая, имеющая нелинейно-параметрический характер образования за счет смешанной проводимостей при разложении в кратный ряд Тейлора нелинейной зависимости выходного тока полупроводникового элемента в зависимости от напряжений на двух управляющих электродах.

**В третьей главе** приведено универсальное выражение, полученное на основе экспоненциальной функции, которое позволяет аппроксимировать вольт-амперные характеристики полевых триодов и тетродов, мощных IGBT-транзисторов, а также диодов и светодиодов во всей области допустимых напряжений при прямом и инверсном включении. Также показано применение полученного аппроксимирующего выражения в совокупности с расчётными соотношениями, полученными во второй главе, для расчёта спектра выходного тока синхронного детектора на полевом транзисторе. Расчётным путём наглядно показано, что основной вклад в суммарный ток второго порядка вносит составляющая, образованная в результате действия смешанной проводимости при нелинейно-параметрическом взаимодействии напряжений первого порядка на затворе и стоке полевого транзистора. Полученный результат подтверждён экспериментально.

**В четвертой главе** расчётным путем определены и экспериментально подтверждены данные зависимости дополнительной погрешности измерения сопротивления двухполюсника при наличии аддитивной помехи в цепи измерения для измерительных устройств двух типов: построенных с использованием последовательных диодных амплитудных детекторов и с использованием синхронных детекторов. Показано, что устройство для измерения сопротивления двухполюсных цепей с синхронным детектированием измерительных сигналов обладает на 12 дБ увеличенным диапазоном амплитуд помехи при одинаковой дополнительной погрешности измерения. Также в четвертой главе приведено описание новых технических решений, полученных на основе проведенных исследований: стабилизатора тока цепи питания источника оптического излучения, устройства, предназначенного для измерения сопротивления химических источников тока, аппаратно-программного комплекса для дистанционного обслуживания аккумуляторных батарей. Новые технические решения защищены патентами на изобретение и полезные модели.

#### **Соответствие темы диссертации научной специальности**

Диссертационная работа Южанина М.В. посвящена развитию методов моделирования и расчёта, разработке и внедрению устройств синхронного детектирования радиосигналов на полевых транзисторах в системы измерения модулей комплексных двухполюсных электрических цепей при наличии аддитивной помехи, что соответствует п.3 и п.4 паспорта специальности. Разработана методика моделирования вольт-амперных характеристик полевых транзисторов на основе экспоненциальной функции, что соответствует п.11 паспорта специальности. Разработаны устройства определения составляющих внутреннего сопротивления химических источников тока, что соответствует п.13 паспорта специальности.

## **Общая характеристика работы**

Диссертационная работа состоит из содержания, введения, четырех разделов, заключения, двух приложений, списка использованных источников информации, включающего 167 наименований, содержит 117 страниц текста, 41 рисунок и 5 таблиц.

Структура и содержание работы построены логично и соответствуют сформулированным целям и задачам исследования. Полученные результаты и выводы обоснованы и подтверждены результатами экспериментальных исследований. Автореферат достаточно полно отражает содержание, выводы и результаты исследования, представленные в диссертации. По результатам проведенных исследований опубликованы 23 работы, в том числе пять публикаций в журналах из перечня ВАК, одна статья опубликована в иностранном научном издании, получено три патента на полезные модели и один патент на изобретение, тринадцать работ опубликовано в сборниках трудов научно-технических конференций.

### **Научная новизна полученных автором результатов, выводов и рекомендаций**

Научной новизной обладают следующие результаты работы:

1. Распространение метода нелинейных токов на устройства синхронного детектирования радиосигналов. Получены новые выражения для расчёта выходного тока полевого транзистора с двумя управляющими электродами при синхронных воздействиях.
2. Определены зависимости погрешности расчета напряжения на выходе последовательного диодного амплитудного детектора при воздействии двух гармонических колебаний сигнала и помехи от соотношения амплитуд этих колебаний.
3. Разработка методики моделирования вольт-амперных характеристик полевых транзисторов на основе экспоненциальной функции.

### **Практическая значимость работы**

1. Предложена методика определения параметров статической модели полупроводниковых приборов – полевых транзисторов, биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT), выпрямительных диодов и светодиодов.
2. Разработано новое устройство для определения составляющих внутреннего сопротивления химических источников тока.
3. Разработано новое техническое решение устройства измерения модуля комплексного сопротивления двухполюсных электрических цепей с расширенными функциональными возможностями и увеличенным диапазоном измеряемых значений.
4. Разработаны новые технические решения: аппаратно-программного комплекса для тестирования и заряда аккумуляторных батарей, входящего в состав системы гарантированного электропитания; устройства определения параметров химических источников тока; устройства питания для светодиодного источника оптического излучения.

На четыре новых устройства получены: патент на изобретение №2449302 «Способ определения составляющих внутреннего сопротивления химических источников тока», патенты на полезные модели №130088 «Система гарантированного электропитания с аппаратно-программным комплексом для тестирования и заряда аккумуляторных батарей», №183327 «Устройство определения параметров химических источников тока» и №108885 «Источник оптического излучения».

Под руководством и при непосредственном участии автора создан и внедрен аппаратно-программный комплекс удалённого технического обслуживания аккумуляторных батарей (устройство для измерения полного внутреннего сопротивления химических источников тока). Устройство внедрено на объекте связи филиала АО «Связьтранснефть» - «Сибирское ПТУС».

Результаты диссертационной работы использованы при расчёте электромагнитной совместимости в части кондуктивных радиопомех в диапазоне частот 0,15-30 МГц экспериментальных образцов светодиодных ламп в Научно-исследовательском институте светодиодных технологий ТУСУР при выполнении работ по федеральной целевой программе «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2014 – 2020 годы» в рамках проекта «Разработка прототипов передовых технологических решений роботизированного интеллектуального производства электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств», уникальный идентификатор работы (проекта) RFMEFI57717X0266.

Результаты диссертационной работы (результаты математического моделирования вольт-амперных характеристик светоизлучающих диодов на основе экспоненциальной функции) используются в учебном процессе в Томском государственном университете систем управления и радиоэлектроники при выполнении практических работ и в самостоятельной работе студентов по дисциплине «Преддипломный курс» для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств», профиль «Технология электронных средств».

#### **Достоверность результатов работы**

Достоверность результатов работы обеспечена физической обоснованностью и корректностью постановки решаемых задач, использованием теории линейных и нелинейных электрических цепей, матричной алгебры, функциональных разложений Вольтерра, аналитических функций многих переменных, согласованием с экспериментальными результатами.

#### **Публикации и апробация результатов работы**

Материалы диссертационной работы достаточно полно изложены в публикациях (пять – в журналах, рекомендованных ВАК, 1 – в иностранном научном издании, 13 – в сборниках международных и всероссийских конференций). Получено три патента на полезные модели и один патент на изобретение.

#### **Рекомендации по использованию результатов работы**

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в приборостроительной отрасли промышленности при создании приборов и измерительных комплексов, а также устройств питания светодиодной техники.

#### **Замечания по работе**

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. Не представлен анализ практической ценности решаемой задачи измерения внутреннего сопротивления химических источников тока поскольку не указана возможность оценки остаточного ресурса ХИТ.

## Заключение

Диссертационная работа Южанина Максима Владимировича соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 824 (ред. от 28.08.2017 № 1024). Выполненные автором исследования можно квалифицировать как решение актуальной задачи в области измерительной техники.

Считаем, что Южанин Максим Владимирович заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Диссертация была рассмотрена на заседании отдела радиоприемных устройств, протокол №3 от 12 ноября 2019 г.

Главный конструктор, проф., к.т.н.



Кирпиченков А.И.

Заместитель генерального директора,  
проф., к.т.н.



Шадский В.А.

Наименование  
организации

Акционерное общество  
«Институт микроволновых интегральных схем»  
(АО «Микро-ВИС»)

Почтовый адрес

115184, РФ, г. Москва,  
ул. Новокузнецкая, д.1, стр.3, оф.35

E-mail

[info@micro-wis.ru](mailto:info@micro-wis.ru)

Телефон

8(499) 110-19-04

Подписи Кирпиченкова А.И и Шадского В.А. заверяю

Генеральный директор



Кан С.М.