

На правах рукописи



Оськин Константин Сергеевич

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ РАСЧЕТА ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И
МОДЕЛЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО
ДИАГНОСТИРОВАНИЯ МНОГОКАНАЛЬНЫХ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

Специальность: 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

г. Санкт-Петербург 2016

Работа выполнена на кафедре «Автоматика и телемеханика» ФГБОУ ВПО
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»
(ПНИПУ)

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор Южаков Александр Анатольевич

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор, действительный член РАЕ, действительный член Российской академии проблем качества Мещеряков Виктор Николаевич, заведующий кафедрой Электропривода Липецкого государственного университета

доктор технических наук, профессор Дыда Александр Александрович, профессор кафедры Автоматических и информационных систем Морского государственного университета им. Г.И. Невельского

Ведущее предприятие:

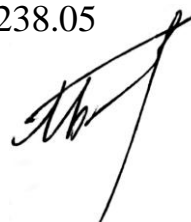
Казанский национальный исследовательский технический университет (КАИ) им. А.Н. Туполева, г. Казань.

Защита состоится «07» декабря 2016 г. в 15 ч 30 мин на заседании диссертационного совета Д212.238.05 при ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» по адресу: 197376 г. Санкт-Петербург, ул. проф. Попова, д. 5.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», 197376 г. Санкт-Петербург, ул. проф. Попова, д. 5 и на сайте www.eltech.ru

Автореферат разослан «06» октября 2016 г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 212.238.05
кандидат технических наук, доцент



М.П. Белов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Многоканальным электротехническим комплексом самоходной машины является система, состоящая из преобразовательного и информационно-управляющего устройств, предназначенная для управления подключаемым к ней набором однородных исполнительных механизмов. Наиболее сложными, дорогостоящими и трудоемкими в изготовлении самоходных машин являются электротехнические комплексы, во многом определяющие функциональность самоходной машины.

Стоимость многоканальных электротехнических комплексов на этапе серийного производства может быть снижена путем разработки систем технического диагностирования, обеспечивающих проведение приемосдаточных испытаний до установки комплексов в составе самоходной машины.

Однако сложность систем технического диагностирования и высокая стоимость разработки накладывают ограничения на их внедрение в производственный процесс. Таким образом, актуальной задачей является разработка методов расчета временных характеристик и моделирования элементов систем технического диагностирования, позволяющих сократить время расчета и затраты на проектирование элементов систем.

Особенностью многоканальных комплексов как объекта диагностирования является множество одинаковых, независимо функционирующих, каналов управления исполнительными механизмами, предназначенных для формирования управляющих сигналов, приема и анализа сигнала обратной связи, формируемых исполнительными механизмами. На этапе приемосдаточных испытаний многоканальных комплексов система диагностирования может быть подключена только к входным и выходным разъемам диагностируемого комплекса. В большинстве случаев отсутствует возможность подключения к диагностируемому комплексу реального исполнительного механизма. Диагностирование осуществляется в рабочем режиме с измерением амплитудно-временных характеристик сигналов управления, формируемых каналами управления комплекса.

В процессе испытаний многоканальных электротехнических комплексов системы технического диагностирования (СТД) обеспечивают функционирование комплексов, формирование сигнала обратной связи исполнительного механизма, измерение амплитудно-временных параметров управляющих сигналов, формирование заключения о техническом состоянии диагностируемого комплекса.

Анализ методов проектирования СТД (Светлов А.В., Шевцов В.М., Федоров Ю.А., Хайруллин И.Х. и других российских ученых) а также известных по описаниям образцов (Антонов В.И., Василенко Д.В., Бурый А.С., Трусов В.М. Бахрушин Н.И.) позволяет выделить общие подходы к построению их элементов независимо от назначения систем, что позволяет разработать общие методы проектирования систем технического диагностирования.

Одной из проблем, возникающих при диагностировании многоканальных электротехнических комплексов, является оценка качества монтажа силовых цепей. Нарушение технологии монтажа силовых цепей приводит к появлению периодических дефектов, которые сложно выявить после ввода комплекса в эксплуатацию, и требует своевременного выявления на этапе приемосдаточных испытаний. Методы диагностирования электротехнических комплексов хорошо изучены отечественными и зарубежными авторами (Беспрозванных А.В., Дорогайцев В.С., Сапожников В. В., Фентон В., Пект М. и др.) Однако известные методы рассматривают вопросы

диагностирования силовых цепей отдельно от вопросов диагностирования электротехнических комплексов в целом.

Одним из способов оценки качества монтажа силовых цепей является определение их проводимости при пропускании тока номинальной величины, которая определяется потреблением тока исполнительного механизма, подключенного к каналу управления, и возрастает пропорционально количеству каналов многоканального электротехнического комплекса. При простоте реализации данный способ связан с большим выделением тепла на балластных резисторах системы диагностирования и требует поддержания теплового режима работы систем технического диагностирования многоканальных электротехнических комплексов.

Одним из способов снижения тепловыделения является использование имитатора нагрузки (Федосов А.А.), заменяющего балластное сопротивление. Тем не менее, предложенный метод диагностирует только часть цепи – коммутирующий элемент, но не позволяет осуществлять диагностирование комплекса в целом.

Таким образом, требуется разработка нового метода диагностирования силовых цепей электротехнических комплексов, отличающегося пониженным тепловыделением.

Наличие множества каналов управления многоканальных электротехнических комплексов существенно увеличивает объем обрабатываемой измерительной информации и предъявляет высокие требования к производительности информационно-измерительных трактов.

Характеристики информационно-измерительных трактов подробно исследованы в работах отечественных и зарубежных авторов, например, Цветков Э.И., Цапенко М.П., Сигалов В.Б., Краузе М., Вошни Э. и др. Настраиваемые адаптивные информационно-измерительные тракты представлены в работах Авдеева Б.Я., Южакова А.А., Моисеева В.С., а проблемы синтеза отражены в работах Кавалерова Г.И., Мандельштама С.М. Известные подходы к проектированию связаны с представлением информационно-измерительного тракта в виде сети массового обслуживания и расчета ее характеристик. Данный подход осложнен наличием множества состояний системы и требует учета влияния соседних фаз. Принятые подходы к созданию таких моделей (Башарин Г.П., Скляревич А.А., Назаров А.А. и др.) требуют проведения сложных процедур расчета. Метод декомпозиции сети массового обслуживания с последующим независимым расчетом фаз (Южаков А.А.) показывает приемлемую точность для практического использования. Упрощенным методом расчета характеристик информационно-измерительного тракта является асимптотический подход (Задорожный В.Н.), основанный на рассмотрении асимптотических значений времени выполнения неприоритетных заявок. Следовательно, необходимо обосновать выбор способа представления аналитической модели информационно-измерительного тракта и определить его временные характеристики в рамках выбранной аналитической модели.

Таким образом, развитие алгоритмов расчета временных характеристик информационно-измерительного тракта является актуальной научной задачей.

Объектом исследования является система технического диагностирования многоканальных электротехнических комплексов.

Предметом исследования являются аналитические модели информационно-измерительного тракта, его временные характеристики и способы диагностирования силовых цепей электротехнических комплексов.

Цель работы – разработка высокопроизводительной системы технического диагностирования многоканальных электротехнических комплексов с пониженным тепловыделением.

Достижение указанной цели обеспечивается постановкой и решением в диссертационной работе следующих **задач**:

1. Создание метода диагностирования силовых цепей электротехнических комплексов, отличающегося пониженным энергопотреблением и тепловыделением за счет введения в структуру системы технического диагностирования дополнительных источников питания пониженного напряжения.

2. Построение гибкой масштабируемой структуры системы технического диагностирования многоканальных электротехнических комплексов.

3. Создание аналитической модели информационно-измерительного тракта системы технического диагностирования в виде сети массового обслуживания, отличающейся наличием нескольких потоков заявок с различными приоритетами обслуживания и критичных к времени обработки. Проверка адекватности предложенной методики расчета временных характеристик информационно-измерительного тракта путем сопоставления аналитической и имитационной моделей.

4. Разработка алгоритма расчета частоты коммутации информационно-измерительного тракта системы диагностирования, как характеристики, оказывающей существенное влияние на производительность системы в целом.

5. Разработка и внедрение системы технического диагностирования многоканальных электротехнических комплексов на одном из предприятий г. Перми.

Научная новизна результатов:

– Предложен метод диагностирования силовых цепей электротехнических комплексов, позволяющий снизить тепловыделение и энергопотребление за счет введения в структуру системы технического диагностирования дополнительных источников питания пониженного напряжения.

– Спроектирована структура системы технического диагностирования многоканальных электротехнических комплексов, позволяющая реализовать новый метод диагностирования силовых цепей электротехнических комплексов, а также масштабировать и модифицировать систему в зависимости от решаемых с ее помощью задач.

– Разработаны аналитическая и имитационная модели информационно-измерительного тракта системы технического диагностирования на основе применения теории систем и сетей массового обслуживания и метода асимптотического анализа систем, обеспечивающего получение расчетных характеристик с низкими вычислительными затратами, учитывающие взаимосвязь временных характеристик информационно-измерительного тракта с характеристиками аппаратных средств, выбранных для построения информационно-измерительного тракта.

– Разработан алгоритм расчета частоты коммутации многоканального информационно-измерительного тракта, основанный на использовании асимптотического анализа системы, что обеспечивает расчет характеристик частоты коммутации с низкими вычислительными затратами и приемлемой точностью.

Основные положения, выносимые на защиту:

– Метод диагностирования силовых цепей электротехнических комплексов, отличающийся пониженным энергопотреблением и тепловыделением.

– Гибкая масштабируемая структура системы технического диагностирования многоканальных электротехнических комплексов, реализующая метод диагностирования силовых цепей электротехнических комплексов.

- Аналитическая и имитационная модели информационно-измерительного тракта системы технического диагностирования на основе применения асимптотического анализа систем и сетей массового обслуживания.
- Алгоритм расчета частоты коммутации многоканального информационно-измерительного тракта, основанный на анализе асимптотических значений характеристик многоканального информационно-измерительного тракта.
- Результаты практической реализации.

Достоверность исследования основывается на результатах имитационного моделирования, данных экспериментальных исследований, практическом применении теоретических исследований, а также корректном использовании известного математического аппарата и методологии общей теории систем, теории систем массового обслуживания, математического моделирования.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в том, что в работе предложена гибкая масштабируемая структура системы технического диагностирования многоканальных электротехнических комплексов, как результат систематизации знаний, полученных в ходе исследований систем диагностирования данного класса.

Предложенный способ диагностирования силовых цепей электротехнических комплексов позволяет снизить энергопотребление системы диагностирования в 4-5 раз.

Созданный алгоритм расчета частоты коммутации многоканального информационно-измерительного тракта, основанный на использовании асимптотического метода расчета, удобен для практического использования и обеспечивает точность определения верхней границы частоты коммутации информационно-измерительного тракта не хуже 10%.

Реализация результатов работы. Результатом работы стала разработка системы технического диагностирования аппаратуры пуска реактивных систем залпового огня, предназначенной для использования в условиях серийного производства. Данный проект был реализован в рамках НИОКР «Создание уникальной экспериментальной базы, систем диагностики, стендового и полигонного оборудования», проводимой совместно Пермским национальным исследовательским политехническим университетом и ОАО «Мотовилихинские заводы» при реализации СТД «Стенд комплексного автоматизированного тестирования» (СКАТ).

Реализованный проект, был отмечен дипломом и признан одним из лучших проектов Национальной научно-технической конференции «ННТК 2012» в 2012 г.

Результаты работы внедрены в производственный процесс и используются на ОАО «Мотовилихинские заводы». На разработки, выполненные в рамках диссертационной работы, получено 3 патента на изобретения.

Апробация работы. Основные теоретические и прикладные результаты диссертационной работы докладывались на научно-технических конференциях: Всероссийской НТК «Основы баллистического проектирования» г. Санкт-Петербург (2012), Пятой всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России» г. Москва (2012), «ННТК 2012» г. Москва (2012), Всероссийской НТК «Проектирование систем вооружения и измерительных комплексов» г. Нижний Тагил (2012), Международной конференции «Информационные технологии в науке, социологии и бизнесе» Украина, Гурзуф 2013.

Публикации. Основные результаты научной работы опубликованы в 13 печатных работах, в том числе 4 статьи в рецензируемых научных изданиях, входящих в

Перечень ВАК, 3 патента, 2 статьи в других изданиях, 4 доклада в материалах всероссийских и международных конференций.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы из 62 наименований и 2^х приложений. Работа представлена на 160 с., в том числе 140 с. основного текста, содержит 29 рисунков и 5 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи работы, раскрыта научная новизна и практическая ценность результатов работы, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе дано описание объекта диагностирования – многоканального электротехнического комплекса, предназначенного для взаимодействия с распределенными исполнительными механизмами в составе подвижных объектов, такими как силовые приводы, гидравлические домкраты, подъемные механизмы самоходных машин.

Каждый исполнительный механизм представляет собой электротехническое устройство, функционирующее в соответствии с заранее определенной программой и формирующее сигнал обратной связи. Управление механизмом осуществляется при помощи передачи по нескольким цепям управляющих сигналов, являющихся последовательностью прямоугольных импульсов определенной длительности и амплитуды. Амплитудно-временные характеристики сигналов в каждой цепи различны. Циклограммы управления исполнительным механизмом в каждом канале управления диагностируемого комплекса могут отличаться друг от друга.

Диагностируемый комплекс осуществляет формирование управляющих сигналов для исполнительного механизма, прием и анализ сигналов обратной связи, передачу на внешнее управляющее устройство результатов анализа сигналов обратной связи. Электротехнический комплекс, структурная схема которого изображена на рис. 1, является двухуровневой системой, управляемой при помощи внешнего управляющего устройства (1).

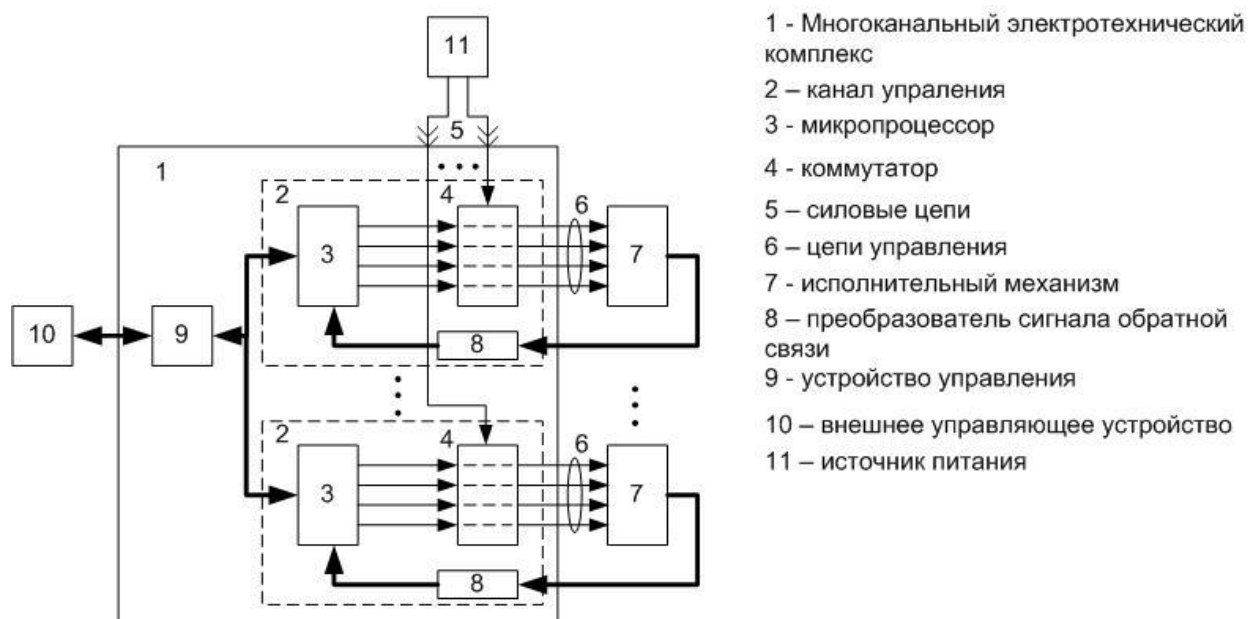


Рис. 1 - Структурная схема многоканального электротехнического комплекса.

Нижний уровень комплекса образован каналами управления (2), число которых определяется количеством подключаемых исполнительных механизмов (7). Канал управления формирует управляющие сигналы для механизма, принимает и анализирует сигнал обратной связи. Каждый канал управления (2) состоит из коммутатора (4), преобразователя сигнала обратной связи (8), цепей управления (6), силовой цепи (5) и микропроцессора (3).

При диагностировании электротехнического комплекса в условиях серийного производства выявляются константные дефекты, появление которых возможно в процессе производства. В соответствии со структурой и алгоритмом функционирования комплекса диагностируются каналы управления исполнительным механизмом и линия передачи данных комплекса в рабочем режиме с использованием системы технического диагностирования. Исполнительные механизмы при диагностировании заменяются имитаторами механизмов, осуществляющими подключение к цепям управления комплекса электрической нагрузки номинальной величины и формирующие сигнал обратной связи в соответствии с алгоритмом работы исполнительного механизма.

В соответствии с описанной в первой главе структурой многоканального электротехнического комплекса и процесса диагностирования определены цели проектирования системы технического диагностирования и задачи, решаемые с ее помощью.

Во второй главе рассматриваются вопросы синтеза структуры системы технического диагностирования и процесса диагностирования многоканальных электротехнических комплексов.

Проектирование системы диагностирования преследует следующие цели: автоматизация процесса испытаний многоканальных электротехнических комплексов, обеспечение сбора, преобразования, обработки, хранения и представления технологической информации об объекте диагностирования, достижение высокой скорости проведения испытаний объекта за счет автоматизации процесса диагностирования, повышение качества выходного контроля за счет автоматизации процесса испытаний.

Основными функциями системы диагностирования многоканальных электротехнических комплексов являются: подключение номинальной нагрузки к цепям управления комплекса, формирование сигнала обратной связи, взаимодействие с комплексом по линии передачи данных, подача питания на комплекс, аналого-цифровое преобразование выходных сигналов комплекса, анализ получаемой в процессе диагностирования информации, отображение информации о наличии дефектов комплекса, хранение полученной в процессе диагностирования информации.

Для осуществления указанных функций была разработана базовая структурная схема системы технического диагностирования, представленная на рис. 2. Нижний уровень системы диагностирования (1) содержит модули диагностирования каналов (5), количество которых равно количеству каналов диагностируемого комплекса, а также модуль управления питанием (6).

Модуль диагностирования канала осуществляет подключение номинальной нагрузки к цепям управления (16) комплекса (17), формирование сигнала обратной связи для канала управления (19), аналого-цифровое преобразование сигналов цепей управления. Модуль диагностирования канала состоит из имитатора исполнительного механизма (11), канального устройства управления (7), многоканального АЦП (8), состоящего из коммутатора сигналов (10) и АЦП (9).

Модуль управления питанием обеспечивает подключение силовых цепей (15) к комплексу. Модуль состоит из коммутатора питания (14), источника питания (13) и устройства управления питанием (12).

К верхнему уровню системы диагностирования (1) относятся линия передачи данных (3), внутренняя шина (4) и рабочая станция (2), имитирующая работу системы управления диагностируемого комплекса.

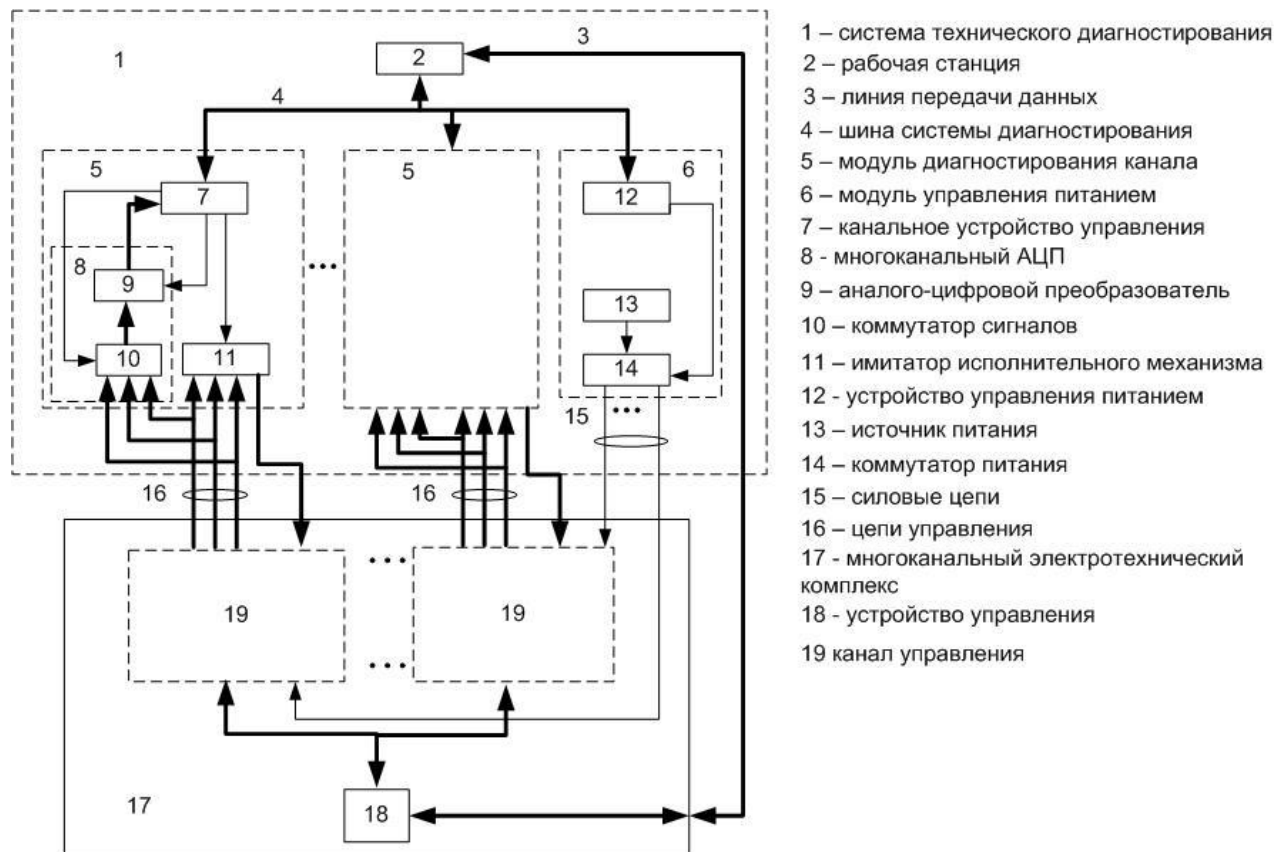


Рис. 2 - Структурная схема системы технического диагностирования многоканального электротехнического комплекса.

Рабочая станция на базе вычислительного комплекса обеспечивает взаимодействие по внутренней шине со всеми модулями диагностирования каналов и модулем управления питанием, анализ, отображение и хранение данных полученных в процессе диагностирования, а также взаимодействие с комплексом по линии передачи данных.

При диагностировании многоканального электротехнического комплекса выявляются константные дефекты, возникающие в процессе производства. Считается, что дефекты могут содержать все составные части комплекса, а также их связи. Каждый дефект проявляется в отказе какой-либо элемента комплекса, либо обрыве связи между элементами.

В соответствии с базовой структурной схемой многоканального электротехнического комплекса были определены индикаторы дефектов комплекса:

1. Отклонение амплитудно-временных характеристик сигналов управления от номинальных значений (значений напряжения в выходных цепях, значений силы тока, изменение длительностей импульсов и моментов их возникновения).

2. Искажение формы сигналов управления.

3. Изменение силы тока, протекающего по силовым цепям комплекса.

4. Отсутствие информационного обмена между диагностируемым комплексом и имитатором внешнего управляющего устройства.

5. Несоответствие принимаемого комплексом сигнала обратной связи передаваемому имитатором исполнительного механизма.

6. Несоответствие выполняемой программы каналом управления требуемой программе управления исполнительным механизмом.

7. Отказ одного из каналов управления ЭСУ.

8. Несоответствие номера включенного канала управления номеру, переданному электротехническим комплексом внешнему управляющему устройству.

Определенные индикаторы дефектов показывают необходимость одновременного измерения амплитудно-временных характеристик сигналов во всех цепях управления каналов управления диагностируемого комплекса.

В процессе диагностирования должны обнаруживаться неисправности каналов управления (19) комплекса, включая неисправности микропроцессоров, коммутаторов и преобразователей сигнала обратной связи, а также неисправности силовых цепей, устройства управления (18) и линии передачи данных.

Важной задачей диагностирования многоканальных электротехнических комплексов является определение качества монтажа силовых цепей комплекса. Качество силовых цепей характеризуется их проводимостью, которая может быть определена путем подключения к ним источника питания с напряжением известной величины и измерении силы тока, протекающего через цепь.

Для решения данной задачи был предложен способ диагностирования силовых цепей, отличающийся пониженным энергопотреблением.

По диагностируемой силовой цепи электротехнического комплекса протекает ток питания, величина которого, равна сумме токов, протекающих по всем цепям управления. Мощность, потребляемая исполнительным механизмом, подключенным к каналу управления, может быть вычислена как:

$$P = I_n * U_n \quad (1)$$

где P – потребляемая мощность, I_n – ток питания, U_n – напряжение, поданное на силовую цепь от источника питания.

Диагностирование силовой цепи электротехнического комплекса осуществляется путем пропускания по ней тока номинальной величины, ограничиваемого балластным сопротивлением, входящим в состав имитатора исполнительного механизма. Если снизить величину балластного сопротивления и одновременно снизить напряжение, поданное на силовую цепь таким образом, чтобы величина тока питания осталась неизменной, согласно формуле (1) снизится потребляемая исполнительным механизмом мощность.

Снижение поданного на силовую цепь напряжения достигается подключением дополнительного источника питания, задающего ток в силовой цепи, с напряжением меньшим, чем у источника питания, осуществляющего питание электротехнического комплекса.

Так как ток питания протекает через цепь питания исполнительного механизма и цепь «общий», то необходимо подключение второго дополнительного источника питания, аналогично первому. Схема подключения источников питания представлена на рис. 3.

При данном подключении образуется контур, включающий в себя дополнительный источник питания (8), силовую цепь, коммутатор с управляемым ключом (4), цепи питания исполнительных механизмов и схему измерения (7) силы

протекающего тока. Данная схема вводится в состав имитатора исполнительного механизма (6).

Предложенный способ позволяет значительно снизить выделение тепла на балластных резисторах R_{c1} и R_{c2} и решить проблему рассеивания тепловой мощности от элементов системы технического диагностирования.

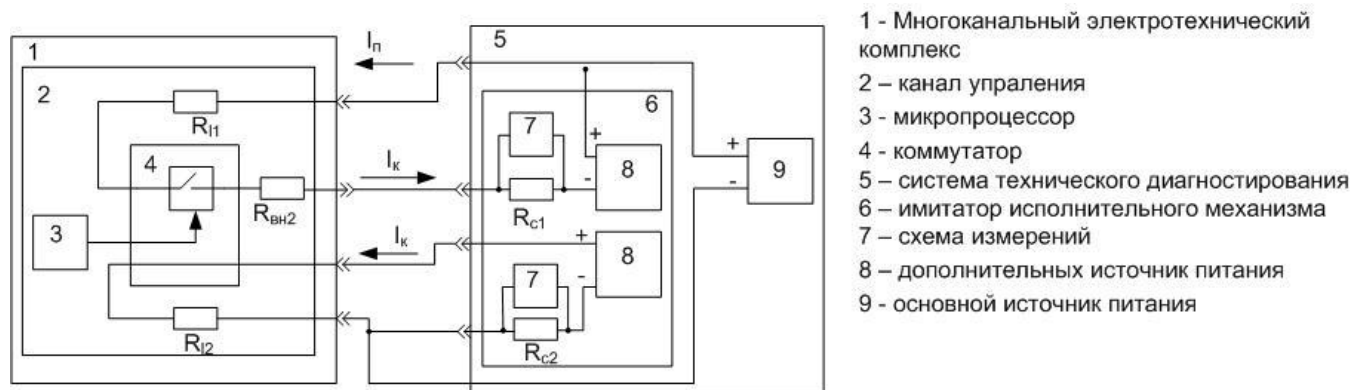


Рис. 3 - Структурная схема подключения дополнительных источников питания в составе системы технического диагностирования.

В третьей главе рассматриваются вопросы моделирования работы и анализа временных характеристик многоканального информационно-измерительного тракта системы технического диагностирования.

Необходимость одновременного измерения всех сигналов цепей управления была определена в главе 2. Таким образом, к производительности информационно-измерительного тракта системы технического диагностирования предъявляются повышенные требования.

В соответствии со структурной схемой, представленной на рис. 2 информационно-измерительный тракт состоит из коммутатора сигналов, на входы которого подаются сигналы от цепей управления комплекса, АЦП, вход которого подключен к выходу коммутатора сигналов, и канального устройства управления, обрабатывающего поступающие на него измерительные и информационно-управляющие заявки, осуществляющего управление АЦП и коммутатором сигналов и передающего измерительную информацию по запросам рабочей станции.

Входы многоканального АЦП подключены к цепям управления диагностируемого электротехнического комплекса. Сигналы в каждой из цепей управления имеют различные амплитудно-временные характеристики. Для обеспечения оптимального распределения ресурса АЦП требуется применять адаптивную коммутацию каналов АЦП.

При смешении входных потоков, поступающих на вход коммутатора сигналов, на его выходе образуется случайный выходной поток, который при количестве каналов от 5 до 20 может быть рассмотрен как пуассоновский поток. Данный поток обладает высокой интенсивностью.

Канальное устройство управления осуществляет адаптивное управление коммутатором сигналов, таким образом, чтобы каждый канал многоканального АЦП проводил дискретизацию сигнала на оптимальной для этого сигнала частоте, что достигается составлением определенного расписания опроса канала.

Составление расписания опроса каналов многоканального АЦП при адаптивной коммутации представляет собой распределение ресурса – частоты коммутации F_0 между

входными каналами многоканального АЦП. Следовательно, частота коммутации является показателем производительности информационно-измерительного тракта, который зависит от выбранных для реализации аппаратных средств.

Информационно-измерительный тракт может быть рассмотрен как сеть массового обслуживания, на входах которой действуют два разнородных случайных потока с разными приоритетами обслуживания: поток информационно-управляющих заявок, получаемых от рабочей станции и поток измерительных заявок, получаемых от АЦП.

В работе была предложена модель информационно-измерительного тракта как состоящего из m n -канальных АЦП и канального устройства управления, на вход которой поступают разнородные потоки заявок с различными приоритетами. Для расчета временных характеристик информационно-измерительного тракта использовался метод, основанный на декомпозиции сети массового обслуживания, независимом расчете фаз и асимптотическом анализе сети.

Потоки заявок, циркулирующие в моделируемом информационно-измерительном тракте, разделены на потоки измерительных заявок, информационно-управляющих заявок и поток фоновых заявок-операций. Под фоновыми заявками-операциями понимается совокупность низкоприоритетных заявок-операций, обслуживающих внутренние процессы канального устройства управления, не критичных к времени выполнения. Таким образом, фоновые заявки-операции могут быть прерваны или отложены без потери качества функционирования тракта.

Главным требованием к функционированию информационно-измерительного тракта является обработка измерительных заявок без потерь. Показано, что для удовлетворения данного требования целесообразно предоставлять высший приоритет измерительным заявкам. Таким образом, гарантируется требуемое время обработки измерительных заявок и снижается риск потерь информации, однако появляется опасность потери управления информационно-измерительным трактом из-за потери информационно-управляющих заявок.

С использованием асимптотического анализа системы показано, что время выполнения низкоприоритетных информационно-управляющих заявок асимптотически сходится к величине:

$$T_{\varphi} \sim \frac{\varphi}{1 - m\tau F_0}, \quad (2)$$

где φ – чистое время обработки информационно-управляющей заявки, m – количество АЦП входящих в состав тракта, τ – время обработки канальным устройством управления измерительной заявки, F_0 – частота коммутации.

Тогда фактическое время обработки фоновых заявок-операций будет сходиться к:

$$T_f \sim \frac{\psi}{1 - m\tau F_0 - \lambda_c \varphi}, \quad (3)$$

где ψ – трудоемкость фоновых заявок-операций, λ_c – интенсивность поступления информационных заявок.

Функционирование информационно-измерительного тракта возможно, если в установившемся режиме работы канальное устройство управления не накапливает в буфере ни информационно-управляющих заявок, ни фоновых заявок-операций. Таким образом, время обработки неприоритетной заявки должно быть меньше определенной для нее величины.

С учетом дисперсии времени обработки информационно-управляющей заявки можно записать условие работоспособности тракта:

$$\frac{\varphi}{1-m\tau F_0} + \sqrt{\frac{D(\varphi)}{(1-m\tau F_0)^2}} < t_d, \quad (4)$$

где t_d – время реакции на информационно-управляющую заявку, $D(\varphi)$ – дисперсия времени обработки информационно-управляющей заявки.

Для фоновых заявок-операций условие работоспособности определяется как:

$$\frac{\psi}{1-m\tau F_0 - \lambda_c \varphi} + \sqrt{\frac{\psi(\lambda_c \varphi + m\tau F_0)^2}{(1-(\lambda_c \varphi + m\tau F_0)^3)(\lambda_c + F_0)}} (C_\lambda^2 + C_\varphi^2) < \frac{1}{F_0}, \quad (5)$$

где C_λ^2 – квадратичный коэффициент вариации интервала поступления приоритетных заявок, C_φ^2 – квадратичный коэффициент вариации длительности обслуживания информационных заявок.

По формулам (4), (5) вычисляются значения частоты коммутации и в качестве максимальной выбирается наименьшая из двух частот, вычисленных по формулам. Полученное значение частоты коммутации является верхней границей частоты коммутации при реализации канального устройства управления с выбранными аппаратными средствами.

Проверки адекватности предложенной аналитической модели информационно-измерительного тракта проводилась при помощи имитационного моделирования системы. В результате моделирования получены результаты, подтверждающие достоверность аналитических расчетов временных характеристик тракта. Статистический анализ с использованием критерия Уилкоксона показал сходимость результатов, полученных на имитационной модели и результатов предложенной аналитической модели не хуже 10 %.

В четвертой главе приведена практическая реализация системы технического диагностирования многоканального электротехнического комплекса на примере системы диагностирования аппаратуры пуска реактивной системы залпового огня. Результаты диссертационной работы были использованы при проектировании системы технического диагностирования «Стенд комплексного автоматизированного тестирования» (СКАТ), предназначенного для проведения приемо-сдаточных, предъявительских и периодических испытаний.

Обоснована многоканальная структура системы технического диагностирования СКАТ, включающая в себя модули имитации реактивных снарядов, модули диагностирования цепей питания, рабочую станцию. Модули имитации реактивных снарядов являются микропроцессорными устройствами, осуществляющими прием управляющих сигналов от канала управления диагностируемого многоканального комплекса, формирование сигнала обратной связи для канала управления, аналого-цифровое преобразование сигналов управления и первичную обработку полученной информации. Модули диагностирования цепей питания многоканального комплекса являются микропроцессорными устройствами, реализующими способ диагностирования цепей питания и аналого-цифровое преобразование сигналов, проходящих по цепям питания.

За счет использования многоканальной структуры системы диагностирования удалось реализовать систему, содержащую 192 аналоговых измерительных канала. Точность определения временных характеристик импульса в каждом измерительном канале составила 4,5%. При частоте дискретизации информационно-измерительного тракта 450 кГц.

Использование результатов диссертационной работы позволило сократить энергопотребление СКАТ с 3,9 кВт до 1 кВт, при диагностировании силовых цепей

номинальным током, равным 10 А. Частота дискретизации информационно-измерительного тракта была повышена с 320 кГц до 450 кГц, что позволило снизить погрешность определения временных характеристик управляющих импульсов диагностируемой аппаратуры с 23 до 4,5 %.

Практическое применение разработанного метода диагностирования силовых цепей многоканального электротехнического комплекса выявило что, на параметры схемы существенное влияние оказывает температурная стабильность параметров радиоэлементов, а также разброс параметров самих радиоэлементов в зависимости от экземпляра. Влияние недостатков компенсируется калибровкой схемы и применением температурной стабилизации устройства. Реализованный в системе СКАТ метод диагностирования цепей питания позволил решить проблему отвода тепла и существенно улучшил тепловой режим работы системы диагностирования.

Экспериментальные исследования и практика внедрения СКАТ в производственный процесс ОАО «Мотовилихинские заводы» подтвердили возможность практической реализации теоретических результатов, полученных в данной работе.

В заключении приведены основные результаты исследований, сформулированы выводы и определены основные направления развития подходов к построению систем технического диагностирования многоканальных электротехнических комплексов.

В приложениях приведены листинг программы моделирования информационно-измерительного тракта, копия акта внедрения результатов работы в производственный процесс ОАО «Мотовилихинские заводы».

Основные результаты работы и выводы.

1. Предложен и реализован метод диагностирования силовых цепей электротехнических комплексов, отличающийся пониженным тепловыделением и энергопотреблением за счет введения в структуру системы диагностирования дополнительных источников питания пониженного напряжения. Показано, что предложенный метод обладает высокой чувствительностью к изменению сопротивления диагностируемой цепи, что позволяет достоверно выявлять дефекты монтажа силовых цепей электротехнических комплексов.

2. Разработана гибкая масштабируемая структура системы технического диагностирования многоканальных электротехнических комплексов, включающая в себя модули диагностирования каналов, модуль управления питанием, рабочую станцию, реализующая метод диагностирования силовых цепей электротехнических комплексов. Показано, что необходимым условием диагностирования электротехнических комплексов является наличие информационно-измерительного тракта в составе системы технического диагностирования.

Отмечено, что предложенная гибкая масштабируемая структура системы диагностирования позволяет изменить количество каналов диагностирования и набор функций, реализуемых каналами без изменения структуры системы.

3. Созданы аналитическая и имитационная модели информационно-измерительного тракта системы технического диагностирования на основе применения теории сетей массового обслуживания и асимптотического анализа системы. Показано, что информационно-измерительный тракт системы диагностирования обрабатывает потоки измерительных заявок и информационно-управляющих, каждый из которых имеет различный приоритет обслуживания. На основании предложенных моделей было определено, что основной характеристикой многоканального информационно-измерительного тракта, определяющей его производительность, является частота коммутации.

4. Предложен и реализован алгоритм расчета частоты коммутации информационно-измерительного тракта, основанный на асимптотическом анализе временных характеристик функционирования информационно-измерительного тракта. Отмечено, что предложенный алгоритм отличается простотой расчета. Сопоставление результатов имитационной и аналитической моделей показало их сходимость. Таким образом, предложенный алгоритм может быть использован при осуществлении инженерных расчетов.

5. Разработана и внедрена на ОАО «Мотовилихинские заводы» система технического диагностирования имеющая 192 аналоговых измерительных канала с тремя группами частот частотами дискретизации сигналов 20, 40 и 80 кГц и погрешностью определения длительностей импульсов не более 4,5 %.

Основные публикации по теме диссертационной работы.

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК России:

1. Оськин К.С., Южаков А.А. Способ диагностики электрических цепей коммутационного оборудования// Оборонная техника – 2013. №1, 2 С. 43 – 47.

2. Оськин, К.С., Южаков, А.А. Диагностика многоканального коммутационного оборудования// Оборонная техника. - 2013. № 5, 6. С. 49-55.

3. Оськин К.С. Определение частоты коммутации микропроцессорной информационно-измерительной системы// Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2; URL:<http://www.science-education.ru/116-12591>

4. Оськин К.С., Южаков А.А. Методика расчета параметров и анализ способа диагностики цепей питания электронной аппаратуры// Образование. Наука. Научные кадры. – 2013. № 5. С. 208 – 211.

Другие публикации, патенты и материалы конференций:

5. Пат. 2490658 Российская Федерация МПК⁶ G01R31/327. Способ имитации токовой нагрузки при испытании аппаратуры, коммутирующей нагрузку / Жучкин А.И., Некрасов В.В., Оськин К.С. [и др.]: заявитель и патентообладатель ОАО «Мотовилихинские заводы»; заявл. 01.03.2012.

6. Пат. 2489725 Российская Федерация МПК⁶ G01R31/327. Устройство для имитации токовой нагрузки при испытании аппаратуры, коммутирующей нагрузку / Жучкин А.И., Некрасов В.В., Оськин К.С. [и др.]: заявитель и патентообладатель ОАО «Мотовилихинские заводы»; заявл. 01.03.2012.

7. Пат. 2509371 Российская Федерация МПК⁶ G01R31/327. Автоматизированная контрольно-проверочная аппаратура для проверки цепей энергетического и информационного взаимодействия многоканальной системы управления/ Жучкин А.И., Некрасов В.В., Оськин К.С. [и др.]: заявитель и патентообладатель ОАО «Мотовилихинские заводы»; заявл. 01.03.2012.

8. Оськин К.С., Южаков А.А. Проектирование современных аппаратурно-программных комплексов автономного тестирования // Будущее машиностроения России: сб. тр. Всерос. конф. Молодых ученых и специалистов. Москва 26-29 сентября 2012 г. / МГТУ им. Баумана. – М.: МГТУ им. Баумана, 2012. – С. 240 – 242.

9. Оськин К.С. Применение программно-аппаратных комплексов при автономной проверке электронного оборудования// Фундаментальные основы баллистического проектирования: III Всероссийская научно-техническая конференция.

Санкт-Петербург, 2 – 6 июля 2012 г.: Сборник материалов. В 2 т. Т.2 / Под ред. Б.Э. Кэрта; Балт. Гос. техн. ун-т. – СПб, 2012. – С. 67 – 72.

10. Оськин К.С., Южаков А.А. Принципы построения систем сбора и обработки экспериментальных данных при испытании объектов, функционирующих в опасных условиях// Системы мониторинга и управления: сб. научных трудов – Пермь: Издательство Пермского государственного технического университета 2011.– С. 73 – 77.

11. Оськин К.С. Реализация многозадачного проекта на микроконтроллере ARM7 без использования операционных систем // Современная электроника – 2012. – №3. С. 78 – 79.

12. Оськин К.С., Южаков А.А. Способ диагностики цепей питания электронного оборудования// Информационные технологии в науке, социологии и бизнесе: труды междунар. конф. - Украина, Крым, Гурзуф. 2013. С. 69-72.

13. Оськин К.С. Имитационное моделирование микроконтроллера с использованием объектно-ориентированных языков высокого уровня// Современная электроника – 2012. - №9. С. 58 – 64.