



«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

д.т.н., доцент

А.В. Еремин

2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Самарский государственный технический
университет» (ФГБОУ ВО «СамГТУ»)

на диссертационную работу

Баранова Виктора Алексеевича

«Методы и средства измерений параметров комплексного сопротивления
гетерогенных объектов в рабочих режимах», представленную на соискание
ученой степени доктора технических наук по научным специальностям
2.2.4. Приборы и методы измерения» (электрические и магнитные величины)
(технические науки), 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие
системы» (технические науки)

Актуальность темы исследования

Придание изделию определенных функциональных свойств в рабочих режимах эксплуатации является целью производственных процессов высокотехнологичных отраслей промышленности. Изделия с гомогенной структурой в большинстве случаев не удовлетворяют всей совокупности предъявляемых требований. В связи с этим разрабатываются изделия с гетерогенной структурой, которые обладают функциональными свойствами, недостижимыми при использовании однородных материалов. Гетерогенную структуру имеют изделия с модифицированной поверхностью, изделия из композиционных диэлектрических и магнитных материалов электроники и электротехники, объекты исследования материаловедения, электрохимии, биологии, экологии, медицины.

Полуфабрикат изделия не обладает всей совокупностью требуемых функциональных свойств, его отдельные свойства появляются и исчезают в процессе изготовления, следовательно, контролировать необходимо такое свойство, которое присуще всем изделиям на всех стадиях производства и в процессе эксплуатации, метод измерения которого не требует отбора пробы, остановки производственного процесса, вывода объекта из эксплуатации и для которого известно уравнение связи с целевыми параметрами и

характеристиками изделия. Таким свойством является электропроводность на переменном токе. Это свойство присуще всем без исключения изделиям на всех стадиях жизненного цикла.

Измеряемыми величинами, характеризующими электропроводность на переменном токе, являются параметры комплексного сопротивления. Особенностью комплексного сопротивления гетерогенных объектов является нелинейность вольт-амперных характеристик, обусловленная возникновением при приложении электрического напряжения, наряду с электронным, ионного и молионного токов, а также существенной зависимостью параметров комплексного сопротивления от температуры. Это приводит к нарушению принципа суперпозиции, что не позволяет экстраполировать результаты измерений параметров нелинейного комплексного сопротивления гетерогенного объекта при определенных значениях синусоидального напряжения на объекте и температуры на значения параметров комплексного сопротивления объекта в рабочих режимах в ходе процессов производства и эксплуатации. Рабочий режим гетерогенного объекта измерения параметров комплексного сопротивления ПКС характеризуется амплитудой и частотой синусоидального напряжения на объекте и температурой объекта.

В связи с этим формирование теоретических основ проектирования и разработка универсальных измерительных приборов в составе информационно-измерительных систем для измерений параметров термозависимого нелинейного комплексного сопротивления гетерогенных объектов в рабочих режимах, что является темой диссертационного исследования Баранова В.А., представляет собой актуальную научную проблему, решение которой будет способствовать развитию ряда отраслей отечественной промышленности.

Общая характеристика работы

Диссертация Баранова В.А. состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы (174 наименования) и 2 приложений. Общий объем диссертации составляет 318 страниц машинописного текста, включая 70 рисунков и 21 таблицу.

Во Введении обоснована актуальность и цель работы, определены задачи исследования, сформулирована научная новизна результатов исследований и их практическая значимость, приведены положения, выносимые на защиту и сведения о апробации результатов работы и их внедрению в промышленности.

Первая глава посвящена анализу задач измерений функциональных параметров изделий с гетерогенной структурой, обоснованию цели и задач исследования. Составлен обзор линейных электрических моделей объектов измерения комплексного сопротивления в виде многоэлементных двухполюсных электрических цепей. Доказана неадекватность линейных моделей при измерениях параметров нелинейного комплексного сопротивления гетерогенных объектов. Обоснован выбор составляющих комплексного сопротивления в качестве измеряемых параметров комплексного сопротивления. Проведены систематизация методов измерения параметров комплексного сопротивления и анализ целесообразности их использования как основы проектирования средств измерений параметров нелинейного комплексного сопротивления. По результатам анализа сформулирована задача разработки средств измерений параметров нелинейного комплексного сопротивления методом прямого преобразования с использованием пассивных измерительных схем в виде делителя напряжения и неуравновешенного моста.

Вторая глава посвящена формированию теоретических основ проектирования средств измерений функциональных параметров гетерогенного объекта, которые составляют:

- модель объекта измерения параметров нелинейного термозависимого комплексного сопротивления в виде комбинации универсальной электрической модели и специализированной математической модели;
- обобщенное уравнение преобразования составляющих комплексного сопротивления, напряжения на объекте измерения и его температуры в отношении синусоидальных напряжений на опорных элементах измерительной схемы;
- структура процесса измерения составляющих комплексного сопротивления на основе прямых измерений падения напряжения на опорном элементе измерительной схемы и фазового сдвига напряжений в узлах измерительной схемы.

Третья глава посвящена проектированию устройств для измерения составляющих комплексного сопротивления и напряжения на объекте измерения. На основе обобщенного уравнения преобразования составляющих комплексного сопротивления, напряжения на объекте измерения и его температуры в отношении синусоидальных напряжений на опорных элементах измерительной схемы сформирована комбинаторно полная база структур измерительного устройства на основе мостовой измерительной схемы или измерительной схемы в виде делителя напряжения

с прямым измерением амплитуды или фазового сдвига синусоидальных напряжений.

В четвертой главе представлены результаты решения практических задач измерений параметров термозависимого нелинейного комплексного сопротивления. Описаны новый способ измерения составляющих комплексного сопротивления и амплитуды напряжения на высоковольтном электроизоляторе под рабочим напряжением, новый способ измерения частоты синусоидального напряжения и средства измерений температуры гетерогенного объекта в рабочих режимах.

Пятая глава диссертации посвящена разработке и исследованию информационно-измерительных систем для определения функциональных параметров гетерогенного объекта в рабочих режимах и их компонентов процессе производства или эксплуатации. Разработана структура и алгоритм функционирования унифицированного канала измерения составляющих комплексного сопротивления объекта исследования и напряжения на нём. Описан новый способ аналого-цифрового преобразования напряжения, который позволяет минимизировать потери информации об форме преобразуемого измерительного сигнала. Приведено описание контрольно-измерительной системы для измерительного контроля состояния многопараметрического объекта.

Шестая глава посвящена определению направлений дальнейшего развития методов проектирования средств измерений параметров комплексного сопротивления. Проведена систематизация известных аксиом теории измерений физических величин, предложена система исходных положений теории проектирования интеллектуальных средств измерений параметров комплексного сопротивления.

Обоснованность и достоверность результатов исследования

Обоснованность представленных в диссертации научных положений, технических решений, выводов и рекомендаций достигнута корректным применением для решения поставленных задач широко используемых методов теоретических и экспериментальных исследований и достаточно полным обзором и подробным сравнительным анализом многочисленных существующих электрических моделей объектов с гетерогенной структурой, преимуществ и недостатков применения известных методов измерения параметров этих моделей, что позволило обосновать цель и задачи исследования и обеспечить преемственность научных результатов. Основные положения диссертации логически взаимосвязаны, а выводы и рекомендации, полученные в ходе исследований, аргументированы.

Достоверность результатов исследований подтверждается успешной апробацией материалов диссертации на нескольких десятках научно-технических мероприятий международного и всероссийского уровня, публикациями основных результатов исследований по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ для опубликования основных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора наук, а также целым рядом документально подтвержденных внедрений результатов диссертационной работы на отечественных промышленных предприятиях, в научных и образовательных организациях.

Научная новизна результатов диссертационного исследования

Научная новизна результатов диссертационного исследования заключается в следующем:

Разработана структура процесса измерения функциональных параметров гетерогенного объекта измерения параметров комплексного сопротивления, представляющая собой комбинацию электрического элемента с комплексным сопротивлением и специализированной математической модели в виде совокупности уравнений связи составляющих комплексного сопротивления элемента и искомых параметров гетерогенного объекта, что открывает возможности унификации аппаратной части средств измерений функциональных параметров гетерогенного объекта в рабочих режимах.

Составлено уравнение преобразования параметров нелинейного комплексного сопротивления в отношении напряжений, универсальное в отношении типа измерительной схемы и измеряемых параметров измерительного сигнала, что позволяет формировать систему уравнений измерения составляющих комплексного сопротивления и напряжения на объекте в соответствии с условиями измерительной задачи, специфичность которой определяется, в первую очередь, функциональными параметрами и рабочим режимом гетерогенного объекта.

Предложен способ аналого-цифрового преобразования напряжения, который позволяет минимизировать потери информации о форме преобразуемого напряжения в процессе преобразования за счёт регистрации моментов равенства преобразуемого напряжения одному из группы уровней опорного напряжения и измерения длительности интервала времени между моментами равенства напряжений.

Предложен новый способ измерения составляющих комплексного сопротивления и напряжения на высоковольтном объекте в рабочем режиме,

при реализации которого становится возможным измерять параметры комплексного сопротивления при напряжении на объекте, превышающем допустимое напряжение на имеющихся мерах пассивных электрических величин.

Предложен новый способ многопараметрического активного измерительного контроля гетерогенного объекта в рабочих режимах, отличающийся установлением предупредительных, контрольных и предельных границ в диапазоне изменения каждой контролируемой величины и вычислением комплексных показателей состояния для каждого поддиапазона на основе результатов измерений всех величин, что позволяет достоверно отнести текущее состояние процесса к одному из четырех возможных видов и эффективно корректировать ход процесса для придания изделию целевых функциональных свойств.

Предложен новый способ измерительного преобразования емкости дифференциального датчика, отличающийся формированием на объекте измерения синусоидального напряжения и вычитанием напряжений, формируемых за примыкающие полупериоды синусоидального напряжения, что позволяет измерять параметры комплексного сопротивления гетерогенных объектов с предельной для данного типа преобразователей чувствительностью.

Предложен новый способ измерения частоты синусоидального напряжения как величины, обратной периоду, при реализации которого время измерения не превышает периода измеряемого напряжения, что обеспечивает высокое быстродействие, минимальную для данного класса преобразователей погрешность измерения частоты и позволяет повысить точность измерения параметров комплексного сопротивления в режиме питания измерительной схемы от источника синусоидального напряжения с ненормированными метрологическими характеристиками.

Научная новизна полученных в ходе диссертационного исследования результатов подтверждена 9 патентами РФ на реализующие их технические решения.

Теоретическая и практическая значимость результатов диссертационного исследования

Теоретическая значимость результатов диссертационной работы для теории измерений физических величин определяется разработкой теоретических основ проектирования измерительных приборов для измерения параметров комплексного сопротивления, амплитуды и частоты переменного напряжения, температуры в составе информационно-

измерительных, контрольно-измерительных и управляющих систем, предназначенных для контроля функциональных параметров гетерогенных объектов при их производстве и эксплуатации в рабочих режимах. Компонентами разработанной теории являются:

- модель объекта измерения параметров нелинейного термозависимого комплексного сопротивления в виде комбинации универсальной электрической модели и специализированной математической модели;

- обобщенное уравнение преобразования составляющих комплексного сопротивления, напряжения на объекте измерения и его температуры в отношении синусоидальных напряжений на опорных элементах измерительной схемы;

- структура процесса измерения составляющих комплексного сопротивления на основе прямых измерений падения напряжения на опорном элементе измерительной схемы и фазового сдвига напряжений в узлах измерительной схемы;

- комбинаторно полная база структурных схем устройства для измерения составляющих нелинейного комплексного сопротивления и напряжения на объекте измерения с питанием измерительной схемы синусоидальным напряжением на основе пассивных измерительных схем в виде неуравновешенного моста и делителя напряжения.

Практическая значимость результатов диссертационной работы заключается в том, что

- разработана и внедрена в производство резисторов Р1-74 на заводе «Бином», г. Владикавказ, установка высоковольтная измерительная УВИ-1 для измерений сопротивления высоковольтного высокоомного резистора в рабочем режиме (напряжение на резисторе 1–17 кВ) и оценивания коэффициента нелинейности сопротивления. Диапазон измерения сопротивления 22 МОм – 15 ГОм, относительная погрешность измерения сопротивления $\pm 2\%$, диапазон измерения напряжения на резисторе 1–20 кВ, относительная погрешность измерения напряжения $\pm 2\%$;

- преобразователь параметров комплексного сопротивления дифференциального емкостного датчика применен в системе позиционирования луча высокопроизводительного лазерного технологического оборудования: установка лазерной подгонки тонкопленочных резисторов (завод «РИФ», г. Воронеж), установки лазерной маркировки и объемного лазерного синтеза (Центр технологических лазеров АН СССР, г. Шатура).

- разработана и внедрена в производство электровакуумных приборов АО «НИИЭМП» (г. Пенза) информационно-измерительная система асинхронного сбора данных о параметрах термических технологических операций на основе универсального термометра – регулятора температуры «МИРТ-1», что позволило снизить технологические потери и повысить качество продукции.

- разработаны быстродействующие вторичные преобразователи для высокоомных емкостных датчиков физических величин с обработкой сигнала методом спектрального оценивания Прони в составе информационно-измерительных комплексов для высокоточных наземных аэрогазодинамических испытаний ракетно-космической техники в ОАО «НИИФИ», г. Пенза;

- методика оценивания погрешности согласования применяется в филиале ПАО «Межрегиональная распределительная сетевая компания Волги – «Пензэнерго» при измерениях параметров изоляции высоковольтных вводов 110 кВ трансформатора С-2-Т на подстанции 110/6 кВ «Южная».

- модель процесса измерения параметров гетерогенного объекта и методика оценивания погрешности согласования внедрены при выполнении Пензенским государственным университетом по госзаданию проекта «Фундаментальные основы цифрового двойника технологического процесса формирования оксидных покрытий с заданными свойствами методом микродугового оксидирования» при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ.

Результаты диссертационной работы также используются в образовательном процессе Пензенского государственного университета при обучении по специальности «Приборостроение» (магистерская программа «Измерительные информационные технологии»)

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Практические результаты теоретических исследований, представленные в диссертации, рекомендуются к использованию на предприятиях электронной промышленности при производстве аналого-цифровых преобразователей, толстопленочных и вакуумных электронных компонентов, в приборостроении при производства параметрических датчиков физических величин, измерительных преобразователей, измерительных приборов и информационно-измерительных систем для измерений параметров комплексного сопротивления, частоты и амплитуды переменного напряжения, температуры, в электроэнергетике при переходе от технического обслуживания электрооборудования по наработке к

обслуживанию по состоянию. Перспективность внедрения результатов и выводов диссертации в промышленность подтверждается их теоретическим обоснованием и актами уже состоявшихся внедрений на предприятиях и в организациях Пензы, Владикавказа, Воронежа, Шатуры.

Замечания по диссертационной работе

1 Отсутствует строгое соответствие между положениями, выносимыми на защиту, и пунктами раздела «Научная новизна результатов исследований»

2 Формулировки выводов по работе и их порядок затрудняют оценку полноты решения поставленных в диссертации научных задач и степени достижения цели исследования.

3 При метрологическом анализе основное внимание автором было уделено исследованию трансформаций распределения случайной погрешности измерения и погрешностей согласования между элементами структуры, но не рассмотрены вопросы оценивания и поиска методик минимизации дополнительных погрешностей разработанных измерительных преобразователей, устройств и систем, возникающих при измерениях параметров термозависимого нелинейного комплексного сопротивления в рабочих режимах.

4 В главе 5 сначала приведено описание структуры и алгоритма функционирования канала измерения составляющих комплексного сопротивления и напряжения на объекте информационно-измерительной системы для измерения функциональных параметров объектов с гетерогенной структурой, а затем, в следующем разделе, описывается способ аналого-цифрового преобразования напряжения, реализация которого в этом измерительном канале, по утверждению автора, позволяет существенно улучшить его метрологические и функциональные характеристики. Очевидно, что логичнее было бы, наоборот, сначала описать предложенный способ аналого-цифрового преобразования, а уже затем - его реализацию в составе измерительного канала с заявленным положительным эффектом.

5 Недостаточно развернутыми и подробными выглядят рекомендации по выбору из комбинаторно полной базы структур оптимальной структуры устройства для измерения составляющих комплексного сопротивления и напряжения на объекте измерения

Заключение

Диссертация Баранова В.А. представляет собой законченную, обладающую внутренним единством научную работу на актуальную тему, результатом которой является формирование теоретических основ проектирования измерительных приборов, информационно-измерительных и

контрольно-измерительных систем для измерений функциональных параметров гетерогенных компонентов технических систем в рабочих режимах и их практическая реализация в приборостроении, электроэнергетике, ракетно-космической и электронной промышленности. Новые научно обоснованные теоретические положения и практические технические решения на их основе представляют собой совокупность значимых теоретических и практических результатов, а их внедрение вносит значительный вклад в развитие отечественной промышленности, что подтверждается объектами интеллектуальной собственности и актами о внедрении результатов диссертационной работы на промышленных предприятиях, в научных и образовательных организациях.

Содержание работы соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности 2.2.4 «Приборы и методы измерения (по видам измерений)»: п.1 - «Создание новых научных, технических и нормативно-технических решений, обеспечивающих повышение качества продукции, связанных с измерениями механических величин, времени и частоты, тепловых величин, электрических и магнитных величин, аналитических и структурно-аналитических величин (состава, свойств и структуры веществ и материалов)», п.2 - «Совершенствование научно-технических, технико-экономических и других видов метрологического обеспечения измерений для повышения эффективности производства современных изделий, качество которых зависит от точности, диапазонности, воспроизводимости измерений величин, перечисленных в п.1, а также следующим пунктам паспорта научной специальности 2.2.11 «Информационно-измерительные и управляющие системы» п.1 - «Научное обоснование перспективных информационно-измерительных и управляющих систем, систем их контроля, испытаний и метро-логического обеспечения, повышение эффективности существующих систем», п.2 - «Исследование возможностей и путей совершенствования существующих и создания новых элементов структуры и образцов информационно-измерительных и управляющих систем, улучшение их технических, эксплуатационных, экономических и эргономических характеристик, разработка новых принципов построения и технических решений», п.3 - «Математическое, алгоритмическое, информационное, программное и аппаратное обеспечение информационно-измерительных и управляющих систем» и п.4 - «Расширение функциональных возможностей информационно-измерительных и управляющих систем на основе применения методов измерений контролируемых параметров объектов для различных предметных областей исследования».

Считаем, что диссертационная работа удовлетворяет критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание степени доктора технических наук согласно п.9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 в актуальной редакции, а автор диссертации, Баранов Виктор Алексеевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по научным специальности 2.2.4 – «Приборы и методы измерения (электрические и магнитные величины) (технические науки)» и 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы» (технические науки).

Диссертация, автореферат и отзыв ведущей организации на диссертацию Баранова В.А. обсуждены на заседании кафедры «Информационно-измерительная техника», протокол № «2» от 22.09.2025 г.

заведующий кафедрой «Информационно-
измерительная техника»
кандидат технических наук, доцент

Ярославкина
Екатерина Евгеньевна

профессор кафедры «Информационно-
измерительная техника»
д.т.н., профессор

Ланге
Петр Константинович

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Самарский государственный технический
университет» (ФГБОУ ВО «СамГТУ»)

443100, Самарская область, город Самара, улица Молодогвардейская, дом
244

Официальный сайт организации: <https://samgtu.ru>

Адрес электронной почты: rector@samgtu.ru

Телефон: +7 (846) 278-43-11.