

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Доктора технических наук, доцента
НЕФЕДЬЕВА Алексея Ивановича
о диссертационной работе
БАРАНОВА Виктора Алексеевича

«МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ КОМПЛЕКСНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В РАБОЧИХ РЕЖИМАХ»,

представленной 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 работы

Разработка устройств для измерения пассивных электрических величин и, более широко, параметров комплексного сопротивления являются традиционным направлением измерительной техники. При этом в основной части исследований объектом измерения является линейный многоэлементный двухполюсник. К настоящему времени разработано большое число средств измерений параметров двух-, трёх-, четырёхэлементных пассивных электрических цепей, которые выступают электрическими моделями объекта исследования или объекта измерения различных отраслей науки и техники. Однако при всём разнообразии таких моделей они адекватно не отражают качественно иные свойства объектов с нелинейной вольт-амперной характеристикой.

Причиной нелинейности вольт-амперной характеристики является гетерогенная структура объекта, в которой, при приложении к объекту напряжения, кроме электронного тока, возникают также ионный и молионный токи. Форма вольт-амперной характеристики, определяющая комплексное сопротивление объекта, как и другие параметры и характеристики объекта, в том числе, функциональные, зависит не только от приложенного напряжения, но и от других влияющих величин, в

частности, температуры объекта. Представление о взаимосвязи всех физических свойств объекта открывает возможность определения состояния объекта, описываемого большим числом разнородных параметров и характеристик, в процессе функционирования по назначению, т.е. в рабочем режиме, путём измерения параметров термозависимого нелинейного комплексного сопротивления.

Основным путём повышения эффективности и надежности функционирования технических систем электроэнергетики, связи и других непрерывных производств является переход в техническом обслуживании их компонентов от обслуживания по наработке с периодическим выводом из эксплуатации для проверки исправности к обслуживанию по состоянию, когда вывод объекта из эксплуатации осуществляется только при несоответствии функциональных параметров объекта установленным требованиям. Этот важнейший для отечественной промышленности переход сдерживается несовершенством или полным отсутствием средств изменений функциональных параметров компонентов промышленных систем в рабочих режимах.

В связи с этим считаю, что тема диссертации Баранова В.А., посвященной исследованию и совершенствованию методов и средств измерений параметров комплексного сопротивления гетерогенных объектов в рабочих режимах, актуальна, и полученные теоретические и практические результаты будут востребованы отечественной наукой и техникой и послужат их развитию.

Общая характеристика работы

Диссертация Баранова В.А. обладает внутренним единством, написана технически грамотным языком с корректным использованием специальной терминологии. Рукопись имеет общепринятую структуру: введение, шесть глав, заключение, список литературы и 2 приложения. Общий объём диссертации составляет 318 страниц машинописного текста, включая 70 рисунков и 21 таблицу.

Во Введении обоснована актуальность темы исследования, определены объект и предмет исследования, цель и задачи работы, приведены положения, выносимые на защиту, сформулированы научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

Первая глава посвящена выявлению и анализу проблем измерения функциональных параметров изделий с гетерогенной структурой и определения их характеристик в процессах производства, испытаний и эксплуатации, в ходе которых изделие функционирует в определенных рабочих режимах. Автор предлагает измерять разнородные и во многих случаях требующие узкоспециализированных измерительных приборов функциональные параметры исследуемого гетерогенного объекта путём измерения параметров его комплексного сопротивления и установления взаимосвязи между параметрами комплексного сопротивления и искомым функциональным параметром. Составлен обзор многочисленных линейных многоэлементных электрических двухполюсников, используемых в качестве моделей различных объектов, выявлены причины появления виртуальных электрических элементов и показана неадекватность линейных моделей при измерениях параметров нелинейного комплексного сопротивления гетерогенных объектов. Обоснован выбор составляющих комплексного сопротивления как единственной пары измеряемых параметров комплексного сопротивления, что позволяет ставить задачу унификации средств измерений параметров комплексного сопротивления. Это позволило автору сформулировать прямую и обратную задачи измерений параметров термозависимого нелинейного комплексного сопротивления, на разработку средств решения которых направлено исследование.

Вторая глава посвящена формированию теоретических основ проектирования универсальных приборов для измерения составляющих комплексного сопротивления, частоты и амплитуды синусоидального напряжения на объекте измерения и его температуры, предназначенных для работы в составе информационно-измерительных и контрольно-измерительных систем для определения частотных, температурных характеристик и характеристик нелинейности гетерогенных объектов

Теоретические основы проектирования средств измерений функциональных параметров гетерогенного объекта составляют:

- универсальная модель гетерогенного объекта в рабочих режимах измерения на основе комбинации электрической и математической моделей объекта измерения, обеспечивающая унификацию аппаратной части средств измерений;

- обобщенное уравнение преобразования составляющих комплексного сопротивления, напряжения на объекте измерения и его температуры в отношении синусоидальных напряжений на опорных элементах измерительной схемы как расширение обобщенного уравнения мостовой цепи Карандеева – Штамбергера на область измерений функциональных параметров гетерогенных объектов в рабочих режимах за счёт введения в уравнение в качестве переменных амплитуды и частоты синусоидального напряжения на объекте измерения и температуры объекта;
- структура процесса измерения составляющих комплексного сопротивления на основе прямых измерений напряжений на опорном элементе измерительной схемы и фазового сдвига напряжений в узлах измерительной схемы, которая является теоретической основой проектирования устройств для измерения составляющих нелинейного комплексного сопротивления.

Третья глава посвящена применению полученных теоретических результатов в практике проектирования устройств для измерения составляющих комплексного сопротивления и напряжения на объекте измерения, в том числе, с питанием измерительной схемы от источника синусоидального напряжения с ненормированными метрологическими характеристиками (амплитуда, частота). Автором представлена 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. Сформулированы рекомендации по выбору базовой структуры измерительного устройства при решении конкретных измерительных задач, в частности, при измерениях параметров комплексного сопротивления с питанием измерительной схемы от высоковольтного источника синусоидального напряжения рекомендуется использовать измерительную схему на основе делителя напряжения с измерением амплитуды напряжения на опорном резисторе.

При метрологическом анализе базовых структур наибольшее внимание справедливо уделено погрешностям согласования между компонентами структуры, которые существенно возрастают и могут становиться критическими при предложенном автором переходе от активных к пассивным измерительным схемам. Представлена методика минимизации систематических составляющих погрешностей согласования,

обусловленных влиянием на результат измерения входных сопротивлений аналого-цифровых преобразователей напряжения и фазового сдвига синусоидальных напряжений.

В четвертой главе представлены результаты применения сформированных теоретических положений к решению практических измерительных задач. Автором предложен новый способ измерения составляющих комплексного сопротивления и амплитуды напряжения на высоковольтном электроизоляторе под рабочим напряжением с использованием пассивной измерительной схемы в виде делителя напряжения в соответствии с рекомендациями, сформулированными в предыдущей главе. Этот результат следует считать существенным шагом в направлении перевода отечественной электроэнергетики с системы технического обслуживания по наработке на систему технического обслуживания по состоянию, который затруднён отсутствием средств измерений стандартизованных параметров компонентов систем электроэнергетики под рабочим напряжением. Также представлены описания измерительных преобразователей и устройств для измерения влияющих в рабочих режимах величин (амплитуда и частота напряжения питания измерительной схемы, температура) при измерениях параметров нелинейного комплексного сопротивления. Представлен новый способ измерения частоты синусоидального напряжения, реализация которого в виде частотомера в составе устройства для измерения составляющих комплексного сопротивления позволяет минимизировать погрешность измерения, обусловленную нестабильностью частоты напряжения питания измерительной схемы в рабочих режимах. Также в этой главе представлены результаты разработки средств измерений температуры, используемых для минимизации дополнительной погрешности измерения составляющих нелинейного комплексного сопротивления, обусловленной температурой гетерогенного объекта в рабочих режимах.

Пятая глава диссертации посвящена разработке и исследованию информационно-измерительным и контрольно-измерительных систем для определения функциональных параметров гетерогенного объекта в рабочих режимах в процессе их производства или эксплуатации. Предложенная во второй главе универсальная комбинированная модель гетерогенного объекта выступила теоретической основой разработки структуры и алгоритма функционирования унифицированного канала измерения

составляющих комплексного сопротивления объекта исследования и напряжения на нём как компонента многоканальной информационно-измерительной системы. Структура измерительного канала позволяет измерять составляющие комплексного сопротивления при питании измерительной схемы от источника синусоидального напряжения с ненормированными метрологическими характеристиками, что расширяет область возможных применений информационно-измерительной системы на рабочие режимы гетерогенного объекта. Аналого-цифровое в разработанном измерительном канале предлагается осуществлять новым способом аналого-цифрового преобразования напряжения, который позволяет минимизировать потери информации об форме преобразуемого измерительного сигнала. Приведено подробное описание информационной системы для контроля состояния многопараметрического объекта, построенной на основе унифицированных измерительных каналов.

Шестая глава посвящена определению направлений дальнейшего развития методов проектирования средств измерений на основе теоретических результатов диссертационной работы. Проведена систематизация известных подходов к формированию аксиоматической теории измерений физических величин, которая рассматривается автором как совокупность исходных положений теории проектирования интеллектуальных средств измерений, функционирующих в составе технических систем с искусственным интеллектом.

В **Заключении** приведены результаты и выводы по работе.

В **Приложениях** представлены документы о внедрении результатов диссертационной работы на предприятиях, в научно-производственных организациях и образовательном процессе Пензенского государственного университета, а также документы, подтверждающие права Баранова В.А. на объекты интеллектуальной собственности по теме исследования.

Обоснованность и достоверность результатов работы

Обоснованность полученных в диссертационной работе В.А. Баранова научных результатов и рекомендаций обеспечивается корректным использованием известных методов теоретических и экспериментальных исследований. Достоверность теоретических результатов работы подтверждается их успешным применением при решении практических технических задач, о чём свидетельствуют документы, приведенные в приложении к диссертации.

Результаты диссертационного исследования В.А. Баранова прошли апробацию на значительном числе научно-технических мероприятий всероссийского и международного уровня и достаточно полно отражены в 71 публикации по теме диссертации, включая 23 статьи в рецензируемых научных изданиях, которые рекомендованы ВАК при Минобрнауки РФ для опубликования основных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора наук, 8 работ в изданиях, индексируемых Scopus или Web of Science, 9 патентов РФ на изобретения и 3 свидетельства о государственной регистрации базы данных.

Научная новизна результатов работы

Научная новизна результатов диссертационной работы В.А. Баранова, подтвержденная рядом патентов РФ, состоит в следующем:

- проведена систематизация методов измерения функциональных параметров и определения характеристик гетерогенных объектов в рабочих режимах, что позволило сформулировать прямую и обратную задачи измерений параметров термозависимого нелинейного комплексного сопротивления гетерогенных объектов;
- создана универсальная модель гетерогенного объекта измерений на основе комбинации его электрической и математической моделей, обеспечивающей унификацию аппаратной части средства измерений функциональных параметров гетерогенного объекта;
- предложено расширение обобщённого уравнения мостовой цепи Карандеева – Штамбергера на задачи измерения параметров комплексного сопротивления гетерогенных объектов в рабочих режимах с использованием универсальной модели путем введения в уравнение в качестве переменных температуры, амплитуды и круговой частоты синусоидального напряжения на объекте контроля;
- разработана обобщённая структура процесса измерения универсальным средством измерений параметров комплексного сопротивления, которая является теоретической основой проектирования устройств для измерений состав;
- сформирована комбинаторно полная совокупность базовых структур устройств для совместных измерений СКС и напряжений на основе мостовой схемы и делителя напряжения при измерениях ПКС гетерогенных объектов в рабочих режимах;
- разработан новый способ аналого-цифрового преобразования напряжения,

обеспечивающий, в отличие от существующих, минимизацию потерь информации о форме преобразуемого сигнала;

- разработан новый способ измерения стандартизованных параметров комплексного сопротивления высоковольтных электроизоляционных конструкций под рабочим синусоидальным напряжением, амплитуда которого превышает допустимую амплитуду напряжения на используемых мерах пассивных электрических величин;

- разработан новый способ измерения частоты синусоидального напряжения с высоким быстродействием и точностью по сравнению с известными аналогами;

- разработан новый способ преобразования модуля комплексного сопротивления диэлькометрических и емкостных датчиков физических величин в напряжение постоянного тока, обеспечивающий высокую помехоустойчивость и предельную для данного класса преобразователей чувствительностью;

- разработан новый способ активного многопараметрического измерительного контроля состояния гетерогенного объекта в рабочих режимах на основе анализа разнородной измерительной информации.

Научная и практическая значимость результатов работы

Научная значимость полученных в диссертационной работе В.А. Баранова результатов для научных специальностей 2.2.4. Приборы и методы измерения (электрические и магнитные величины) (технические науки) и 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы (технические науки) состоит в разработке теоретических основ проектирования измерительных приборов для совокупных и совместных измерений параметров нелинейного комплексного сопротивления, амплитуды и частоты синусоидального напряжения на объекте измерения, а также температуры объекта измерения, предназначенных для использования в составе информационно-измерительных, контрольно-измерительных и управляющих систем для контроля параметров объектов с гетерогенной структурой в процессе их производства и эксплуатации в рабочих режимах.

Практическая значимость полученных в диссертационной работе В.А. Баранова результатов заключается в разработке на основе теоретических результатов измерительных преобразователей, измерительных приборов, измерительно-вычислительных комплексов, информационно-

измерительных систем и их внедрении с экономическим эффектом на предприятиях электронной промышленности и энергетики, что подтверждается актами о внедрении результатов диссертационного исследования.

Замечания по работе:

1. Непонятно, для чего в диссертации введен термин «гетерогенные объекты»? Обычно этот термин используется в материаловедении для обозначения материалов с неоднородной структурой, а также в системотехнике, в вычислительной технике и т.д.

2. Предложен способ измерительного преобразования емкости дифференциального датчика, отличающийся формированием на объекте измерения синусоидального напряжения и вычитанием напряжений, формируемых за примыкающие полупериоды синусоидального напряжения, что позволяет достичь предельной для данного типа преобразователей чувствительности к разности устойчивости результата преобразования к низкочастотному шуму нормального вида и определять частотные характеристики параметров комплексного сопротивления гетерогенных объектов в рабочих режимах.

Желательно было бы пояснить, каким образом применение дифференциального датчика (п.6 Научной новизны результатов исследований) позволяет определять частотные характеристики параметров комплексного сопротивления гетерогенных объектов в рабочих режимах?

3. Поскольку измерение параметров составляющих комплексного сопротивления (СКС) гетерогенных объектов осуществляется при высоком напряжении (единицы и десятки киловольт), то каким образом исключается влияние входных комплексных сопротивлений АЦП вольтметров на падение напряжения на исследуемом и образцовом двухполюсниках на результат измерения СКС гетерогенного двухполюсника?

4. В разделе «Практическая значимость результатов исследований» (стр. 13) указано, что разработан канал измерения параметров дыхания на основе диэлькометрического датчика информационно-измерительной системы для телемедицинского мониторинга состояния больных социально значимыми заболеваниями. В тексте диссертации не приводится никакой информации о канале измерения параметров дыхания, а есть только упоминание о нем на стр. 163, и в п.7 Заключения (стр. 270).

5. Непонятно, каким образом предложенный канал измерения параметров дыхания на основе диэлькометрического датчика соответствует теме диссертации?

6. В параграфе 5.1 утверждается, что «При амбулаторном электрографическом мониторинге состояния сердца пациента с использованием портативных электрокардиографов имеют место искажения формы регистрируемого электрокардиосигнала из-за динамических изменений комплексного сопротивления биологических тканей тела пациента между сердцем как генератором электрического напряжения и электродом электрокардиографа как входом вольтметра, что снижает достоверность оценки текущего состояния сердца».

Но ГОСТ Р МЭК 60601-2-25—2016 (Подпункт 201.12.4.103) устанавливает входной импеданс электрокардиографов на уровне не менее 2,5 МОм, а сопротивление тела пациента не более 500 Ом. При таких соотношениях сопротивлений влияние изменения сопротивления тела пациента не оказывает никакого влияния на результаты электрографического исследования, и, следовательно, нет никакой необходимости корректировать форму регистрируемого электрокардиосигнала.

7. На функциональной схеме измерительного преобразователя (рис. 4.15) и в описании к ней неправильно обозначены транзисторы: VT1 и VT3 должны быть одной проводимости (n-p-n), а транзисторы VT2 и VT4 должны быть другой проводимости (p-n-p).

8. Имеются замечания по оформлению рукописи диссертации:

- в тексте диссертации нарушен порядок указания библиографических ссылок;
- по тексту имеется опечатки на стр. 11, 19, 43, 96, 148, 163;
- имеется дублирование текста: абзац на стр. 60-61 и абзац на стр. 61-62 полностью идентичны;
- на графиках на рис. 3,3, 3,4, 3,5 обозначены не все оси;
- в подрисуночной подписи к рисунку 4.22 установка обозначена как УВИР-1, а в тексте УВИ-1.
- в Заключение пронумерованы не все абзацы.

Заключение

Диссертация Баранова В.А. обобщает результаты работы автора в области исследования методов измерений параметров нелинейного комплексного сопротивления и разработки средств измерений составляющих комплексного сопротивления объекта измерения в рабочих режимах, определяемых амплитудой и частотой синусоидального напряжения на объекте измерения и температурой объекта.

Диссертация В.А. Баранова является законченной, обладающей внутренним единством научной работой на актуальную тему. В диссертации сформированы теоретические основы проектирования приборов для измерения составляющих комплексного сопротивления, частоты, напряжения и температуры, предназначенных для использования в составе информационно-измерительных, контрольно-измерительных и управляющих систем для контроля параметров гетерогенных объектов в рабочих режимах при производстве и эксплуатации, что можно рассматривать как совокупность значимых научных достижений. Изложенные в работе новые научно обоснованные технические решения имеют важное практическое значение, а их внедрение вносит вклад в развитие отечественной промышленности, что подтверждено соответствующими актами о внедрении.

Содержание работы соответствует п.п. 1, 2 паспорта научной специальности 2.2.4 «Приборы и методы измерения (по видам измерений)» и п.п. 1, 2, 3, 4 паспорта научной специальности 2.2.11 «Информационно-измерительные и управляющие системы».

Основные научные результаты диссертации с достаточной полнотой опубликованы в рецензируемых научных изданиях, которые рекомендованы ВАК при Минобрнауки РФ для опубликования основных результатов диссертации на соискание учёной степени доктора наук по заявленным специальностям. Автореферат и опубликованные работы достаточно полно отражают содержание диссертации. Оформление работы в целом соответствует установленным требованиям.

Замечания по диссертации, представленные в отзыве, не носят принципиальный характер и не влияют на общую положительную оценку работы.

На основании изложенного считаю, что диссертация **Баранова В.А.** на тему «Методы и средства измерений параметров комплексного

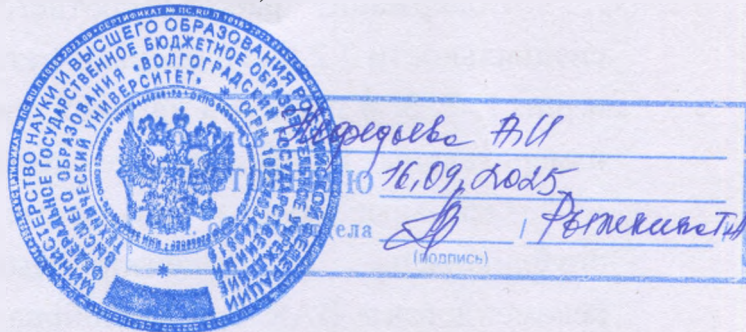
сопротивления гетерогенных объектов в рабочих режимах» соответствует требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 N 842 (в актуальной редакции) к диссертации на соискание степени доктора наук, а её автор, **Баранов Виктор Алексеевич**, достоин присуждения искомой ученой степени доктора технических наук по специальностям

2.2.4. - Приборы и методы измерения (электрические и магнитные величины) (технические науки) и 2.2.11 – Информационно-измерительные и управляющие системы (технические науки).

Официальный оппонент – доктор технических наук, доцент, федерального бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический университет», профессор кафедры «Электротехника»


Алексей Иванович Нефедьев
16.09.2025

Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук защищена в 2013 г. по специальности 05.11.01 - Приборы и методы измерения (электрические и магнитные величины)



Россия, 400005, г Волгоград, проспект им. В.И. Ленина, д. 28.
Тел. +7 (8442) 24-81-64.
e-mail: nefediev@rambler.ru