На правах рукописи

МУРАТОВА Вера Владимировна

ИНФОРМАЦИОННО – ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Специальность: 05.11.16 – Информационно-измерительные и управляющие системы (технические системы)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Самара – 2018

Работа выполнена на кафедре "Информационно-измерительная техника" федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Самарский государственный технический университет" (ФГБОУ ВО «СамГТУ»)

Научный руководитель: Доктор технических наук, профессор
Ланге Петр Константинович
Профессор кафедры «Информационно-измерительная техника» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» г. Самара

Официальные оппоненты: Доктор технических наук, доцент
Нефедьев Дмитрий Иванович
Профессор кафедры «Информационно-измерительная техника и метрология» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет» г. Пенза

Доктор технических наук, доцент
Воловач Владимир Иванович
Заведующий кафедрой «Информационный и электронный сервис» ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет сервиса» г. Тольятти

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» г. Тула

Отзывы о данной работе в двух экземплярах, заверенных печатью, просим направлять по адресу: Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, СамГТУ, Главный корпус, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.217.07, тел.: (846) 278-44-96, факс: (846) 278-44-00; e-mail: 212.217.07@mail.ru.

В отзыве просим указывать почтовый адрес, номер телефона, электронную почту, наименование организации, должность, шифр и наименование научной специальности.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Самарского государственного технического университета (ул. Первомайская, 18) и на сайте диссертационного совета Д 212.217.07 http://d21221707.samgtu.ru.

Защита диссертации состоится «27» декабря 2018 г. в 10 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 212.217.07 в Самарском государственном техническом университете по адресу: 443010, г. Самара, ул. Галактионовская, 141 корпус № 6, аудитория 33.

Автореферат разослан «___» 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д212.217.07 А.М. Абакумов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Актуальность темы

Силовое электрооборудование является сложной составляющей промышленных объектов с большим числом контролируемых параметров. Для обеспечения бесперебойной работы такого оборудования, контроля его аварийных и предаварийных режимов большое значение имеет оперативное измерение информативных параметров сигнала. В связи с этим актуальной является задача разработки информационно-измерительных систем (ИИС) контроля предаварийных режимов работы силового оборудования с высоким быстродействием измерения их параметров. При измерении таких информативных параметров, как среднеквадратическое, средневыпрямленное значение тока и напряжения, активная и реактивная мощность и других, возникает задача обеспечения необходимого быстродействия и точности определения мгновенных значений параметров сигнала и обеспечения многоканальности измерений.

При реализации процедур измерений, контроля и испытаний энергообъектов целесообразно использовать аппроксимационные методы. Большинство данных об исследуемом объекте, полученных экспериментально и представленных в виде чисел, графиков, позволяют определить математическую модель объекта с использованием аппроксимирующих зависимостей.

Степень разработанности темы исследования

Разработке и исследованию аналоговых методов, приборов и систем измерения интегральных характеристик периодических сигналов (ИХПС) посвящено множество работ работ (С.В. Анашкин, С.В. Карташов, Ю.Я. Любарский, Волгин В.Л., Орнатский П.П., Попов В.С. и другие). Основными недостатками, предложенных авторами методов и средств являются невысокая точность и низкое быстродействие.

В 60-е годы XX века широкое распространение получили цифровые методы определения ИХПС с помощью комбинирования аналоговых и аналого-цифровых преобразователей сигналов (А.Я. Безикович, Е.З. Шапиро, В.Л. Волгин и другие). Затем стали появляться комбинированные средства нахождения ИХПС, которые выполняли неполное аналоговое преобразование входных величин. В таких средствах большинство преобразований входных сигналов осуществлялось в цифровом виде (О.П. Синицкий, В.И. Губарь Шляндин В.М., B.M.Pressman, Y.R.Rapid, Lois A. Marzetta, H. Germer и другие).

Для нахождения ИХПС используется аналого-цифровое преобразование мгновенных значений сигналов, с равномерной их дискретизацией и дальнейшей интерпретацией пропорциональных им кодов (И.Ф. Клисторин, И.И. Коршевер, Y.R. Clarke, J.R. Smith, F.J.J. Stockton, A.H. Yang, M. Steidentop).

В создание теоретических основ и реализацию средств измерения ИХПС большой вклад внесли ученые: Т.М. Алиев, В.Л. Волгин, Ф.А. Зыкин, В.У. Кизилов, Ф. Кларк, И.Ф. Клисторин, Д. Лэмпард, П.П. Орнатский, В.С. Попов, Я. Смит, Дж. Стоктон, Ю.М. Туз, Э.К. Шахов, В.М. Шляндин, А. Янг и др.

Один из основных вопросов, который приходится решать при построении ИИС, реализующих аппроксимационные методы, связан с определением оптимальных моментов времени, в которых нужно выполнять измерение мгновенного значения сигналов, исходя из требований точности определения их параметров.

При измерении параметров периодических сигнала изначально считается, что отсчеты сигналов равномерно распределены по периоду, т.е. период точно поделен на n интервалов дискретизации. В реальных ситуациях это условие не выполняется, что неизбежно приводит к погрешности, которую в некоторых зарубежных работах называют погрешностью некратности. Очевидно, что этот вид погрешности обусловлен, в первую очередь, колебаниями частоты входного сигнала, а также неточным делением периода на n. При этом повышение точности

измерения достигается, в основном, только за счет увеличения разрядности аналого-цифрового преобразователя и числа точек дискретизации.

Наиболее простую реализацию рассматриваемые методы обеспечивают при измерении ИХПС. Однако применение аппроксимационных методов для измерения параметров периодического сигнала по их мгновенным значениям не может существенно сократить время измерения, поскольку методы предусматривают равномерное распределение отсчетов по периоду сигнала и точное определение значения периода, т.е. время измерения зависит от периода сигнала.

В связи с этим возникает задача сокращения времени измерения информационных интегральных характеристик и построения ИИС, обеспечивающих возможность определения этих параметров за время, значительно меньшее периода сигнала.

Исследования современных ученых, таких как H.C. So, H. Hoseini, A.K. Muciek, R.C. Dugan, Ю.Р. Агалиалов, И.Н. Желбаков, Ю.П. Муха сводятся к попыткам уменьшения погрешности нахождения отдельных ИХПС за счет обработки полученных результатов измерений. В этих методах отсутствует системный подход к нахождению всего комплекса характеристик сигналов, а также не рассматривается сокращение времени измерений.

В работах В.С. Мелентьева, В.И. Батищева, Д.И. Нефедьева аппроксимационный подход активно использовался для решения оперативного нахождения ИХПС. Этот подход основан на определении интегральных характеристик по функциональной зависимости от параметров модели периодического (в том числе и гармонического) сигнала, а также формировании дополнительного сигнала. Построение модели выполняется с учетом априорной информации об исследуемом объекте.

Тем не менее, многие вопросы разработки аппроксимационных методов и средств измерения интегральных характеристик гармонических сигналов (ИХГС), которые основаны на формировании дополнительных сигналов, сдвинутых относительно входных по фазе, и сравнении мгновенных значений входных и дополнительных сигналов, остаются открытыми.

Цель диссертационной работы - разработка и исследование быстродействующей ИИС определения ИХГС с использованием аппроксимационных методов их измерения с пространственным разделением сигнала, позволяющей повысить точность оперативного контроля параметров электрооборудования, а так же выявлять и регистрировать аварийные ситуации.

Для достижения поставленной цели поставлены и решены **следующие основные задачи:**

1. Обоснование возможности использования аппроксимационного подхода к решению задач оперативного измерения и контроля параметров силового электрооборудования.
2. Классификация известных аппроксимационных методов и средств измерения ИХГС с целью разработки новых методов их измерения.
3. Разработка новых методов и средств измерения интегральных характеристик периодических сигналов, близких к гармонической модели, по мгновенным значениям переходных процессов с улучшенными метрологическими характеристиками и высоким быстродействием.
4. Исследование методических погрешностей новых методов определения ИХГС, а также разработка способов их корректировки.
5. Разработка автоматизированной ИИС контроля электрических параметров силового электрооборудования, характеризуемой высокими быстродействием и точностью.

Научная новизна

1. Разработаны новые аппроксимационные методы определения ИХГС по мгновенным значениям гармонических сигналов, отличающиеся формированием дополнительного сигнала с последующей коррекцией погрешности. Реализация новых методов позволяет избавиться от частотной и угловой погрешностей, возникающих при формировании дополнительного сигнала, и погрешности по модулю фазосдвигающего блока, осуществляющего формирование дополнительных сигналов.

2. Разработан новый метод измерения интегральных характеристик периодических сигналов, модель которых близка к модели гармонического сигнала, отличающийся формированием дополнительного сигнала напряжения, сдвинутого на произвольный угол относительно входного, а также сигнала, инверсного входному. Метод позволяет исключить угловую погрешность фазосдвигающего блока и погрешность по напряжению инвертора.

3. Проведено исследование метрологических характеристик новых методов и систем определения ИХГС, основанных на применении дополнительных сигналов, сдвинутых по сравнению с входными на произвольный угол, которое позволило определить их возможности с точки зрения метрологических характеристик.

Теоретическая и практическая значимость

Значимость теоретических результатов работы заключается в создании обобщенной методики измерения ИХГС, что позволяет проектировать ИИС для различного силового электрооборудования.

Практическая значимость подтверждается тем, что разработанные методы и алгоритмы измерений являются основой при проектировании информационно-измерительных систем, предназначенных для испытания и контроля электродвигателей погружных насосов для нефтяных скважин в ООО «Роснефть-Ремонт НПО» и ООО «Инженерные технологии».

Методы научных исследований

В работе использованы методы теории измерений, численного анализа, теории электрических цепей и сигналов, методов цифровой обработки сигналов, методов аналитического и имитационного моделирования.

Основные положения и результаты, выносимые на защиту

1. Методы измерения ИХГС по мгновенному значению гармонического сигнала, основанные на формировании дополнительного сигнала с применением его последующей коррекции.

2. Методы и алгоритмы определения ИХГС, основанные на формировании двух сигналов напряжения: инверсного входному, а также дополнительного.

3. Методика экспериментальной оценки погрешностей известных и новых методов и систем определения информационных интегральных характеристик гармонических сигналов.

4. Обобщенная структурная схема ИИС контроля электрических параметров силового электрооборудования.

Соответствие паспорту специальности

Диссертационное исследование соответствует паспорту специальностей научных работников 05.11.16 «Информационно-измерительные и управляющие системы»: п. 2 «Новые методы и технические средства контроля и испытаний образцов информационно-измерительных и управляющих систем», п. 3 «Методы и технические средства метрологического обеспечения информационно-измерительных и управляющих систем, метрологического обеспечения испытаний и контроля, метрологического сопровождения и метрологической экспертизы информационно-измерительных и управляющих систем, методы проведения их метрологической аттестации».

Достоверность результатов исследования

Достоверность определяется экспериментальными исследованиями ИИС на испытательных стендах, подтверждающими основные теоретические положения работы и не противоречащими известным положениям в данной области исследований.

Апробация результатов

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 4 международных и Всероссийских конференциях, в том числе на Международной научно-технической конференции «Перспективные информационные технологии» (г. Самара, 2015 г.), Всероссийской научной конференции с международным участием «Математическое моделирование и краевые задачи» (г. Самара, 2016 г.) Международной научно-практической конференции «Современный взгляд на проблемы технических наук» (г. Уфа, 2015 г.),

Международной научно-практической конференции «Современные тенденции развития естествознания и технических наук» (г. Белгород, 2018 г.)

Работа выполнялась в рамках грантов РФФИ: № 16-08-00252-а «Создание теоретических основ синтеза структурно-алгоритмических методов построения высокоточных быстродействующих систем определения характеристик периодических и переходных процессов», № 13-08-00173-а «Методология синтеза аппроксимационных методов и систем оперативного анализа и идентификации квазидетерминированных процессов в сложных технических системах»; № 14-08-00700-а «Методология способов коррекции характеристик и динамических параметров измерительных преобразователей на основе использования аппроксимационных методов»; № 18-08-00253-а «Создание теоретических основ методологии обработки сигналов аналитических приборов и синтеза методов улучшения их характеристик», госбюджетной фундаментальной научно-исследовательской работы «Создание методологии сверхбыстрого анализа и идентификации квазидетерминированных периодических и переходных процессов» (рег. номер 01201257378).

Внедрение

Результаты теоретических и экспериментальных исследований нашли применение при разработке ИИС стендовых испытаний погружных электродвигателей и внедрены в Самарском филиале ООО «Роснефть-Ремонт НПО» (г. Отрадный) и ООО «Инженерные технологии» (г. Самара). Разработанные методики оценки погрешностей внедрены в учебном процессе «Самарского государственного технического университета» при подготовке магистров по направлению 12.04.01 «Приборостроение» по магистерской программе «Приборостроение».

Публикации

По результатам выполненных исследований опубликовано 38 работы, в том числе 11 в рецензируемых изданиях из списка ВАК РФ

Личный вклад автора

Все результаты, определяющие научную новизну, получены автором лично. Техническая часть экспериментальных работ проведена с участием коллектива кафедры «Информационно-измерительная техника» Самарского государственного технического университета.

Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка сокращений и библиографического списка из 110 наименования, общим объемом 155 страниц печатного текста и 5 приложений на 12 страницах.

Благодарность

Исследования выполнены на кафедре «Информационно-измерительная техника» Самарского государственного технического университета. Тематика исследований была предложена автору д.т.н., профессором В.С. Мелентьевым в сентябре 2012 года. Автор выражает глубокую благодарность и признательность безвременно ушедшему из жизни В.С. Мелентьеву, за научное руководство, за помощь в постановке задач, проведении экспериментов, анализе результатов и подготовке публикаций на протяжении 5 лет.

Автор считает своим приятным долгом выразить искреннюю благодарность д.т.н, профессору П.К. Ланге за научное руководство, за поддержку на заключительных этапах подготовки работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, формулируются цели и задачи исследования, характеризуется научная новизна полученных результатов, приводятся основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе исследуются возможности использования аппроксимационного подхода к измерению ИХПС.

В качестве исходных экспериментальных данных при проведении измерений, контроля и испытания электрических параметров силового электрооборудования используют

измерительные сигналы, пропорциональные токам и напряжениям в силовых цепях электрооборудования. Установлено, что при измерении параметров сигналов, вид которых априорно известен, может быть применен аппроксимационный подход, основанный на определении информативных параметров мгновенных значений в предположении их соответствия известным моделям с последующей оценкой погрешностей, обусловленных отклонением принятых моделей сигналов от реальных сигналов.

Предложенный метод можно использовать для прогнозирования погрешности и выявления области применяемости методов определения интегральных характеристик, исходя из требований по точности при известных спектрах реальных сигналов.

Во второй главе анализируются известные методы измерения интегральных характеристик периодических сигналов, форма которых близка к форме гармонического сигнала и возможность создания на их основе ИИС для определения таких характеристик.

Разработана классификация методов (рисунок 1) измерения параметров гармонического сигнала, в которой в качестве классификационных признаков используются:

- вид формируемых в системе дополнительных сигналов (в виде ортогональных составляющих сигналов или сигналов, сдвинутых относительно входных на произвольный угол);
- количество формируемых дополнительных сигналов;
- связь определяемых параметров с характерными точками сигналов (при их переходах через ноль) и их количеством; применение образцовых интервалов времени.

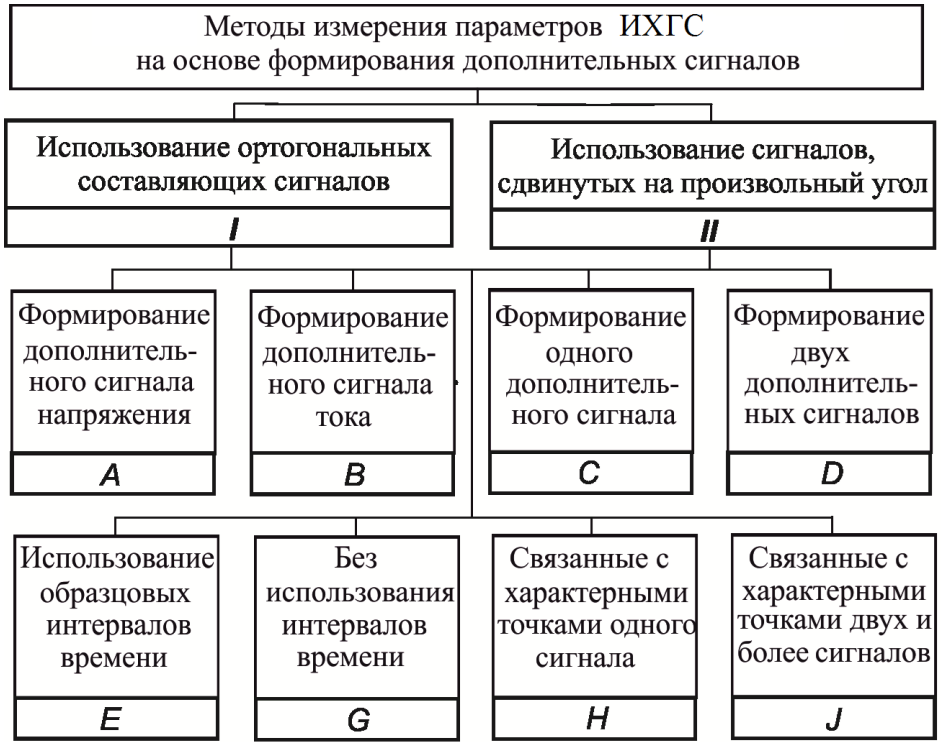

Рисунок 1 - Классификация методов измерения интегральных характеристик периодических сигналов

При исключении противоположных операций (формирование одного или двух дополнительных сигналов; связь или отсутствие связи с характерными точками сигналов; использование или не использование образцовых интервалов времени), можно выделить шесть групп, характеризующих принципы синтеза методов определения ИХГС.

Проведенный в работе анализ существующих методов измерения ИХГС на основе формирования дополнительных сигналов показал, что им присуща существенная погрешность, обусловленная отклонением реального сигнала от гармонического вида.

Установлено, что наиболее существенное влияние на измерение ИХГС может внести погрешность фазосдвигающего блока, который входит в состав большинства ИИС, использующих рассмотренные методы.

Проведенный анализ показал, что для повышения точности и оперативного измерения мгновенных значений информативных параметров необходима разработка новых методов и систем.

В третьей главе предложены и исследованы новые методы измерения параметров гармонического сигнала, предполагающие частичное или полное исключение погрешностей, возникающих при формировании дополнительных сигналов.

На рисунке 2 представлена разработанная классификация предлагаемых методов, основанная на использовании одного и более дополнительных сигналов.

Рисунок 2 - Классификация методов измерения ИХГС с использованием дополнительных сигналов

Все разработанные методы определения ИХГС, инвариантные к погрешностям формирования дополнительных сигналов, можно разделить на методы с коррекцией и без последующей коррекции мгновенных значений сигналов.

В результате на основе предложенной классификации разработаны пять новых методов измерения ИХГС, с использованием дополнительных сигналов, разделенных в пространстве (таблица 1).

В таблице 1 приведена систематизация новых методов по обозначениям, учитывающим комбинации измерительных процедур.

Таблица 1

АВД	АВЕ	БВЕ	АГЕ	БГЖ
Метод определения параметров по мгновенным значениям входных сигналов и дополнительного напряжения, измеренным в моменты переходов сигналов напряжения через ноль и через произвольный интервал времени	Метод определения параметров по мгновенным значениям входных сигналов, измеренным в моменты переходов входного и дополнительного напряжений и тока через ноль	Метод определения параметров по мгновенным значениям входных сигналов с использованием переходов ортогональных составляющих напряжения через ноль	Метод определения параметров по мгновенным значениям входных сигналов на основе формирования дополнительных сигналов напряжения и использования их характерных точек	Метод определения параметров по мгновенным значениям сигналов на основе сравнения мгновенных значений гармонических сигналов, разделенных в пространстве

На основе разработанных методов синтезирована обобщенная структурная схема ИИС измерения ИХГС. Структурная схема ИИС приведена на рисунке 3.

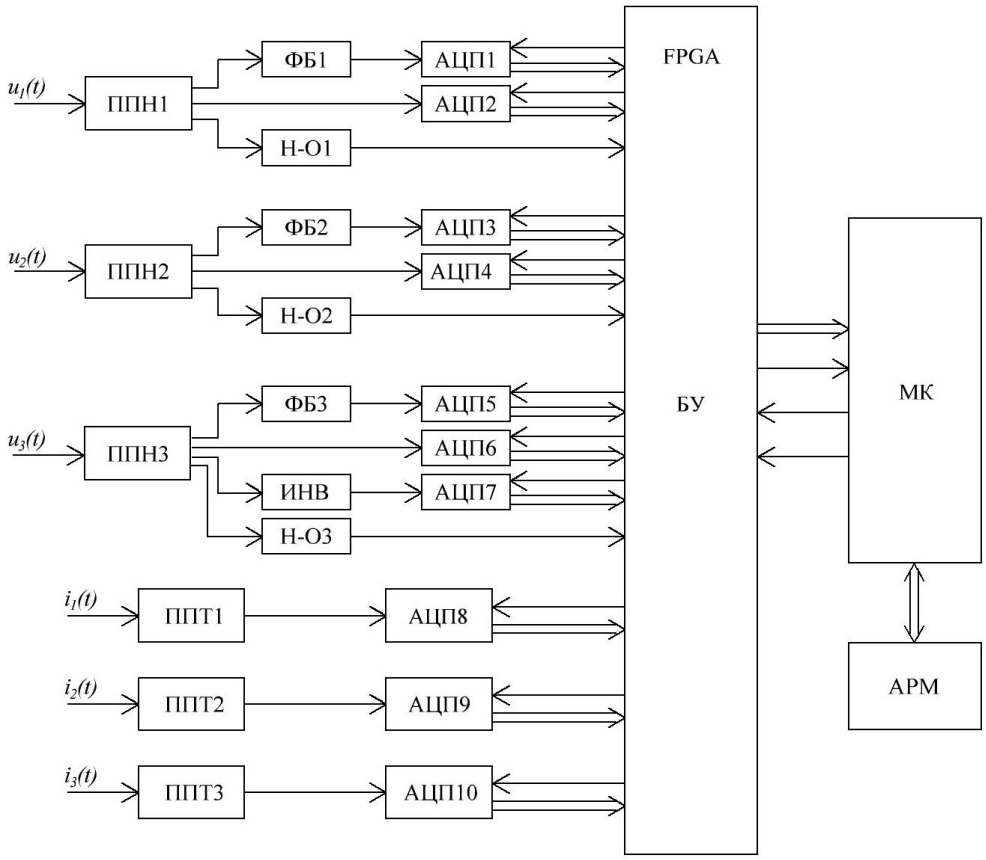

Рисунок 3 - Обобщенная структурная схема ИИС

В состав информационно-измерительной системы входят: первичные преобразователи напряжения ППН1 – ППН3; первичные преобразователи тока ППТ1 – ППТ3; нуль-органы Н-О1 – Н-О3; аналого-цифровые преобразователи АЦП1 – АЦП10; фазосдвигающие блоки ФБ1 – ФБ3; блок управления БУ; микроконтроллер МК; автоматизированное рабочее место оператора АМР. ИИС имеет перестраиваемую структуру в зависимости от типа оборудования и его режимов эксплуатации. Блок управления формирует измерительные каналы в зависимости от выбранного метода измерений (таблица 1). Это позволяет оперативно реагировать на изменения параметров измеряемых сигналов электрооборудования, в частности, при появлении предаварийной ситуации.

В третьей главе также исследованы метрологические характеристики разработанных методов определения ИХГС.

Метод, использующий коррекцию сигнала АВД, основан на том, что в момент времени, когда дополнительный сигнал напряжения, сдвинутый по фазе относительно входного на угол $\Delta\alpha$, переходит через ноль, производят измерение мгновенных значений входного напряжения; в момент времени, когда входной сигнал напряжения переходит через ноль, одновременно измеряют мгновенные значения дополнительного напряжения и тока; через интервал времени Δt осуществляют одновременное измерение мгновенного значения входного и дополнительного напряжения и тока. Искомые информативные параметры вычисляют по измеренным значениям.

Графики процессов, поясняющие метод АВД, приведены на рисунке 4.

Метод АВД измерения параметров гармонического сигнала обеспечивает исключение как угловой погрешности, поскольку использует формирование только одного дополнительного сигнала напряжения, так и погрешности по модулю фазосдвигающего блока ФБ1 за счет коррекции мгновенного значения дополнительного сигнала.

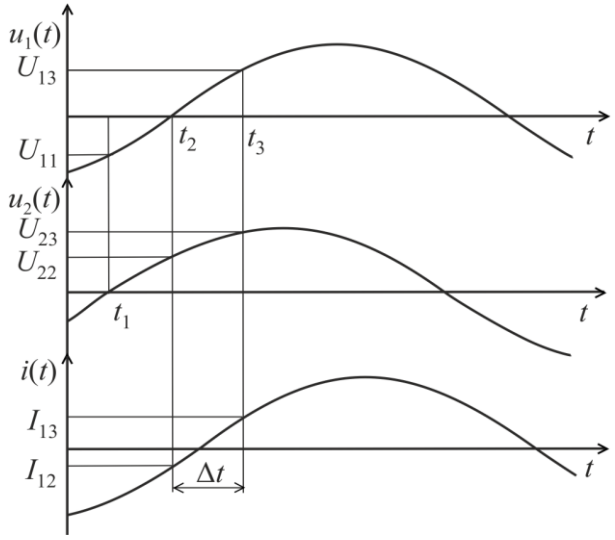

Рисунок 4 – Графики процессов, поясняющие метод АВД

Для входных гармонических сигналов напряжения $u_1(t) = U_{m1}\sin\omega t$ и тока $i(t) = I_m\sin(\omega t + \varphi)$ дополнительный сигнал напряжения имеет вид: $u_2(t) = U_{m2}\sin(\omega t + \Delta\alpha)$, где U_{m1}, U_{m2} - амплитудные значения входного и дополнительного напряжений, $\Delta\alpha$ – угол сдвига дополнительного сигнала, φ – угол сдвига фаз между сигналами напряжения и тока.

В момент перехода дополнительного напряжения через ноль (момент времени t_1) мгновенное значение напряжения равно $U_{11} = U_{m1}\sin(-\Delta\alpha)$. В момент времени t_2, когда входной сигнал напряжения переходит через ноль, мгновенные значения сигналов равны $U_{22} = U_{m2}\sin\Delta\alpha$; $I_{12} = I_m\sin\varphi$.

Через интервал Δt (в момент времени t_3) мгновенные значения напряжения и тока определяются выражениями $U_{13} = U_{m1}\sin\omega\Delta t$; $U_{23} = U_{m2}\sin(\Delta\alpha + \omega\Delta t)$; $I_{13} = I_m\sin(\varphi + \omega\Delta t)$.

Погрешность по модулю блока ФБ1 можно оценить коэффициентом k_m отношения амплитуд входного и дополнительного сигналов напряжения

$$k_m = \frac{U_{m1}}{U_{m2}} = \left|\frac{U_{11}}{U_{22}}\right|.$$

Показано что, за счет использования предложенного коэффициента можно произвести корректировку мгновенного значения дополнительного напряжения $U'_{22} = k_m U_{22} = U_{m1}\sin\Delta\alpha$; $U'_{23} = k_m U_{23} = U_{m1}\sin(\Delta\alpha + \omega\Delta t)$.

С учетом скорректированных мгновенных значений сигналов найдены выражения для определения с помощью ИИС интегральных характеристик гармонических сигналов ИХГС (среднеквадратичных значений напряжения $U_{СКЗ}$ и тока $I_{СКЗ}$, активной P и реактивной Q мощностей) для случая, когда $\Delta\alpha \le 90^\circ$:

$$U_{СКЗ} = \frac{\sqrt{2}\left|U_{13}U'_{22}U'_{23}\right|}{\sqrt{\left[4U'^2_{22}U'^2_{23} - \left(U'^2_{22} - U^2_{13} + U'^2_{23}\right)^2\right]}}; \quad (1)$$

$$I_{СКЗ} = \sqrt{\frac{U'_{22}U'_{23}\left[2U'_{22}U'_{23}\left(I^2_{12} + I^2_{13}\right) - I_{12}I_{13}\left(U'^2_{22} - U^2_{13} + U'^2_{23}\right)\right]}{4U'^2_{22}U'^2_{23} - \left(U'^2_{22} - U^2_{13} + U'^2_{23}\right)^2}}; \quad (2)$$

$$P = \frac{\left|U_{13}U'_{22}U'_{23}\right|\left[2I_{13}U'_{22}U'_{23} - I_{12}\left(U'^2_{22} - U^2_{13} + U'^2_{23}\right)\right]}{\left[4U'^2_{22}U'^2_{23} - \left(U'^2_{22} - U^2_{13} + U'^2_{23}\right)^2\right]}; \quad (3)$$

$$Q = \frac{I_{12}\left|U_{13}U'_{22}U'_{23}\right|}{\sqrt{4U'^2_{22}U'^2_{23} - \left(U'^2_{22} - U^2_{13} + U'^2_{23}\right)^2}}. \quad (4)$$

Выполнен анализ погрешностей измерения ИХГС и построены графики зависимостей (рисунки 5 – 8) относительных погрешностей измерения среднеквадратичных значений (СКЗ) напряжения и тока и приведенных погрешностей измерения активной и реактивных мощностей от угла сдвига фазы дополнительного сигнала относительно входного $\Delta\alpha$ и длительности образцового интервала времени $\omega\Delta t$ при наличии в сигналах 1-ой и 3-й гармоник h_{u3}=h_{i3}=0,1%.

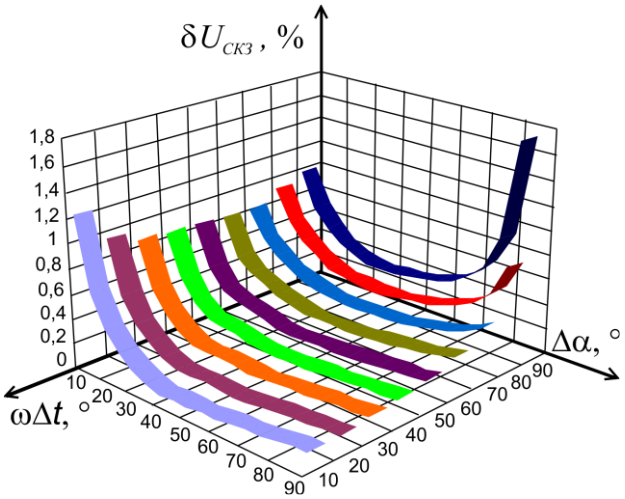

Рисунок 5 - Графики зависимости относительной погрешности измерения СКЗ напряжения от Δα и ωΔt

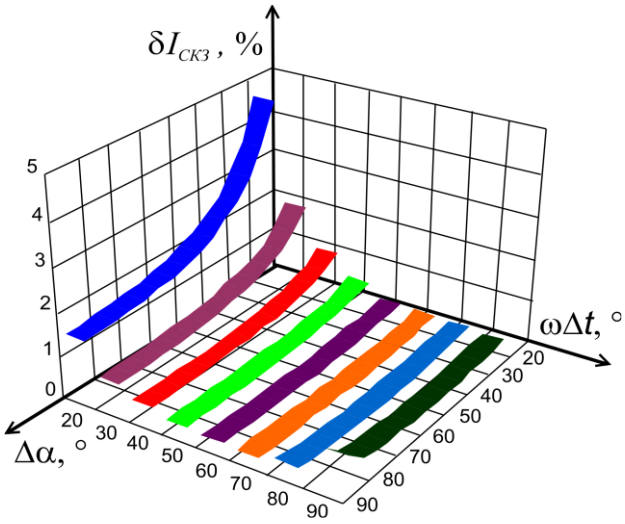

Рисунок 6 - Графики зависимости относительной погрешности измерения СКЗ тока от Δα и ωΔt

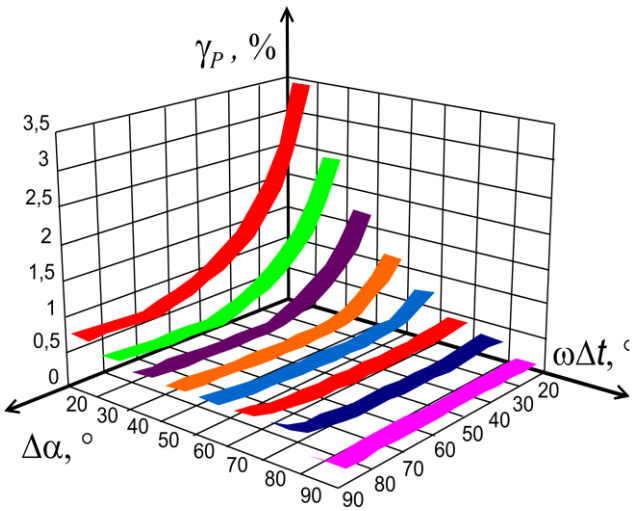

Рисунок 7 - Графики зависимости приведенной погрешности активной мощности от Δα и ωΔt при φ=0°

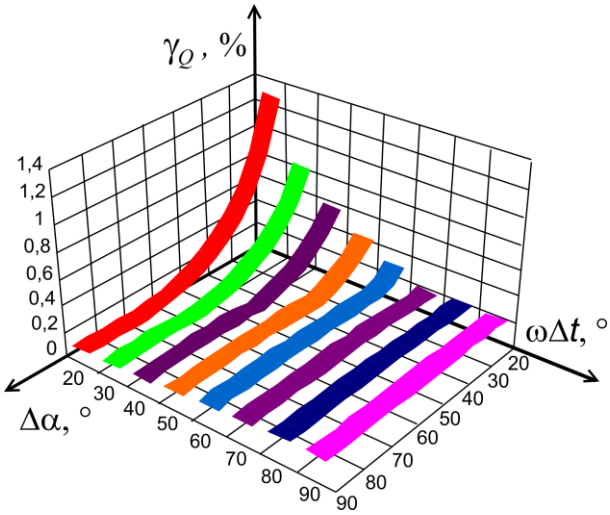

Рисунок 8 - Графики зависимости приведенной погрешности реактивной мощности от Δα и ωΔt

<u>Метод АВЕ,</u> так же как и АВД, основан на формировании одного дополнительного сигнала напряжения, но измерение ИХГС не связано с временными интервалами, а зависит только от характерных точек сигналов (рисунок 9).

В момент времени t_1 перехода тока через ноль, мгновенное значение входного сигнала напряжения $U_{11} = U_{m1}\sin(-\varphi)$. В момент t_2 перехода дополнительного сигнала напряжения через ноль, мгновенные значения входного напряжения и тока соответственно равны $U_{12} = U_{m1}\sin(-\Delta\alpha)$; $I_2 = I_m \sin(\varphi - \Delta\alpha)$. В момент времени t_3 перехода входного сигнала напряжения через ноль, мгновенное значение тока равно $I_3 = I_m \sin\varphi$.

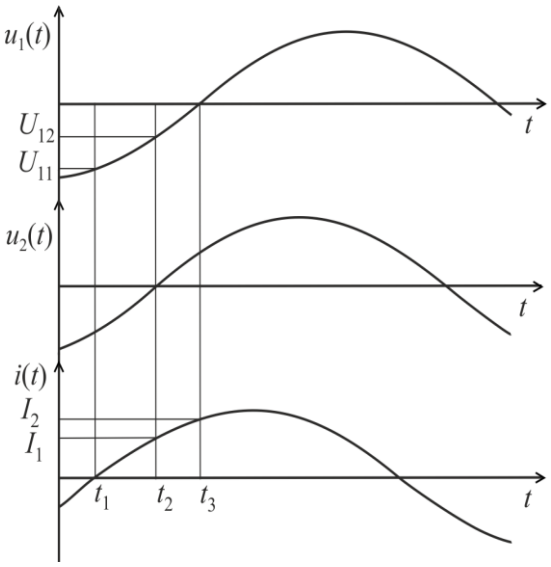

Рисунок 9 - Графики процессов, поясняющие метод АВЕ

Определим коэффициент $l = \left|\frac{U_{11}}{I_3}\right| = \frac{U_{m1}}{I_m}$, отражающий соотношение между амплитудными значениями напряжения и тока. С помощью данного коэффициента можно определить значение напряжения $U'_{14} = l|I_2| = U_{m1}|\sin(\varphi - \Delta\alpha)|$.

Используя измеренные мгновенные значения сигналов и выбирая угол сдвига фазы дополнительного сигнала Δα<90°, получены выражения для определения с помощью ИИС основных ИХГС:

- СКЗ напряжения и тока:

$$U_{СКЗ} = \frac{\sqrt{2}|U_{11}U_{12}U'_{14}|}{\sqrt{4U'^2_{14}U^2_{11} - \left(U'^2_{14} + U^2_{11} - U^2_{12}\right)^2}}; \quad (5)$$

$$I_{СКЗ} = \frac{\sqrt{2}|I_3U_{12}U'_{14}|}{\sqrt{4U'^2_{14}U^2_{12} - \left(U'^2_{14} + U^2_{12} - U^2_{11}\right)^2}}; \quad (6)$$

- Активной и реактивной мощностей:

$$P = \frac{|U_{11}U_{12}U'_{14}|\left[I_3\left(U'^2_{14} + U^2_{11} - U^2_{12}\right) - 2I_2U'_{14}|U_{11}|\right]}{\sqrt{4U'^2_{14}U^2_{11} - \left(U'^2_{14} + U^2_{11} - U^2_{12}\right)^2}}; \quad (7)$$

$$Q = \frac{I_3|U_{11}U_{12}U'_{14}|}{\sqrt{4U'^2_{14}U^2_{11} - \left(U'^2_{14} + U^2_{11} - U^2_{12}\right)^2}}. \quad (8)$$

Графики зависимости относительной погрешности измерения СКЗ сигналов и приведенных погрешностей определения активной и реактивной мощностей от угла сдвига фаз между входным и дополнительным сигналами Δα и угла сдвига фаз между напряжением и током φ при наличии в сигналах 1-ой и 3-й гармоник с h_{u3}=h_{i3}=0,1%, приведены на рисунках 10-13.

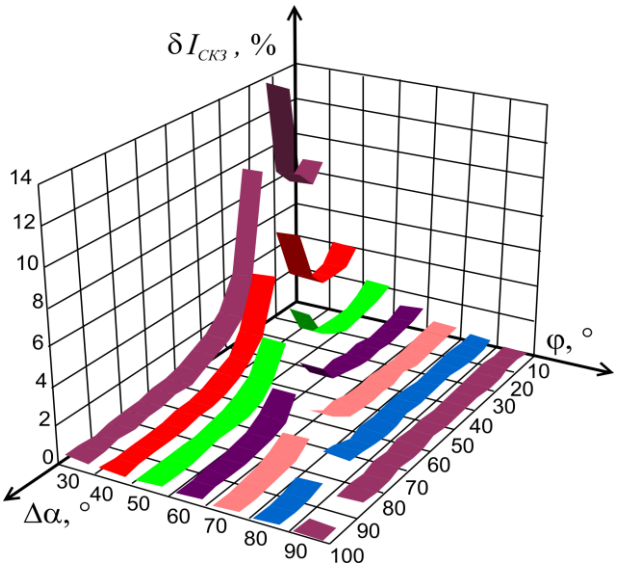

Рисунок 11 - Графики зависимости относительной погрешности измерения СКЗ тока от Δα и φ

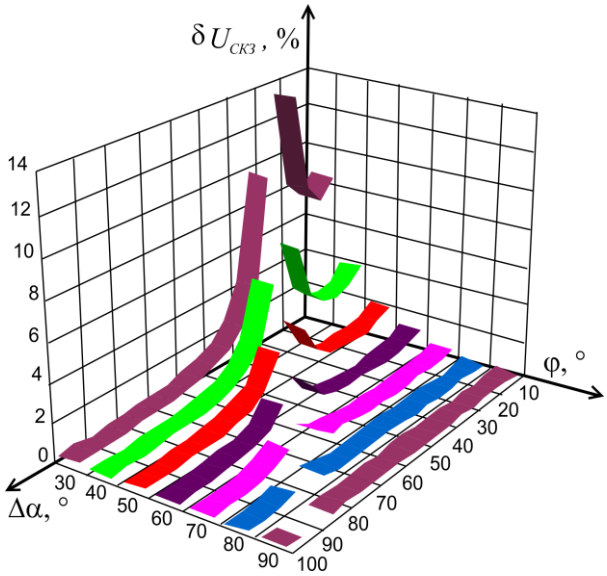

Рисунок 10 - Графики зависимости относительной погрешности измерения СКЗ напряжения от Δα и φ

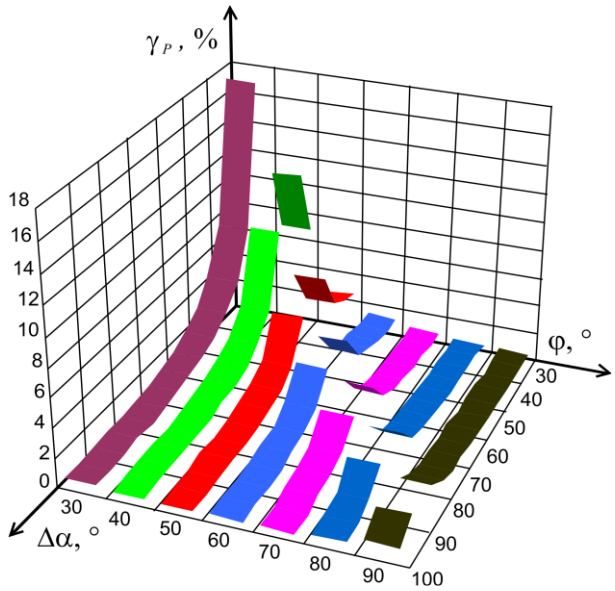

Рисунок 12 - Графики зависимости приведенной погрешности измерения активной мощности *P* от Δα и φ

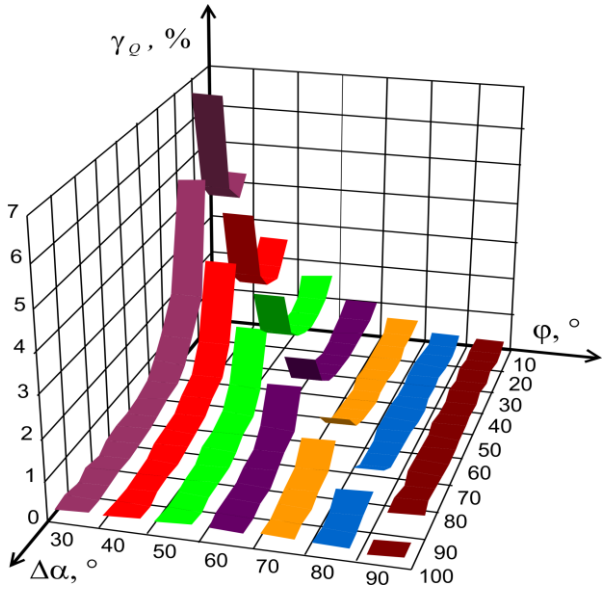

Рисунок 13 - Графики зависимости приведенной погрешности измерения реактивной мощности *Q* от Δα и φ

<u>Метод БВЕ</u> измерения ИХГС, в котором также используются только мгновенные значения входных сигналов напряжения и тока, в отличие от предыдущих, предусматривает формирование ортогональных составляющих напряжения.

В соответствии с методом формируется дополнительный сигнал напряжения, сдвинутый относительно входного на 90°; в момент перехода данного сигнала через ноль производится измерение мгновенных значений входных напряжения и тока; в момент перехода входного сигнала напряжения через ноль измеряется мгновенное значение тока. Определение информативных параметров осуществляется по измеренным мгновенным значениям.

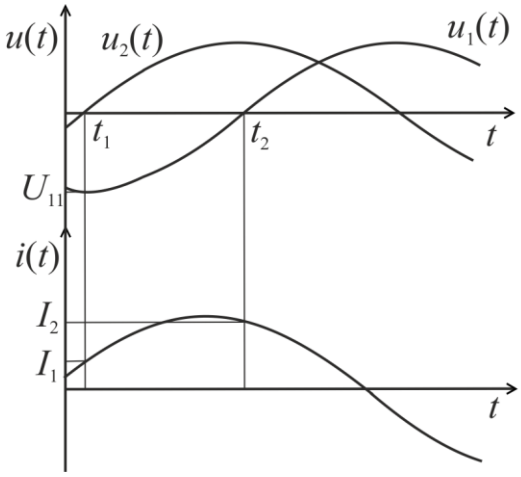

Рисунок 14 – Графики процессов, поясняющие метод БВЕ

Графики процессов, поясняющие метод, приведены на рисунке 14.

В момент времени t_1, когда дополнительный сигнал напряжения переходит через ноль, мгновенные значения напряжения и тока равны: $U_{11} = U_m \sin\left(\pi l - \frac{\pi}{2}\right)$; $I_1 = I_m \sin\left(\varphi - \frac{\pi}{2} + \pi l\right)$.

Параметр *l* принимает значение 0 или 1 в зависимости от того, как осуществлялся переход через ноль дополнительного напряжения.

Если сначала дополнительный сигнал $u_2(t)$ переходил через ноль из отрицательной полуволны в положительную, то *l*=0, $U_{11} = -U_m$ и $I_1 = -I_m \cos\varphi$. В случае, если сначала прозводился переход через ноль сигнала $u_2(t)$ из положительной полуволны в отрицательную, то *l*=1, $U_{11} = U_m$ и $I_1 = I_m \cos\varphi$. Когда входной сигнал напряжения переходит через ноль (момент времени t_2), то мгновенное значение тока будет равно $I_2 = I_m \sin(\varphi + \pi l)$. Для *l*=0 $I_2 = I_m \sin\varphi$, а для *l*=1 $I_2 = -I_m \sin\varphi$.

С учетом мгновенных значений сигналов выражения для ИХГС определяются следующим образом:

$$U_{СКЗ} = \frac{|U_{11}|}{\sqrt{2}}; \quad (9)$$

$$I_{СКЗ} = \sqrt{\frac{I_1^2 + I_2^2}{2}}; \quad (10)$$

$$P = \frac{U_{11} I_1}{2}; \quad (11)$$

$$Q = -\frac{U_{11} I_2}{2}. \quad (12)$$

Относительная погрешность определения СКЗ напряжения зависит только от его спектра. Погрешности определения остальных информативных параметров зависят еще и от угла сдвига фаз между напряжением и током φ.

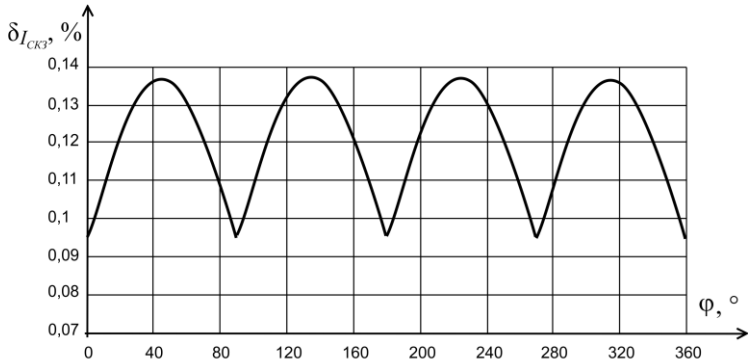

Рисунок 15 - График зависимости относительной погрешности СКЗ тока от φ

На рисунках 15-17 показаны графики зависимости относительной погрешности определения СКЗ тока и приведенной погрешности измерения активной и реактивной мощностей от и реактивной мощностей от угла сдвига фаз между напряжением и током φ при наличии в реальном сигнале 1-й и 3-й гармоник с коэффициентами $h_{i3} = h_{u3} = 0{,}1\%$.

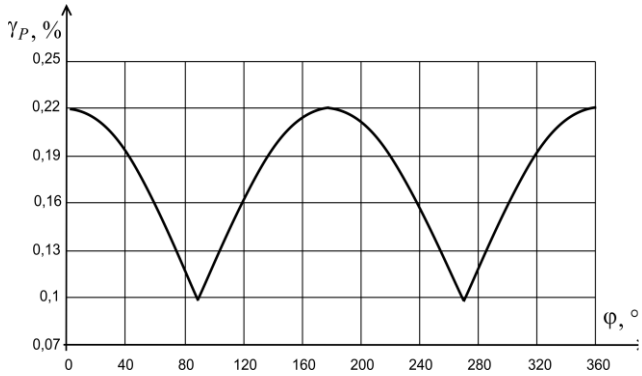

Рисунок 16 - График зависимости приведенной погрешности от φ

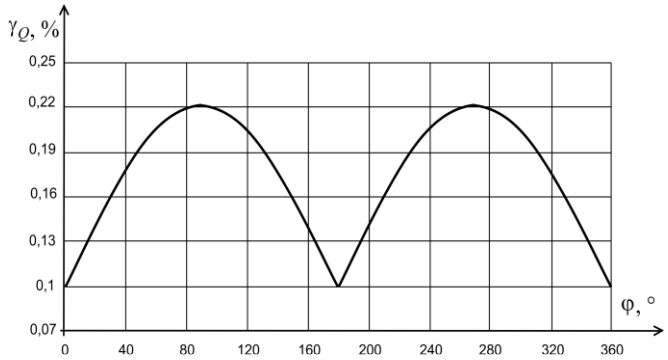

Рисунок 17 - График зависимости приведенной погрешности реактивной мощности от φ

Метод АГЕ, как и метод АВЕ, исключает погрешность по модулю фазосдвигающего блока, так как его реализация не предусматривает формирование дополнительных интервалов времени. Однако этот метод не требует введения корректировки.

Метод основан на формировании двух дополнительных сигналов напряжения, которые сдвинуты относительно входного по фазе на углы Δα и 2Δα соответственно в сторону опережения. В момент времени перехода второго дополнительного напряжения через ноль измеряются первые мгновенные значения входного напряжения и тока. В момент перехода первого дополнительного напряжения через ноль измеряются вторые мгновенные значения

входного напряжения и тока. Характеристики ИХГС определяются по измеренным мгновенным значениям напряжения и тока.

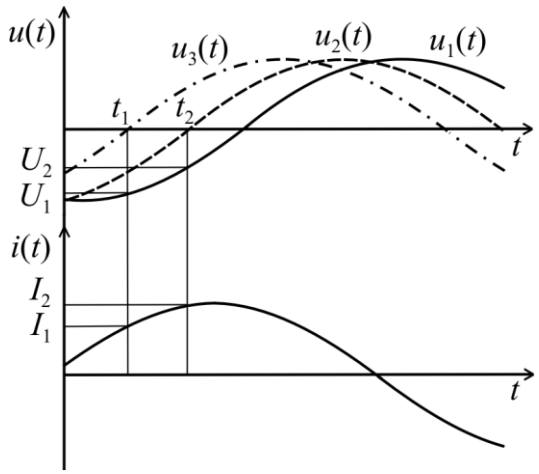

Рисунок 18 – Графики процессов, поясняющие метод АГЕ

Графики процессов, поясняющие метод, приведены на рисунке 18.

Если входной сигнал напряжения и тока соответствуют модели гармонического сигнала $u_1(t) = U_{m1}\sin\omega t$ и $i(t) = I_m\sin(\omega t + \varphi)$, то дополнительные сигналы напряжения определяются выражениями $u_2(t) = U_{m2}\sin(\omega t + \Delta\alpha)$, $u_3(t) = U_{m3}\sin(\omega t + 2\Delta\alpha)$,

где U_{m1}, U_{m2} и U_{m3}, – амплитудные значения входного и дополнительных напряжений.

В момент времени t_1, когда второе дополнительное напряжение переходит через ноль из отрицательной полуволны в положительную, мгновенные значения напряжения и тока будут равны: $U_1 = U_{m1}\sin(-2\Delta\alpha)$ и $I_1 = I_m\sin(\varphi - 2\Delta\alpha)$.

В момент времени t_2, когда первый дополнительный сигнал напряжения переходит через ноль из отрицательной полуволны в положительную, мгновенные значения напряжения и тока принимают вид: $U_2 = U_{m1}\sin(-\Delta\alpha)$ и $I_2 = I_m\sin(\varphi - \Delta\alpha)$.

Использовав мгновенные значения сигналов при угле сдвига фазосдвигающего блока $\Delta\alpha \le \frac{\pi}{2}$, то получены выражения для определения с помощью ИИС основных ИХГС:

$$U_{СКЗ} = \frac{\sqrt{2}U_2^2}{\sqrt{4U_2^2 - U_1^2}}; \tag{13}$$

$$I_{СКЗ} = \sqrt{\frac{1}{2}\left[I_2^2 + \frac{(2I_1U_2 - I_2U_1)^2}{4U_2^2 - U_1^2}\right]}; \tag{14}$$

$$P = \frac{U_2\left[(I_2U_1 - I_1U_2)U_1 - 2U_2^2I_2\right]}{4U_2^2 - U_1^2}; \tag{15}$$

$$Q = \frac{(I_2U_1 - I_1U_2)U_2}{\sqrt{4U_2^2 - U_1^2}}. \tag{16}$$

График зависимости относительной погрешности измерения СКЗ напряжения от величины угла сдвига фазы дополнительного сигнала Δα при наличии в сигналах 1-ой и 3-й гармоник с h_{u3}=0,1% показан на рисунке 19.

Погрешность определения СКЗ напряжения зависит от его спектра и угла сдвига фазы фазосдвигающего блока Δα.

Относительная погрешность определения СКЗ тока, активной и реактивной мощностей зависят не только от гармонического состава сигналов и угла сдвига фазы фазосдвигающего блока Δα, но и от угла сдвига фаз φ между входными сигналами напряжения и тока.

На рисунках 20 – 22 показаны графики зависимости относительной погрешности измерения СКЗ тока и приведенных погрешностей определения активной и реактивной мощностей от угла сдвига фазы фазосдвигающего блока Δα и угла сдвига фаз между напряжением и током φ при наличии в сигналах напряжения и тока 1-ой и 3-ей гармоник с коэффициентами $h_{u3} = h_{i3} = 0{,}1\%$.

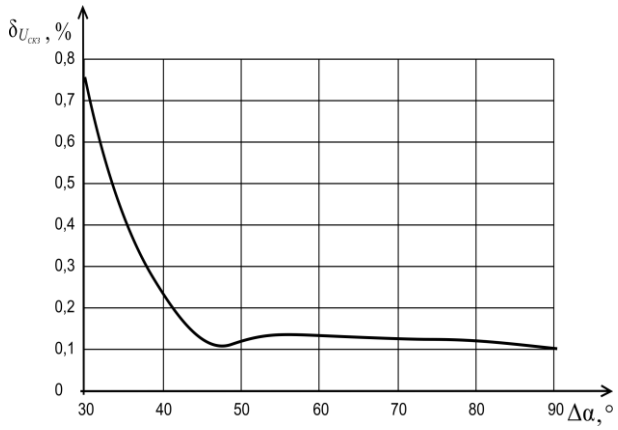

Рисунок 19 - График зависимости относительной погрешности СКЗ напряжения от Δα

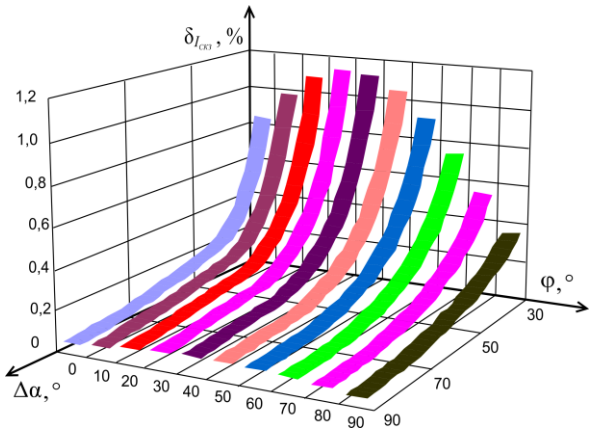

Рисунок 20 - Графики зависимости относительной погрешности определения СКЗ тока от Δα и φ

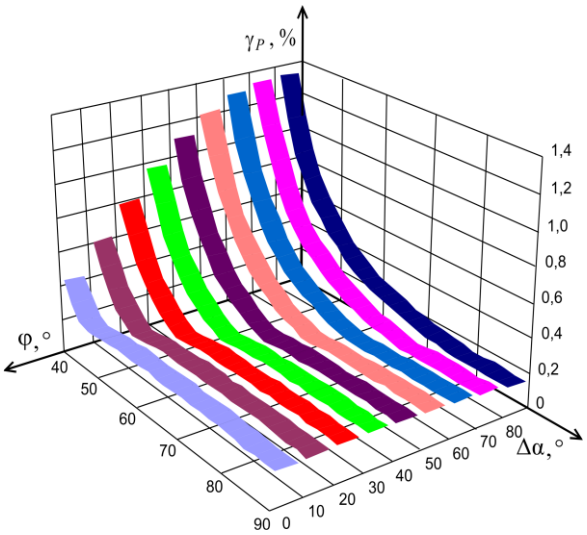

Рисунок 21 - Графики зависимости приведенной погрешности определении активной мощности от Δα и φ

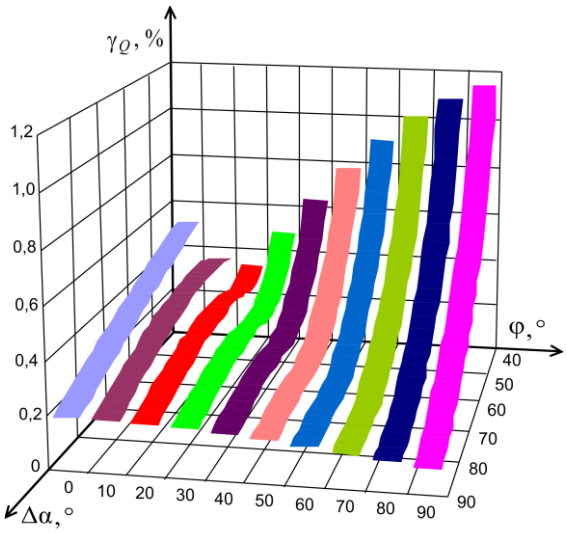

Рисунок 22 - Графики зависимости приведенной погрешности определения реактивной мощности от Δα и φ

На рисунке 23 представлены временные диаграммы, поясняющие принцип работы метода БГЖ измерения ИХГС. Метод использует формирование дополнительного сигнала напряжения, сдвинутого на произвольный угол относительно входного, и сигнала, инверсного входному. Поскольку инверторы, используемые для этих целей, могут обеспечивать погрешность в сотые доли процента, то это позволяет исключить угловую погрешность и погрешность инвертора по напряжению.

В момент равенства дополнительного напряжения, сдвинутого по фазе относительно входного на угол Δα, и сигнала, инверсного входному, измеряют первые мгновенные значения входного напряжения и тока; в момент равенства дополнительного и входного напряжений измеряют вторые мгновенные значения входных сигналов напряжения и тока. Параметры ИХГС определены по измеренным значениям.

Если входные напряжение и ток имеют гармонический вид: $u_1(t) = U_{m1}\sin\omega t$; $i(t) = I_m\sin(\omega t + \varphi)$, то дополнительные сигналы напряжения принимают вид:

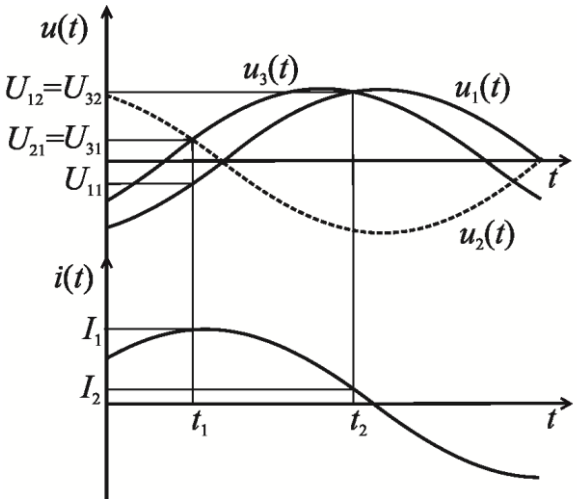

Рисунок 23. - Графики процессов, поясняющие метод БГЖ

На рисунке 24 представлен график зависимости относительной погрешности измерения СКЗ напряжения от угла сдвига фазы $\Delta\alpha$ при наличии в сигнале первой и третьей гармоник с $h_{U3} = 0{,}1\%$.

На рисунках 25 и 26 представлены графики зависимости относительной погрешности измерения СКЗ тока, активной и реактивной мощностей от угла сдвига фазы $\Delta\alpha$ и угла сдвига фазы между напряжением и током φ при наличии в сигналах первой и третьей гармоник с $h_{U3} = h_{I3} = 0{,}1\%$.

$u_2(t) = -U_{m2}\sin\omega t$ и $u_3(t) = U_{m3}\sin(\omega t + \Delta\alpha)$.

Используя мгновенные значения сигналов, получены выражения для определения ИХГС:

$$U_{СКЗ} = \sqrt{\frac{U_{11}^2 + U_{12}^2}{2}}\,; \qquad (17)$$

$$I_{СКЗ} = \sqrt{\frac{I_1^2 + I_2^2}{2}}\,; \qquad (18)$$

$$P = \frac{I_2|U_{12}| - I_1|U_{11}|}{2}\,; \qquad (19)$$

$$Q = \frac{I_1|U_{12}| + I_2|U_{11}|}{2}\,. \qquad (20)$$

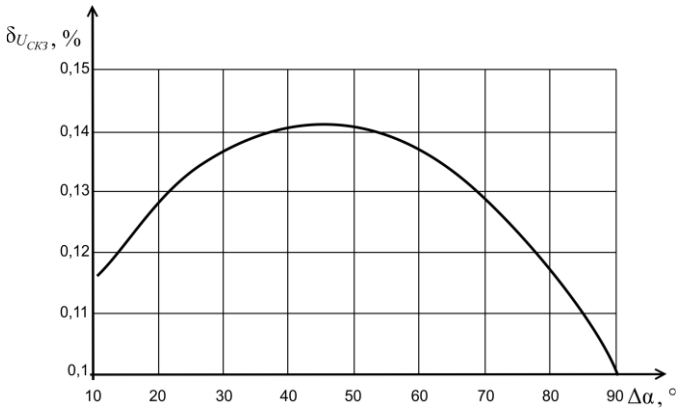

Рисунок 24. График зависимости относительной погрешности СКЗ напряжения от Δα

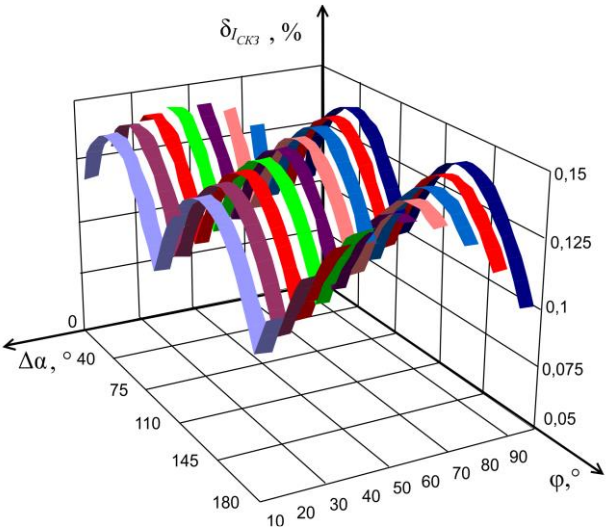

Рисунок 25 - Графики зависимости относительной погрешности определения СКЗ тока от Δα и φ

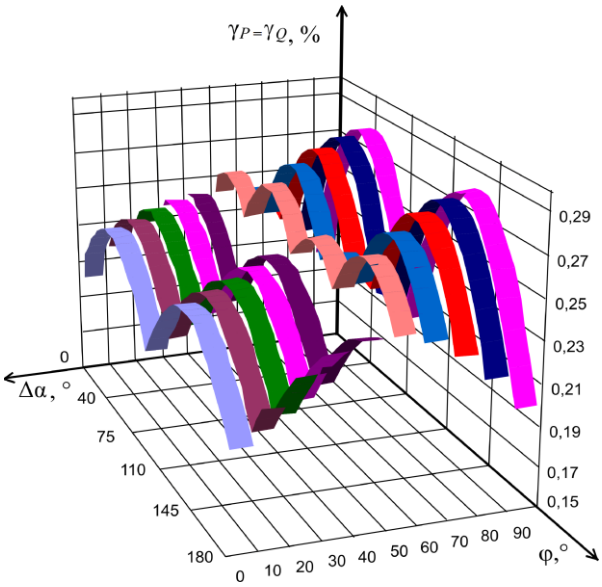

Рисунок 26 - Графики зависимости приведенной погрешности определения активной и реактивной мощности $\gamma_P = \gamma_Q$ от Δα и φ

В работе показано, что метод БГЖ обеспечивает наибольшее быстродействие и точность по сравнению с методами АВД, АВЕ, БВЕ и АГЕ.

В четвертой главе описаны основные контролируемые параметры электродвигателей и электронасосов, используемые при добыче нефти.

Проведен анализ условий и ограничений применимости пяти разработанных методов в ИИС для контроля электродвигателей и электронасосов. В таблице 2 приведены сведения о предпочтительном использовании этих методов измерений в различных условиях.

Таблица 2

Обозначение метода	Характеристики метода (макс. относительная погрешность измерения ИХГС в зависимости от Δα, быстродействие)	Области применения
АВД	δ = 5%, время измерения не более 7 мс	Метод применим для контроля аварийных и предаварийных ситуаций высоковольтного оборудования, в связи с тем, что обладает достаточно большим быстродействием и отсутствует угловая погрешность фазосдвигающего блока.
АВЕ	δ = 18%, время измерения не более 5 мс	Метод применим при построении систем приемо-сдаточных испытаний силовых трансформаторов в связи с возможностью оперативного контроля аварийных режимов. Данный метод обладает большой погрешность измерения информативных параметров, которая не влияет .
БВЕ	δ = 0,35%, время измерения не более 10 мс	Метод прост в реализации, рекомендуется для контроля ИХГС и оперативного управления средствами защиты мощного электрооборудования
АГЕ	δ = 1,4%, время измерения не более 12 мс	Метод применяется при построении автоматических систем контроля электроэнергии, в которых не требуется высокое быстродействие. В связи с тем, что снижение погрешности по модулю фазосдвигающего блока приводит к увеличению общего времени измерения.
БГЖ	δ = 0,28%, время измерения не более 4 мс	Метод применяется в системах защит силового электрооборудования, в связи с тем, что обладает высоким быстродействием и отсутствует угловая погрешность и погрешность по модулю ФБ.

Разработанная на основе предложенных методов информационно-измерительная система использовалась при создании стендов для испытаний погружных электронасосов большой мощности. Согласно протоколам проведенных испытаний, был сделан вывод о соответствии метрологических характеристик ИИС заданным границам. Отклонение параметров номинального режима от установленных значений в течение всех опытов составило: по току не более 2.0 %; по напряжению не более 1,0%, что соответствует ГОСТ на испытание электродвигателей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе получены следующие основные результаты:

1. Обоснована возможность использования аппроксимационного подхода к решению задач оперативного измерения и контроля параметров силового электрооборудования, позволившая разработать новые методы оперативного измерения таких параметров.

2. На основе классификации известных аппроксимационных методов и средств измерения ИХГС предложены новые методы их измерения, характеризуемые высоким быстродействием и малой погрешностью. Установлено, что все разработанные новые методы, инвариантные к погрешностям формирования дополнительных сигналов, можно разделить на методы с коррекцией и без последующей коррекции мгновенных значений сигналов.

3. Предложены новые методы и средства измерения ИХГС по мгновенным значениям напряжений и токов в силовых цепях электрооборудования с повышенными метрологическими характеристиками. Показано, что разделение мгновенных значений сигналов в пространстве за счет формирования дополнительных сигналов напряжения и тока, сдвинутых по фазе относительно входных, обеспечивает сокращение времени определения параметров гармонических сигналов на 15%, что в отличие от существующих методов определения ИХГС позволяет выявить аварийные режимы электрооборудования за время менее полупериода периода анализируемых сигналов.

4. Исследованы методические погрешности новых методов определения ИХГС, а также разработаны способы их корректировки. Анализ существующих методов и систем измерения информационных интегральных характеристик, основанных на формировании ортогональных составляющих сигналов, выявил наличие частотной погрешности фазосдвигающих блоков ИИС, значительно снижающей точность измерения даже в узком диапазоне изменения частоты. Показано, что использование предложенных методов измерения ИХГС позволяет снизить эту погрешность на 40%.

5. Разработана автоматизированная ИИС контроля электрических параметров силового электрооборудования, характеризуемая высоким быстродействием и точностью. Разработанная система использует новый метод определения всего комплекса информационных интегральных характеристик, характеризуемый коррекцией погрешностей фазосдвигающих блоков ИИС. Такая система, реализующая предложенный метод, позволяет проводить измерения за время не более четверти периода, с минимальными аппаратными затратами. Проведенные экспериментальные исследования показали, что разработанная система позволяет оперативно определять информативные параметры силового электрооборудования для предотвращения аварийных режимов.

6. Обоснована практическая применимость и представлены дальнейшие перспективы развития полученных результатов при построении информационно-измерительных систем для оперативного определения интегральных характеристик силового электрооборудования.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из перечня ВАК РФ:

1. Муратова, В.В. Анализ погрешности метода измерения интегральных характеристик, обусловленной отклонением формы сигнала от гармонической модели [Текст] / В.С. Мелентьев, Ю.М. Иванов, В.В. Муратова // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Физико-математические науки. – 2013. - № 2 (31). - С. 80 - 84.

2. Муратова, В.В. Повышение точности измерения параметров гармонических сигналов на основе формирования дополнительного напряжения [Текст] / В.С. Мелентьев, В.В. Муратова // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. - 2013. - № 3 (39). - С. 79 - 85.

3. Муратова, В.В. Метод и система измерения интегральных характеристик с использованием ортогональных составляющих сигналов [Текст] / В.С. Мелентьев, В.В.

Муратова, Е.Е. Ярославкина // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. - № 4 (40). - 2013. - С. 206-209.

4. Муратова, В.В. Методы и средства измерения интегральных характеристик, инвариантные к погрешностям формирования дополнительных гармонических сигналов [Текст] / В.С. Мелентьев, Ю.М. Иванов, В.В. Муратова // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. - 2014. - № 2 (42). - С. 40-50.

5. Муратова, В.В. Исследование метода измерения интегральных характеристик по мгновенным значениям сигналов, разделенным в пространстве [Текст] / В.С. Мелентьев, Ю.М. Иванов, В.В. Муратова // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь. – 2014. – Т.9, № 10 (137). - С. 52-55.

6. Муратова, В.В. Оценка погрешности реализации метода измерения параметров гармонических сигналов [Текст] / В.В. Муратова // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. - 2014. - № 4 (44). - С. 69-76.

7. Муратова, В.В. Исследование метода измерения интегральных характеристик по мгновенным значениям ортогональных составляющих сигналов [Текст] / В.С. Мелентьев, Ю.М. Иванов, В.В. Муратова // Ползуновский вестник. - 2014. - №2(4). - С. 24-26.

8. Муратова, В.В. Анализ инструментальной погрешности системы измерения параметров гармонических сигналов на основе сравнения ортогональных составляющих сигналов [Текст] / Е.Е. Ярославкина, В.В. Муратова, Е.В. Павленко // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. - 2015. - № 4 (48). – С. 50-55.

9. Муратова, В.В. Исследование метода измерения параметров на основе формирования и сравнения ортогональных составляющих напряжения [Текст]. /В.С. Мелентьев, В.В. Муратова, А.С. Пескова // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. - 2016. - № 2 (50). – С. 114-120

10. Муратова, В.В. Влияние квантования мгновенных значений сигналов на погрешность определения их интегральных характеристик [Текст]. / В.В. Муратова// Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. - 2016. - № 4 (51).

11. Муратова, В.В. Методологические аспекты измерений интегральных характеристик периодических сигналов [Текст] / Е.Е. Ярославкина, В.В. Муратова // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. - 2018.

Публикации в других изданиях:

1. Муратова, В.В. Метод повышения точности измерения характеристик периодических процессов [Текст] / В.С. Мелентьев, В.В. Муратова, Ю.М. Иванов // Известия Самар. науч. центра РАН. - 2013. - Том 15. Номер 4(2). Темат. выпуск. - С. 376 - 380.

2. Муратова, В.В. Метод измерения параметров сигналов для систем контроля и испытаний радиоэлектронной аппаратуры [Текст] / В.С. Мелентьев, В.В. Муратова, Ю.М. Иванов // Известия Самар. науч. центра РАН. - 2013. - Том 15. Номер 6(2). Темат. выпуск. - С. 417 - 420.

3. Муратова, В.В. Анализ погрешности измерения интегральных характеристик на основе сравнения мгновенных значений гармонических сигналов [Текст] / В.С. Мелентьев, Ю.М. Иванов, В.В. Муратова // Измерение. Мониторниг. Управление. Контроль. - №1(3). – 2013. - С. 3-8.

4. Муратова, В.В. Сокращение времени измерения параметров гармонических сигналов на основе использования их ортогональных составляющих [Текст] / В.С. Мелентьев, В.В. Муратова, Е.В. Павленко // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: сборник науч. тр. XI-ой Междунар. науч.-практ. конф. – Курск: ЮЗГУ, 2014. – С. 67-71.

5. Муратова, В.В. Совершенствование методов контроля параметров радиоэлектронной аппаратуры [Текст] / В.С. Мелентьев, Ю.М. Иванов, В.В. Муратова // Известия Самарского научного центра РАН. – 2014. - Том 16. Номер 4(3). - С. 590-593.

6. Муратова, В.В. Метод измерения параметров по мгновенным значениям входного напряжения и тока, связанным с переходом ортоганальных составляющих через ноль [Текст] / В.В. Муратова // Матер. докл. X Междунар молодёж. науч. конф. «Тинчуринские чтения» - под общ. ред. ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова. В 3 т.; Т.1. - Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2015 – С. 105-106. 25-27 марта 2015 года.

7. Муратова, В.В. Метод автоматического контроля параметров радиоэлектронной аппаратуры в процессе производства [Текст] / В.С. Мелентьев, Ю.М. Иванов, В.В. Муратова // Известия Самарского научного центра РАН. – 2015. - Том 17. Номер 2(4). - С. 822-826. ISSN 1990-5378

8. Муратова, В.В. Совершенствование методов измерения параметров сигналов для систем контроля и испытаний радиоэлектронной аппаратуры [Текст]. /В.С. Мелентьев, В.В. Муратова, А.С. Пескова // Известия Самарского научного центра РАН. – 2015. - Том 18. Номер 1(2). - С. 397-400. ISSN 1990-5378

9. Муратова, В.В. Сокращение времени определения параметров за счет пространственного разделения мгновенных значений гармонических сигналов [Текст] / В.С. Мелентьев, Ю.М. Иванов, В.В. Муратова // Измерения, контроль, информатизация: матер. XVI междунар. науч.-техн. конф. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2015. – С. 61-63.

10. Муратова, В.В. Анализ погрешности метода измерения параметров по мгновенным значениям ортогональных составляющих сигналов [Текст] / В.В. Муратова, // Информационно-измерительные и управляющие системы: Сб. науч. статей. - Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2015. - 2(12). - С. 104-110.

11. Муратова, В.В. Исследование метода оперативного измерения параметров сигналов для автоматизированных систем научных исследований [Текст] / В.С. Мелентьев, Ю.М. Иванов, В.В. Муратова // Перспективные информационные технологии – 2015 (ПИТ-2015): труды Междунар. научно-техн. конф. - Самара: Изд.-во Самар. научного центра РАН, 2015. – Т.1. – С. 94-98.

12. Муратова, В.В. Анализ влияния квантования мгновенных значений входных и дополнительных сигналов на погрешность определения интегральных характеристик гармонических сигналов [Текст]. /В.В. Муратова // Информационно-измерительные и управляющие системы: Сб. науч. статей. - Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2016. - 1(13). - С. 109-116.

13. Муратова, В.В. Использование математического моделирования для оценки погрешности измерения информативных параметров гармонических сигналов [Текст]. /В.С. Мелентьев, В.В. Муратова // Известия Самарского научного центра РАН. – 2016. - Том 18. Номер 2(3). - С. 928-931. ISSN 1990-5378.

14. Муратова, В.В. Использование моделирования для определения методической погрешности измерения параметров периодических сигналов [Текст]. / В.С. Мелентьев, Ю.М. Иванов, В.В. Муратова // Математическое моделирование и краевые задачи: Труды Всерос. научой конф. с междунар участием. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2016. – Ч.2. – С. 143-146.

15. Муратова, В.В. Исследование влияния формы периодических сигналов на погрешность определения их параметров [Текст]. / В.С. Мелентьев, В.В. Муратова, А.С. Пескова // Перспективы развития технических наук: Сборник науч. трудов по итогам междунар. науч.-прак. конф. - Челябинск: ИЦРОН, 2016. - № 3. – С. 47-52.

16. Муратова, В.В. Исследование методов измерения интегральных характеристик гармонических сигналов, разделенных в пространстве [Текст] / В.В. Муратова, Е.Е. Ярославкина // Современные тенденции развития естествознания и технических наук: Сб. науч. трудов. Междунар. науч.-практич. конф. – Белгород: АПНИ, 2018. – С. 244-248.

17. Мелентьев В.С., Иванов Ю.М., Муратова В.В. Синтез и анализ методов оперативного измерения параметров периодических процессов на основе формирования дополнительных сигналов // Проблемы управления и моделирования в сложных системах. – ИПУСС РАН, 2014.

Автореферат отпечатан с разрешения диссертационного совета Д 212.217.07
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»
(протокол №9 от 19 октября 2018г)
Формат 60х84 1/16. Уч. печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ №630
Отпечатано на ризографе.
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»
Отдел типографии и оперативной печати
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская,244