

С. И. ЧИЧЁВ, В. Ф. КАЛИНИН, Е. И. ГЛИНКИН

**МЕТОДОЛОГИЯ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ
В ФОРМАТЕ НОВЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**



Москва, 2014

УДК 621.382
ББК з279я73
DOI 10.14489/4442-0076-6
Ч-72

Рецензенты:

Кандидат физико-математических наук,
профессор ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
В. М. Иванов

Главный инспектор департамента технической инспекции
ОАО «МРСК Центра», г. Москва
А. П. Перцев

Чичёв С. И., Калинин В. Ф., Глинкин Е. И.

Ч-72 Методология проектирования цифровой подстанции
в формате новых технологий. – Москва: Издательский дом
«Спектр», 2014. – 228 с. – ISBN 978-5-4442-0076-6.

Рассмотрена методология проектирования современной цифровой подстанции Единой национальной электрической сети России в виде: вектора технических требований; оборудования информационного взаимодействия; средств контроля, управления, защиты и измерений; информационных и управляющих систем; архитектуры цифровой подстанции.

Книга предназначена для инженеров и специалистов, занимающихся проектированием, разработкой и эксплуатацией в области автоматизации оперативно-технологического управления электрических сетей, релейной защиты и автоматики подстанций, диагностики и измерений электрооборудования, а также может быть полезна производителям оборудования информационно-технологических систем и студентам высших учебных заведений соответствующих специальностей.

УДК 621.382
ББК з279я73

ISBN 978-5-4442-0076-6

© Чичёв С. И., Калинин В. Ф.,
Глинкин Е. И., 2014

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

- ААС – активно-адаптивная сеть
АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическими процессами (подстанции)
АСТУ – автоматизированная система технологического управления (сетей)
АИИС КУЭ – автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учета электроэнергии
АСККЭ – автоматизированная система контроля качества электроэнергии
ДЦ – диспетчерский центр
ЕНЭС – Единая национальная электрическая сеть
ЕЭС – Единая энергетическая система
ИТС – информационно-технологические системы
ИЭС – интеллектуальная энергосистема
ЛПП – локальные подпроцессы
МЭК – Международная электротехническая комиссия
МЭС – Магистральные электрические сети
ОДУ – Объединенное диспетчерское управление
ОЭС – Объединенная энергетическая система
ПМЭС – предприятия магистральных электрических сетей
ПАК – программно-аппаратный комплекс
ПТС – программно-технические средства
ПКЭ – показатель качества электроэнергии
РДУ – региональное диспетчерское управление
СО – Системный оператор
ССПИ – сеть сбора и передачи информации
ФКП – функциональная координирующая подсистема
ЦПС – цифровая подстанция
ЦУС – центр управления сетей
ЭЭС – электроэнергетическая система
ФСК – федеральная сетевая компания

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях развития электроэнергетики России задача создания цифровой подстанции (ЦПС) является первоочередной в общей концепции развития информационно-технологических (ИТС) и управляющих систем современных подстанций Единой национальной электрической сети (ЕНЭС). В настоящее время методология проектирования ЦПС в филиалах ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС Центра представляет собой перспективную модель объекта энергосистемы, создаваемую на основе рационального использования новых возможностей современных информационных технологий в соответствии с общими тенденциями развития мировой электроэнергетики [1 – 18].

Данная книга предназначена для инженеров и специалистов служб информационно-технологических систем и связи, релейной защиты и автоматики, оборудования и диагностики, технологического присоединения, стратегического развития сети и центра управления сетей филиалов МЭС и предприятий ПМЭС ОАО «ФСК ЕЭС», а также будет полезна производителям оборудования информационно-технологических систем, студентам высших учебных заведений и учащимся среднетехнических заведений, обучающимся по направлению 140400 «Электроэнергетика и электротехника».

Авторы благодарят руководство управления филиала ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС Центра и многих специалистов ОАО «Научно-технический центр электроэнергетики», г. Москва, преподавателей кафедр «Электрооборудование и автоматизация» и «Биомедицинская техника» Тамбовского государственного технического университета за предоставленные материалы, во многом определившие методологию проектирования, изложенную в данной книге. Отдельно хочется отметить рецензентов кандидата физико-математических наук, профессора ФГБОУ ВПО «ТГТУ» В. М. Иванова и главного инспектора департамента технической инспекции ОАО «МРСК Центра», г. Москва, А. П. Перцева за ценные советы методического характера, а также сотрудников Издательско-полиграфического центра ТГТУ за своевременную техническую помощь при подготовке и публикации работы.

1. ВЕКТОР ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ

В первой главе рассмотрены особенности проектирования, принципы построения, информационное взаимодействие и функциональная структура цифровой подстанции Единой национальной электрической сети.

Анализ мирового опыта развития современных подстанций, направленного на создание ЦПС, свидетельствует о том, что в настоящее время существует большое разнообразие точек зрения и подходов к тому, что понимать под термином «цифровая подстанция». Все же в большинстве работ, посвященных данной проблеме, обычно в качестве определяющего признака ЦПС используется ее «тотальная» IT-развитость, т.е. констатация того, что все процессы информационного обмена между элементами программно-аппаратного комплекса ПС осуществляются в цифровом виде. При этом существенно меньшее внимание уделяется вопросам функционального развития всех информационно-технологических систем подстанций и повышения их уровня автоматизации.

1.1. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Согласно [1, 2] проектирование интегрированных систем управления магистральными подстанциями с использованием традиционных методов представляет собой сложную трудоемкую задачу, плохо поддающуюся автоматизации.

В данной методологии используется следующее определение ЦПС [2]: «Это подстанция с высоким уровнем автоматизации управления технологическими процессами, оснащенная развитыми ИТС, управляющими системами и средствами (автоматизированными системами управления технологическими процессами – АСУ ТП, релейной защиты и автоматики – РЗА, противоаварийной автоматики – ПА, коммерческого учета электроэнергии – АИИС КУЭ, регистрации аварийных событий – РАС, определения места повреждения – ОМП, сети сбора и передачи информации – ССПИ и др.), в которой все процессы информационного обмена между элементами ПС, информационного обмена с внешними системами, а также управления работой ПС осуществляются в цифровом виде на основе протоколов Международной электротехнической комиссии – МЭК. При этом и первичное силовое оборудование ЦПС, и компоненты информационно-технологических и управляющих систем должны быть функционально и конструктивно ориентированы на поддержку цифрового обмена данными».

Появление новых международных стандартов и информационных технологий открывает возможности для использования современных подходов к решению этой задачи, позволяя широко использовать методы автоматизированного проектирования. Оптимизация интеграции разнородной информации о нормальных и аварийных режимах энергообъекта в единый информационный комплекс АСУ ТП обеспечивается специальными стандартами МЭК.

Цифровая подстанция представляет собой комплексную систему, включающую в себя силовые и вспомогательные устройства (оборудование), устройства контроля и управления, компьютеры и программное обеспечение.

Успех создания таких систем непосредственно зависит от нашей способности предвидеть их разработку и внедрение описанием всего комплекса проблем, которые необходимо разрешить, указанием того, какие функции системы должны быть автоматизированы, определением точек интерфейса человек-машина и того, как взаимодействует система со своим окружением. Иными словами, этап проектирования системы является критичным для создания высококачественных систем такого рода.

Как правило, процесс создания системы выполняется в виде последовательности следующих фаз:

- анализ – определение того, что система будет делать;
- проектирование – определение подсистем и их взаимодействие;
- реализация – разработка подсистем по отдельности, объединение-соединение подсистем в единое целое;
- тестирование – проверка работы системы;
- установка – введение системы в действие;
- автономные и комплексные испытания (полигонные и объектные);
- опытная эксплуатация системы;
- функционирование – использование системы, введенной в промышленную эксплуатацию;
- сопровождение системы в процессе ее эксплуатации.

Эта последовательность всегда выполняется итерационно, потому что разрабатываемая система полностью никогда не удовлетворяет конечным требованиям из-за трудности формулирования этих требований в начале работы и из-за изменений требований в процессе работы.

Как известно, эксплуатационные расходы после сдачи сложных комплексных систем могут существенно превышать расходы на их создание из-за низкого качества исходно созданной системы.

Исследования показали [2], что большой процент ошибок возникает в процессе анализа и проектирования, гораздо меньше их допускается при реализации и тестировании, при этом цена (временная и ресурсная) обнаружения и исправления ошибок становится все выше и выше на более поздних стадиях проекта. Так, исправление ошибки на стадии проектирования стоит в 2 раза, на стадии тестирования – в 10 раз, а на стадии эксплуатации системы – в 100 раз дороже, чем на стадии анализа.

На обнаружение ошибок, допущенных на этапе анализа и проектирования, расходуется примерно в 2 раза больше времени, а на их исправление – примерно в 5 раз больше, чем на ошибки, допущенные на более поздних стадиях. Кроме того, ошибки анализа и проектирования часто обнаруживаются уже после сдачи системы в эксплуатацию.

В настоящее время с целью решения ключевых проблем создания сложных систем используются специальные методы, основанные на системном проектировании [15 – 18]. Системное проектирование – это дисциплина, определяющая подсистемы, компоненты и способы их соединения, задающая ограничения, при которых система должна функционировать, выбирающая наиболее эффективное сочетание элементов для реализации системы.

Методы системного проектирования на начальных этапах создания системы позволяют лучше понять рассматриваемую проблему, что сокращает затраты на создание и последующую эксплуатацию системы, повышает ее надежность. Применение таких методов позволяет уменьшить количество дорогостоящих ошибок за счет структуризации на ранних этапах проектирования системы и создает надежную основу для перехода к рабочему проектированию системы.

Одна из самых известных и широко используемых систем проектирования – технология структурного анализа и проектирования SADT (Structured Analysis and Design Technique). Эта система положена в основу интегрированного компьютеризированного производства IDEF – ICAM Definition (Integrated Computer Aided Manufacturing) и использует нотацию графического моделирования IDEF0 для создания функциональной модели, отображающей структуру и функции системы, а также потоки информации, связывающие эти функции по методологии структурного анализа и проектирования [2].

Описание системы с помощью SADT называется моделью. В SADT-моделях используются как естественный, так и графический языки. Графический язык SADT обеспечивает структуру и точную семантику естественному языку модели, организуя естественный язык вполне определенным и однозначным образом. С точки зрения SADT модель может быть сосредоточена либо на функциях системы, либо

на ее объектах. SADT-модели, ориентированные на функции, принято называть функциональными моделями, а ориентированные на объекты системы – моделями данных.

Функциональная модель представляет с требуемой степенью детализации систему функций, которые в свою очередь отражают свои взаимоотношения через объекты системы. Модели данных дуальны к функциональным моделям и представляют собой подробное описание объектов системы, связанных системными функциями. Полная методология SADT поддерживает создание множества моделей для более точного описания сложной системы.

SADT-модель может дать полное, точное и адекватное описание системы, имеющее конкретное назначение. Это назначение, называемое целью модели, вытекает из формального определения модели в SADT: «М есть модель системы S, если M может быть использована для получения ответов на вопросы относительно S с точностью A».

Таким образом, целью модели является получение ответов на некоторую совокупность вопросов. Эти вопросы неявно присутствуют (подразумеваются) в процессе анализа и, следовательно, руководят созданием модели и направляют его. Это означает, что сама модель должна будет дать ответы на эти вопросы с заданной степенью точности. В основе IDEF0 лежит понятие блока, который отображает некоторый процесс. Четыре стороны блока играют разную роль: левая сторона имеет значение «входа», правая – «выхода», верхняя – «управления», нижняя – «механизма» (рис. 1.1) [2].

На рисунке 1.2 приведен пример многопоточного распределения проектных работ, а на рис. 1.3 – пример распределения потоков проектирования для одной из функций ЦПС – управления подстанцией со стороны диспетчерского центра энергосистемы [2].

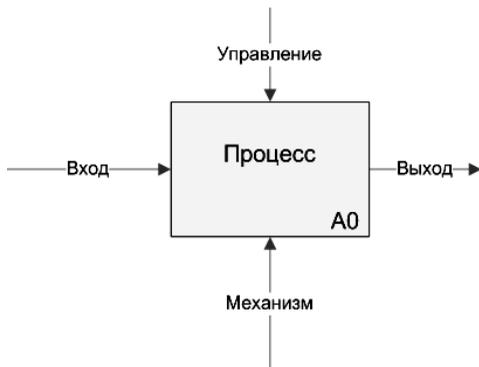


Рис. 1.1. Блок процесса в представлении IDEF0

Таким образом, предлагаемое использование методологии системного проектирования для создания ЦПС позволит:

- повысить качество проектирования;
- сократить время проектирования за счет выполнения проектирования параллельными потоками силами нескольких групп специализированных разработчиков;
- обеспечить получение репрезентативных результатов на промежуточных стадиях разработки макета;
- упростить переход от макета к прототипу и дальнейшее масштабирование и параметрирование ЦПС.

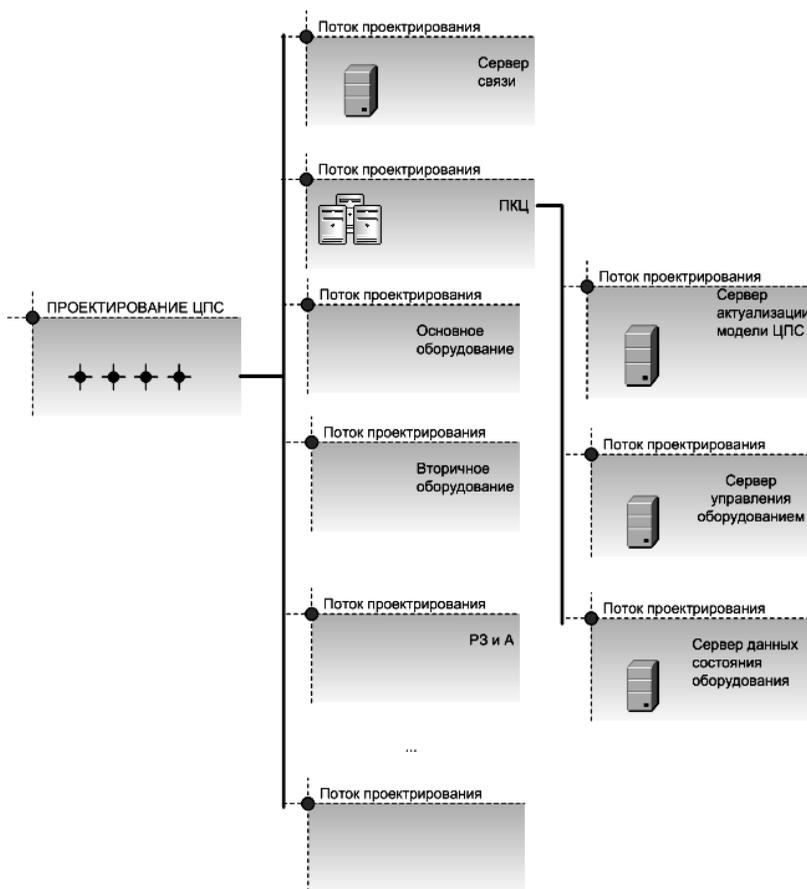
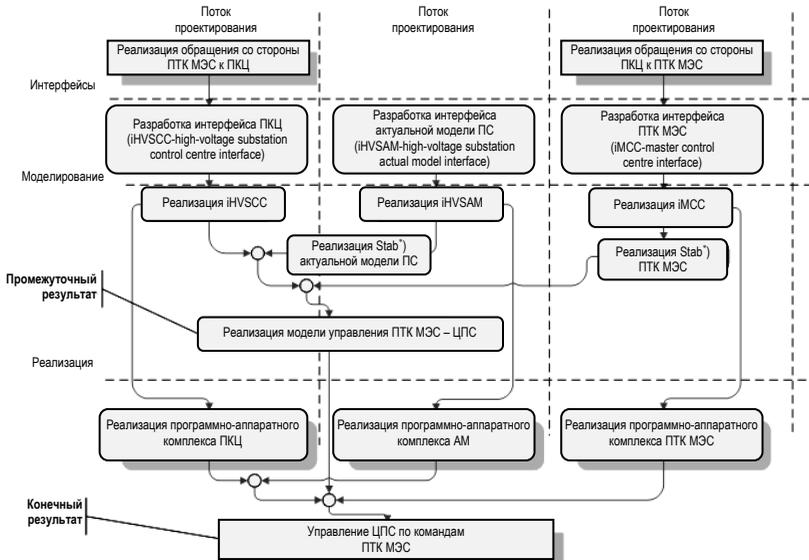


Рис. 1.2. Пример многопоточного распределения проектных работ



Управление «сверху вниз»:

ПТК МЭС использует интерфейсы ПТК ЦПС для получения данных и выдачи команд.

ПТК ЦПС использует интерфейс ПТК МЭС для отправки квитации исполнения команд.

*) Stab (заглушка) – ПО имитатора объекта для целей отладки системы на стадии разработки)

Рис. 1.3. Пример проектирования функции управления ЦПС со стороны диспетчерского центра энергосистемы

1.1.1. Цели. Формирование целей создания цифровой подстанции должно производиться с учетом экономической целесообразности, а базовой экономической целью ее создания являются снижение затрат на выполнение основной технологической функции ЦПС – передачи, преобразования и распределения электрической энергии – и, как следствие, повышение доходов компании ОАО «ФСК ЕЭС».

В рамках формирования задач ЦПС необходимо провести детализацию вышеуказанной общей экономической цели с учетом ее специфики и потенциальных возможностей. Например: повышение качества, надежности функционирования и эксплуатации, снижение затрат на эксплуатационное обслуживание, а также в целом обеспечение экономической безопасности филиалов и предприятий ОАО «ФСК ЕЭС».

В настоящее время необходимость повышения качества функционирования и эксплуатации ПС обусловлена, собственно, двумя причинами: во-первых, повышением требований к ним (растут требования рынка, появляются новые бизнес-процессы и организационные структуры, требующие более полной и оперативной информации и т.д.); во-вторых, физическим и моральным старением ее основных фондов.

В связи с этим перед ЦПС ставятся следующие общие цели повышения качества функционирования и эксплуатации ПС:

- замена оборудования с целью снижения стоимости модернизации или увеличение срока его эксплуатации без снижения качества функционирования и эксплуатации ПС;
- расширение функциональных возможностей технологических подсистем для исключения необходимости в модернизации при появлении новых функциональных задач.

Следует отметить, что модернизация оборудования ЦПС связана со следующими проблемами:

- высокая стоимость нового оборудования и необходимость решения по его размещению и электропитанию, электромагнитной совместимости и подключению коммуникационных интерфейсов;
- требование информационной совместимости и переконфигурирования устройств, а также обучения персонала в случае их замены.

Поэтому в рамках формирования цели снижения стоимости модернизации подстанции должны быть сформированы задачи, позволяющие устранить вышеуказанные проблемы. Создание цифровых подстанций не позволит полностью устранить необходимость в их модернизации, но значительно снизит количество «вынужденных» модернизаций, которые становятся таковыми, когда старое оборудование не выполняет требуемые функции, либо вышел моральный или физический срок его эксплуатации. Повышение качества функционирования и эксплуатации ПС связано с увеличением количества передаваемой и распределяемой электроэнергии, что достигается за счет повышения эффективности использования основного силового оборудования ПС и линий электропередач, а также своевременной и обоснованной их замены.

Повышение надежности ЦПС связано с немаловажной статьей расходов компании в случае ликвидации последствий аварий или принятия противоаварийных мер, отсюда и повышенные требования к оборудованию ЦПС: понижение вероятности, внезапности и «цепочки» отказов, а также снижение стоимости от ущерба отказа/аварии и решение задач по обеспечению его надежности.

Снижение эксплуатационных затрат ЦПС связано с будущим высоким уровнем автоматизации и надежности. К таковым относятся: снижение затрат на эксплуатацию оборудования (уменьшение объемов технического обслуживания, увеличение межремонтного периода и переход к системе обслуживания электрооборудования по состоянию) и обучение персонала.

Обеспечение экономической безопасности компании связано с достижением следующих целей:

1) независимость от решения поставщика оборудования;

2) свобода выбора поставщика компонентов/решений в рамках решения отдельных технологических задач компании.

1.1.2. Задачи. Задачей ЦПС является *унификация информационных протоколов* за счет минимизации количества применяемых протоколов и их универсализации, а также расширения функциональных задач, реализуемых каждым из протоколов.

Следует отметить, что унификация информационных протоколов сама по себе не гарантирует ни полной взаимозаменяемости, ни способности оборудования различных производителей к взаимодействию. Однако позволяет значительно снизить затраты на приобретение нового оборудования при модернизации за счет отсутствия необходимости затрат на обеспечение требуемых интерфейсов.

Обеспечение оборудования ИТС способности к взаимодействию – есть условие или свойство двух или нескольких устройств одного либо различных производителей обмениваться информацией и использовать эту информацию для корректного выполнения собственных технологических функций.

Снижение влияния «человеческого фактора» связано с унификацией средств информационного взаимодействия оперативного и ремонтного персонала с программно-техническими средствами ЦПС: инженерное программное обеспечение, а также стандартизованный человеко-машинный интерфейс приборов и программ.

Сокращение кабельного хозяйства ЦПС связано с сокращением физических пар проводов, обычно используемых в аналоговых каналах традиционной подстанции.

Повышение контроля и диагностики каналов сбора, передачи информации и управления. В отличие от традиционной подстанции, на которой необходимо проводить трудоемкую работу по проверке, обнаружению и устранению повреждений во вторичных цепях, в рамках ЦПС данная задача решается кардинальным способом за счет унификации оборудования каналов и внедрения универсальных алгоритмов мониторинга и диагностики их состояния.

Снижение метрологических потерь во вторичных цепях происходит за счет передачи данных в цифровом виде, позволяющей исключить зависимость потерь от сечения, длины кабеля и точности работы первичных измерительных преобразователей.

Упрощение способов тиражирования первичной информации в ЦПС объясняется снятием метрологической проблемы (точности)

при подключении новых потребителей данных к вторичным цепям измерительных трансформаторов тока, в отличие от традиционной подстанции, использующей при тиражировании аналоговую и дискретную информацию.

Упрощение проверки правильности функционирования устройств с помощью ПАК ЦПС происходит за счет периодической и непрерывной комплексной проверки его устройств, в том числе и удаленной. Подобные функции не возможны для многих вторичных устройств, применяемых на традиционной подстанции, например устройств РЗА и ПА, для которых периодическая проверка является обязательной. Подобная проверка возможна часто с применением специализированного и дорогостоящего оборудования.

Применение устройств с обновляемым программным обеспечением позволяет устранить проблему риска, связанного с переходом к технологии создания именно цифровой подстанции, созданная информационная система которой может быстро морально устареть из-за аппаратной части устройств и не отвечать требованиям новых стандартов. Вместе с этим, следует избегать возможности легкого обновления программного обеспечения, так как могут появиться в эксплуатации программно-технические средства с несанкционированным ПО.

Унификация механизмов конфигурирования является ресурсоемкой и дорогостоящей задачей, требующей оплаты высококвалифицированных работников при создании ЦПС. Поэтому упрощение процессов конфигурирования ПАК – важнейшая задача.

Формирование единой системы диагностики и переход к выполнению удаленной функциональной диагностики ПАК ЦПС позволяет оперативно фиксировать сбои и предупреждать о них, что значительно повышает надежность системы. В рамках создания ЦПС возможен и должен быть осуществлен переход на комплексную систему функциональной диагностики, сочетающую в себе как внешние по отношению к ПАК ЦПС (автономные, в том числе удаленные), так и внутренние средства функциональной диагностики, выполняемой на базе механизмов тестовых сообщений, предусмотренных в ИЕС 61850.

Обеспечение информационной безопасности подстанции как энергообъекта необходимо в первую очередь из-за перехода на режим функционирования без постоянного дежурства.

Переход к необслуживаемым подстанциям позволяет значительно снизить эксплуатационные расходы на обслуживающий персонал, так как сокращается персонал нижнего уровня, а управление осуществляет персонал верхнего уровня с более высокой квалификацией.

1.2. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ

1.2.1. Общие принципы. Архитектура системы управления программно-аппаратного комплекса ЦПС строится на иерархическом принципе с выделением трех основных уровней (рис. 1.4) [17]: нижний (технологического процесса); средний (присоединения ячейки); верхний (общего подстанционного).

1.2.2. Базовые принципы. Включают в себя пять групп принципов [2]: *надежности, безопасности, единства измерений, унификации и сохранения инвестиций.*

Четыре из данных групп также включают в себя несколько базовых принципов: надежность – гарантированное время передачи сигналов, функциональное резервирование, самодиагностика вторичного оборудования ПС и каналов передачи данных; безопасность – электромагнитная, информационная; единство измерений – единство точек измерения, синхронность операций и измерений и снижение метрологических потерь; унификация – конфигурирования, протоколов, описания функций и аппаратной платформы.

Рассмотрим подробнее базовые принципы вышеуказанных групп.

Гарантированное время передачи сигналов. Время передачи сигналов (команд аварийного отключения и управления, сигналов блокировки, синхронизации времени и данных измерений и т.п.) между источником и получателем в пределах подстанции должно быть строго регламентировано в соответствии с IEC 61850-5 [2].

Функциональное резервирование в рамках ЦПС – обязательно.

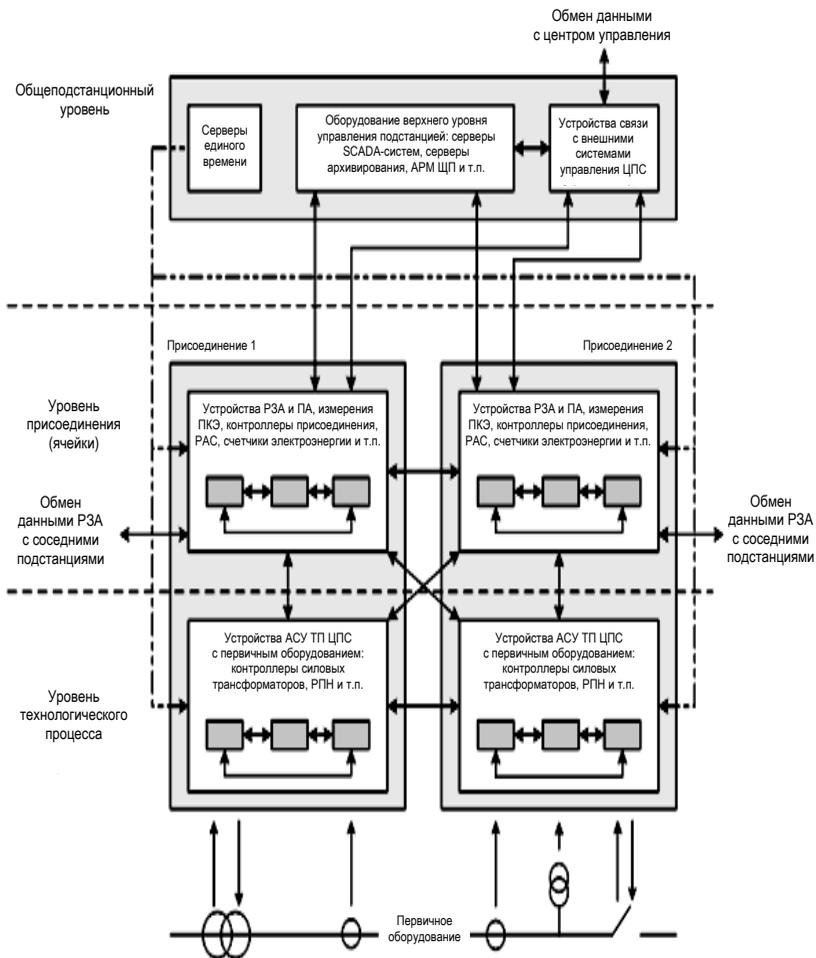
Самодиагностика информационных кабельных линий – обязательна и должна обеспечиваться, как минимум на канальном уровне сети Ethernet, так как использование исключительно сетей Ethernet является необходимой частью реализации другого основного принципа построения ЦПС – унификации аппаратной платформы.

Принципы электромагнитной безопасности включают в себя следующие требования обеспечений:

- электромагнитной совместимости вторичного оборудования;
- электробезопасности персонала.

Информационная безопасность ЦПС обеспечивает выполнение основных технологических операций, а также функций РЗА и ПА, автоматического и оперативного управления при следующих угрозах:

- несанкционированный доступ к выполнению технологических операций на подстанции лицам, не имеющим прав на выполнение указанных операций;
- ошибка персонала, в том числе при конфигурировании оборудования ЦПС;



-----> Передача сигналов синхронного времени

————> Информационные связи между оборудованием: передача команд, данных измерений, сигналов блокировки и т.п.

Рис. 1.4. Архитектуры программно-аппаратного комплекса цифровой подстанции

– различные информационные воздействия, имеющие целью нарушение нормального режима работы подстанции (вредоносное ПО, хакерские атаки) и др.

Принципы обеспечения единства измерений. Единство точек измерений. В соответствии с IEC 61850-7-2 (Ed 2.0) [2] количество первичных измерительных преобразователей (датчиков), применяемых в измерительных комплексах на подстанции (точек измерения), должно быть сведено к минимуму. Измерения электрических величин на отдельно взятом присоединении подстанции по одной фазе должны обеспечиваться минимальным количеством первичных измерительных преобразователей, вторичных обмоток измерительных трансформаторов и т.п., но без потери требуемой надежности системы измерений для всех функциональных подсистем: РЗА и ПА; измерения и управления; учета электроэнергии и др.

Синхронность операций и измерений. Все операции на подстанции и измерения должны выполняться с привязкой к единому времени подстанции, которое обеспечивается согласно требованиям IEC 61850-5 [2]. Время выполнения на подстанции операций и событий, критических с точки зрения влияния на основные технологические функции подстанции, должно фиксироваться. Точность фиксации времени – также в соответствии с требованиями IEC 61850-5 [2].

Унификация конфигурирования оборудования (устройств IED – интеллектуальные электронные устройства) в ЦПС должна обеспечиваться на базе применения языка SCL (Substation Configuration description Language – язык конфигурирования подстанции), определенного стандартом IEC 61850-6 [2]. Процесс конфигурирования устройств IED в ЦПС осуществляется с обязательным применением компонента программного обеспечения, обеспечивающего конфигурирование подстанции как единого согласованного набора устройств IED («System configuration tool» – «Инструмент конфигурации системы»), независимого от типов устройств, марок или производителей. Базой для конфигурирования служат исходные данные функциональных и коммуникационных возможностей устройств IED и спецификации подстанции.

Унификация протоколов [2]. В соответствии с IEC 61850-8.1 передача команд аварийного отключения, сигналов блокировки высоковольтных коммутационных аппаратов и т.п. с допустимым временем доставки не более 10 мс должна осуществляться с применением механизма GOOSE-сообщений (Generic Object Oriented Substation Event – служба «мгновенной» передачи сообщений). Передача данных измерений мгновенных значений тока и напряжения от устройств связи АСУ ТП ЦПС с первичным оборудованием (точек первичного измере-

ния) до интеллектуальных устройств IED нижнего уровня управления ЦПС должна осуществляться по протоколу IEC 61850-9.2 или по протоколу IEC 61850-9.2 LE. При необходимости в обоснованных случаях допускается передача данных измерений по стандартам IEC 60044-7, IEC 60044-8 и IEEE C37.92. Синхронизация календарного времени в оборудовании ЦПС должна осуществляться с применением протокола SNTP (Simple Network Time Protocol – протокол синхронизации времени по компьютерной сети), а инструментальная синхронизация – по протоколу PTP (Precision Time Protocol – протокол синхронизации времени, развитие протокола NTP). В обоснованных случаях допускается обеспечивать инструментальную синхронизацию в оборудовании ЦПС на основе следующих механизмов передачи сигналов синхронизации. Например: 1PPS (секундная метка – импульсный сигнал прямоугольной формы, положительной полярности, длительностью 2 мкс, периодом повторения 1 с) в соответствии с IEC 60044-8 раздела «Instrument transformers – Part 8: Electronic current transformers» – Измерительные трансформаторы – Часть 8: Электронные трансформаторы тока и формата IRIG-B («IRIG Serial Time Code Formats» – формат последовательного временного кода). Допускается обеспечивать инструментальную синхронизацию в оборудовании ЦПС на основе следующих механизмов передачи сигналов синхронизации: 1PPS в соответствии с IEC 60044-8 и формата IRIG-B.

Унификация описания функций [2]. Каждая из функций АСУ ТП ЦПС (защита, автоматика, управление и т.п.) должна рассматриваться набором логических узлов, соответствующих стандарту IEC 61850-7-4 раздела «Communication networks and systems for power utility automation – Part 7-4: Basic communication structure – Compatible logical node classes and data object classes» – Сети связи и системы электроснабжения автоматизации – Часть 7-4: Основные структуры коммуникации – Совместимый логический узел классов и объектов данных классов.

1.3. ИНФОРМАЦИОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ И СТРУКТУРА

1.3.1. Технологические функции подразделений ОАО «ФСК ЕЭС», поддерживаемые ПАК ЦПС. Программно-аппаратные комплексы создаваемых цифровых подстанций ЕНЭС должны обеспечивать поддержку основных технологических функций подразделений ОАО «ФСК ЕЭС», выполняемых в процессе управления функционированием и эксплуатацией электрических сетей. Прежде всего, должны поддерживаться выполняемые при оперативно-диспетчерском и технологическом управлении сетями основные *операционные* (в управлении диспетчера) и *неоперационные* (в ведении диспетчера) функции ЦУС ФСК [15].

Определим перечни операционных и неоперационных функций (связанные и не связанные с непосредственным управлением электроэнергетическим режимом), выполнение которых может быть реализовано средствами ПАК ЦПС полностью или частично.

Операционные функции:

– поддержка: процесса оперативных переключений с контролем выполнения проверочных операций; вывода оборудования в ремонт и ввод в работу по типовым программам переключений; проверки бланков переключений, составленных оперативным персоналом, перед производством сложных переключений по изменению эксплуатационного состояния или режима работы оборудования подстанции; уровней напряжения в контрольных пунктах сети имеющимися средствами регулирования напряжения;

– выполнение команд: диспетчерского центра на изменение эксплуатационного состояния и режима работы; переключений на оборудовании с помощью устройств телеуправления;

– подготовка технологических режимов, обеспечивающих возможность вывода оборудования в ремонт;

– управление средствами автоматической частотной разгрузки – АЧР (устройствами частотного автоматического повторного включения – ЧАПВ) и системой автоматического ограничения напряжения – САОН;

– реализация ограничений и временных отключений потребителей электрической энергии по команде диспетчера соответствующего диспетчерского центра.

Неоперационные функции:

– поддержка: проработки и формирования заявок на вывод из работы ЛЭП, оборудования и устройств объектов электросетевого хозяйства; разработки и организации своевременного пересмотра схем (ремонтных и нормального режима) подстанций; разработки общей схемы сети, исполнительных схем устройств с использованием актуализируемой модели подстанции; разработки, своевременного пересмотра и согласования с соответствующим диспетчерским центром типовых программ (бланков) переключений. А также распределения объемов АЧР, ЧАПВ и САОН в соответствии с заданными СО объемами, уставками и указаниями по их размещению; оперативного прогноза и контроля электропотребления потребителей; выполнения расчетов балансов и фактических потерь электроэнергии в оборудовании и ЛЭП, организации сбора данных по учету электроэнергии, координации и контроля сроков проведения ремонтных работ на ЛЭП, оборудовании и устройствах объектов электросетевого хозяйства;

- сбор и оперативный анализ первичной информации действия защит;
- контроль загрузки работающего оборудования, фактического выполнения заданного объема АЧР (ЧАПВ), САОН, правильности действия РЗА;
- регистрация всех обстоятельств возникновения технологического отключения, оперативных переговоров, расчета места повреждения на ЛЭП;
- мониторинг состояния основной электрической сети; мониторинг и анализ технологических отключений, повреждаемости оборудования, качества электроэнергии и анализ причин отклонения от нормированных величин.

Функции взаимодействия с субъектами электроэнергетики – подразделений ФСК (МЭС, ЦУС, ПМЭС) с филиалами СО ЕЭС (ОДУ, РДУ), электростанциями и крупными потребителями электроэнергии:

- поддержка: формирования фрагмента расчетной электрической схемы ОЭС по территории; анализа электрических режимов; эксплуатационного обслуживания устройств РЗА и ПА в соответствии с действующими нормативно-техническими документами;
- мониторинг эксплуатации и функционирования устройств РЗА и ПА;
- коммерческий учет электроэнергии, включая контроль качества электроэнергии;
- организация контрольных измерений потокораспределения, нагрузок и уровней напряжения в электрических сетях;
- осуществление замеров, необходимых для управления режимами работы объектов.

1.3.2. Процессы решения функциональных задач управления. Система передачи и распределения электроэнергии рассматривается как топологическая сеть, состоящая из линий электропередачи и подстанций, обеспечивающих связь узлов генерации с узлами потребления. Подстанции являются узлами сети, в которых сосредоточено оборудование преобразования уровней напряжения, коммутационное оборудование, средства компенсации реактивной мощности, регулирования уровня напряжения и прочие средства, обеспечивающие управление передачей электроэнергии в соответствии с заданным режимом работы электроэнергетической системы (ЭЭС). Координированная работа подстанций обеспечивается наличием иерархической системы центров управления (ДЦ и ЦУС), осуществляющих управление процессами функционирования и эксплуатации электрических сетей ре-

гиона, ОЭС и ЕЭС в целом. Функциональная диаграмма такой структуры представлена на рис. 1.5 [2].

Каждая из подстанций предоставляет свои средства для участия в обеспечении процессов функционирования ЕЭС в целом, что иллюстрируется укрупненной диаграммой, приведенной на рис. 1.6 [2].

Гармоничное выполнение многосвязных процессов работы ЭЭС обеспечивается рациональным распределением функциональных задач по соответствующим уровням иерархии. При этом часть задач решается непосредственно на соответствующем уровне иерархии с использованием исходной информации, поступающей с нижнего уровня, выполнение другой части задач делегируется на нижестоящий уровень. Некоторые задачи могут решаться посредством их декомпозиции по нескольким последовательным иерархическим уровням.

В настоящее время ПС традиционно имеют весьма ограниченные возможности участия в процессе решения задач управления, в основном, предоставляя свои средства в качестве источников исходной информации и в качестве исполнительных органов управления.

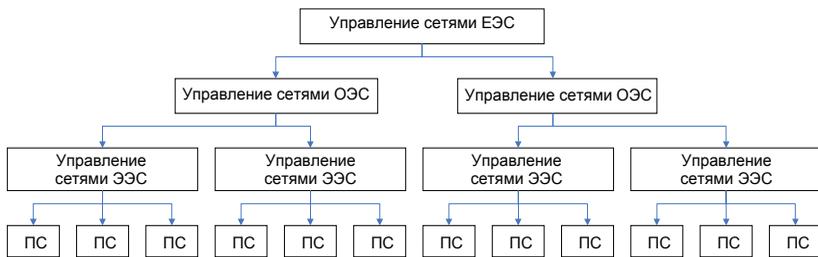


Рис. 1.5. Функциональная диаграмма структуры управления подстанциями

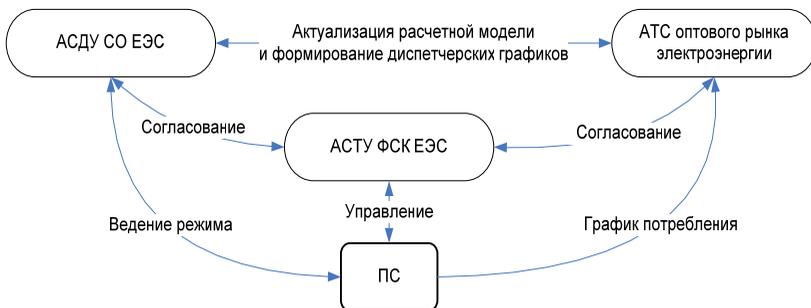


Рис. 1.6. Участие подстанции в обеспечении процессов функционирования энергосистемы

При этом совокупность данных, которые в настоящее время поступают с подстанций, ориентированы на поддержку решения технологических задач центров управления сетями, а также задач взаимного обмена информацией с ДЦ СО (РДУ, ОДУ), электростанциями, крупными потребителями. Разумеется, при создании ЦПС указанная совокупность технологической информации будет дополняться другими полезными данными, отсутствующими в настоящее время.

При сохранении существующих в настоящее время подходов к построению структур иерархических систем технологического управления сетями будут сохраняться и усугубляться проблемы, связанные с необходимостью поднимать практически всю информацию с подстанций на верхний уровень – уровень выполнения соответствующего процесса, поскольку для выполнения каждого процесса необходимо либо хранить всю поступившую ранее информацию, либо каждый раз выполнять запрос на передачу полного пакета актуальной на данный момент информации от каждой подстанции (рис. 1.7) [2].

Объем такого обмена весьма большой, а степень полезного использования этого потока информации может оказаться малой.

Рассмотрим более эффективный подход к использованию возможностей цифровой подстанции по участию в иерархии технологического управления. Наличие большого объема локальной технологической информации (оперативной и неоперативной) и возможность использования собственных вычислительных мощностей для выполнения предварительной обработки и сохранения этой информации создают предпосылки для организации распределенного решения различных функциональных задач. При этом отпадает необходимость передачи значительного объема информации, вместо которой должны передаваться преимущественно результаты решения соответствующих задач.

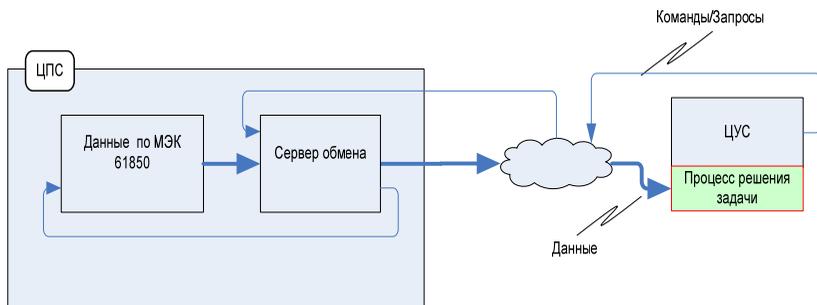


Рис. 1.7. Организация обмена информацией с цифровой подстанцией

Декомпозиция процесса решения задачи создает возможность распределенного выполнения части расчетов «внизу», что должно привести к снижению объема потока информации между ЦПС и центрами управления, а также к повышению скорости выполнения и достоверности результатов решения задач. Такой подход позволяет распределить цели и задачи между уровнями иерархии системы управления ЭЭС. Локальные задачи решаются на нижнем уровне иерархии, глобальные цели достигаются на верхних уровнях иерархии. При этом решение глобальной задачи использует результаты решения локальных задач.

В настоящее время широкое развитие получают распределенные интеллектуальные системы на основе агентов (мультиагентные системы). Такой подход может быть эффективно использован для решения рассматриваемых задач и в конечном итоге позволяет сформировать глобальное «умное» информационное пространство для интеллектуальных энергосистем с активно-адаптивной сетью (ИЭС ААС).

Если некоторая функция (процесс) в ЦУС может быть выполнена посредством реализации соответствующих процессов на каждой из ЦПС с последующей сборкой результатов в ЦУС, то такие подпроцессы будем далее называть локальными подпроцессами (ЛПП).

После выполнения ЛПП на каждой из ЦПС и передачи в центр управления соответствующих результатов, средства центра управления выполняют сборку результатов, получают решение глобальной задачи и, при необходимости, направляют каждой ЦПС команды управления (в том числе коррекции уставок ЛПП). Выполнение соответствующей функции в ЦУС будем далее называть «Сборка и коррекция процесса» (СКП). Информация, которая не используется в ЛПП, должна будет, разумеется, передаваться на верхний уровень непосредственно. Структура такой системы в части распределенного решения задач иллюстрируется рис. 1.8 [2].

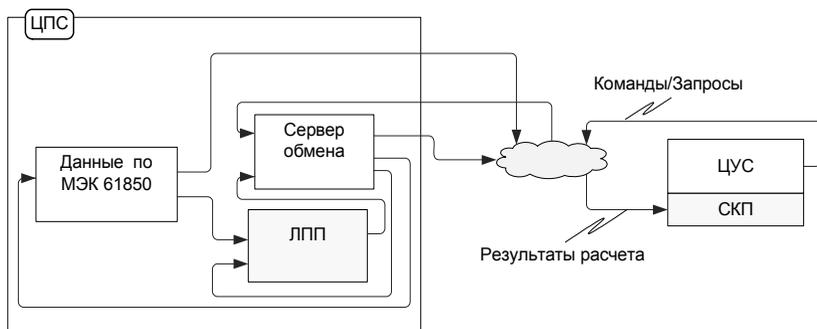


Рис. 1.8. Распределенная система решения функциональных задач

Таким образом, в качестве одной из целей создания цифровой подстанции целесообразно рассматривать расширение функциональных возможностей этого уровня иерархии управления, в частности обеспечение возможности переноса на этот уровень функциональности, которая сейчас реализуется на уровне региональных центров управления. Такое решение позволит более эффективно решать ряд задач управления, рассмотренных в следующем подразделе.

1.3.3. Декомпозиция решения системных автоматизируемых задач и делегирование их выполнения на уровень ЦПС. Основные функции, выполняемые центрами управления сетями в соответствии с руководящими документами ФСК и Системного оператора, можно проанализировать с точки зрения степени целесообразного участия ПАК, устанавливаемых на подстанциях и в ЦУС, в решении задач их автоматизированной поддержки. Такая поддержка может варьироваться от простого формирования и передачи с подстанции в ЦУС комплекта необходимых текущих данных, характеризующих режим и состояние оборудования, – с последующим решением всех задач их обработки, анализа и использования в центрах управления – до делегирования значительной части процессов их обработки и анализа на уровень ПАК ЦПС.

Проведенный анализ позволяет утверждать, что для многих функций (операционных, неоперационных и функций обмена информацией между субъектами ЭЭС) задачи их автоматизированной поддержки средствами ПАК целесообразно решать в распределенном режиме, получая частные результаты обработки, расчетов и анализа средствами ПАК ЦПС и передавая эти результаты в ЦУС (МЭС, ПМЭС), где будет осуществляться их объединение для получения конечного результата.

В качестве примеров можно привести следующие функции данного класса среди:

1) операционных функций, поддержка: процесса оперативных переключений на оборудовании с контролем выполнения проверочных операций; вывода оборудования в ремонт и ввода в работу по типовым программам переключений и др.

2) неоперационных функций: мониторинг состояния отходящих ЛЭП; контроль загрузки работающего оборудования; определение места повреждения на ЛЭП и др.

3) функций обмена информацией между субъектами ЭЭС: поддержка анализа электрических режимов (формирование и передача актуальной модели ПС и прилегающей ЭЭС низшего напряжения); мониторинг эксплуатации и функционирования устройств РЗА и ПА, обеспечение оценки уровня надежности устройств РЗА и ПА и др.

1.3.4. Создание функциональной координирующей подсистемы в составе АСУ ТП ЦПС. Настоящая Методология предусматривает дальнейшее функциональное развитие современных интегрированных

АСУ ТП подстанций ЕНЭС, связанное с повышением достигаемого в системе уровня автоматизации с целью обеспечения надежного управления подстанцией, особенно при переходе к телеуправлению необслуживаемыми подстанциями из удаленных центров управления. Одним из направлений такого развития является создание в составе АСУ ТП ЦПС функциональной координирующей подсистемы – ФКП.

Подсистема ФКП призвана обеспечивать:

- ведение набора актуализируемых моделей технологических процессов подстанции как основы для построения алгоритмов контроля, анализа и управления функционированием ЦПС; передача актуальных моделей в другие подсистемы ПАК для использования;

- поддержку подсистем анализа технологических ситуаций и принятия решений по управлению в сложных, в том числе аварийных, ситуациях. Например, с помощью информационно-экспертных систем типа «советчика диспетчера». Полномасштабные системы анализа технологических ситуаций и поддержки процессов по управлению в сложных, в том числе аварийных, ситуациях должны быть развернуты в центрах управления. Однако реализация на ПС подсистемы, берущей на себя рациональную часть такого анализа на основе актуализируемой модели технологических процессов данной ПС, сделает более эффективной работу соответствующих «макросистем» уровня центра управления – ДЦ, ЦУС, позволяя им сосредоточиться на анализе функционирования сети или энергосистемы в целом;

- контроль возможности, допустимости и безопасности (с учетом реального состояния оборудования ПС) команд управления оборудованием ПС, в том числе телеуправления подстанцией из удаленных центров управления;

- формирование «образа ПС», содержащего информацию о текущем состоянии ПС, получаемую от других устройств АСУ ТП, для использования при взаимодействии подстанции с центрами управления в качестве «представителя» ПС в верхних уровнях иерархии управления в электроэнергетической системе, в том числе (рис. 1.9) [2]:

- подготовку и передачу в центры управления актуализированных моделей технологических процессов ПС, а также данных для использования в функционировании автоматических подсистем АСТУ (например, центральной станции противоаварийного управления – ЦСПА и др.);

- анализ и выполнение запросов на доступ (или передачу) к хранящейся в архивах АСУ ТП информации о технологических событиях и данных эксплуатационно-технологических параметров состояния оборудования подстанции;

- работу подсистем мониторинга информационной инфраструктуры с функцией резервирования;

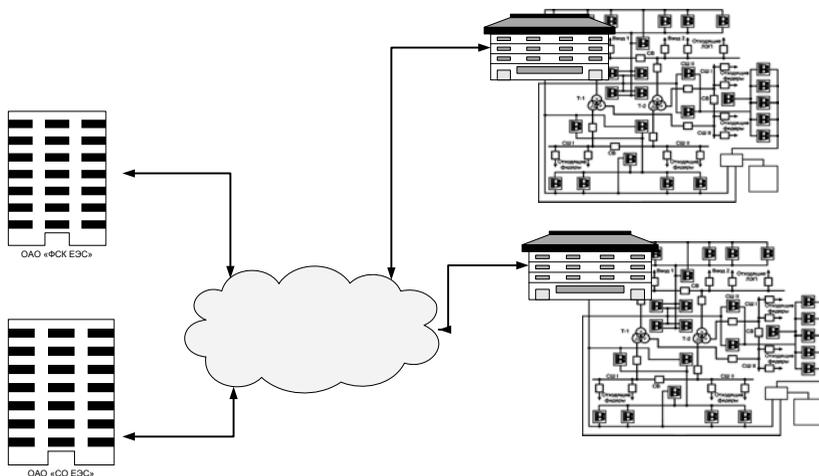


Рис. 1.9. Взаимодействие центров управления с актуальной моделью ЦПС, реализуемой в функциональной координирующей подсистеме

– применение политик безопасности в отношении используемых программных продуктов (в частности, средств дублирования, противодействия вредоносному программному обеспечению и др.).

Подчеркнем, что в подсистеме ФКП реализуются и актуализируются модели максимальной детализации технологических процессов ПС, необходимой для непосредственного управления и силовым оборудованием ПС, и средствами «вторичных» систем, – в отличие от моделей подстанции, используемых на более высоких уровнях иерархии управления.

Появление в составе АСУ ТП ЦПС функциональной координирующей подсистемы ФКП позволит обеспечить:

- максимальную достоверность данных о состоянии оборудования ПС и результатов выполнения команд управления;
- предотвращение: выполнения команд, которые могут привести к аварийным ситуациям; аварийных режимов за счет оперативного вывода из работы оборудования, находящегося в предаварийном состоянии.

Место подсистемы ФКП в структуре ПАК цифровой подстанции иллюстрируется рис. 1.10 [2]. Следует подчеркнуть, что передача телеинформации в ДЦ СО и ЦУС осуществляется, как и в современных АСУ ТП, без какой-либо промежуточной обработки. Во то же время при создании ФКП в составе АСУ ТП подстанции речь идет только о реализации некоторых дополнительных аналитических функций, например, направленных на повышение безопасности выполнения запланированных переключений в сети. При этом определение ФКП и

показанных на рис. 1.10 средств, выделяемых в ее составе (решения задач локальных подпроцессов, координации информационно-технологических и управляющих систем подстанции, актуализации стека моделей), осуществляется *на программно-логическом уровне* (в частности, функции ФКП могут быть реализованы, например, с помощью компонентов ПО сервера SCADA-системы).

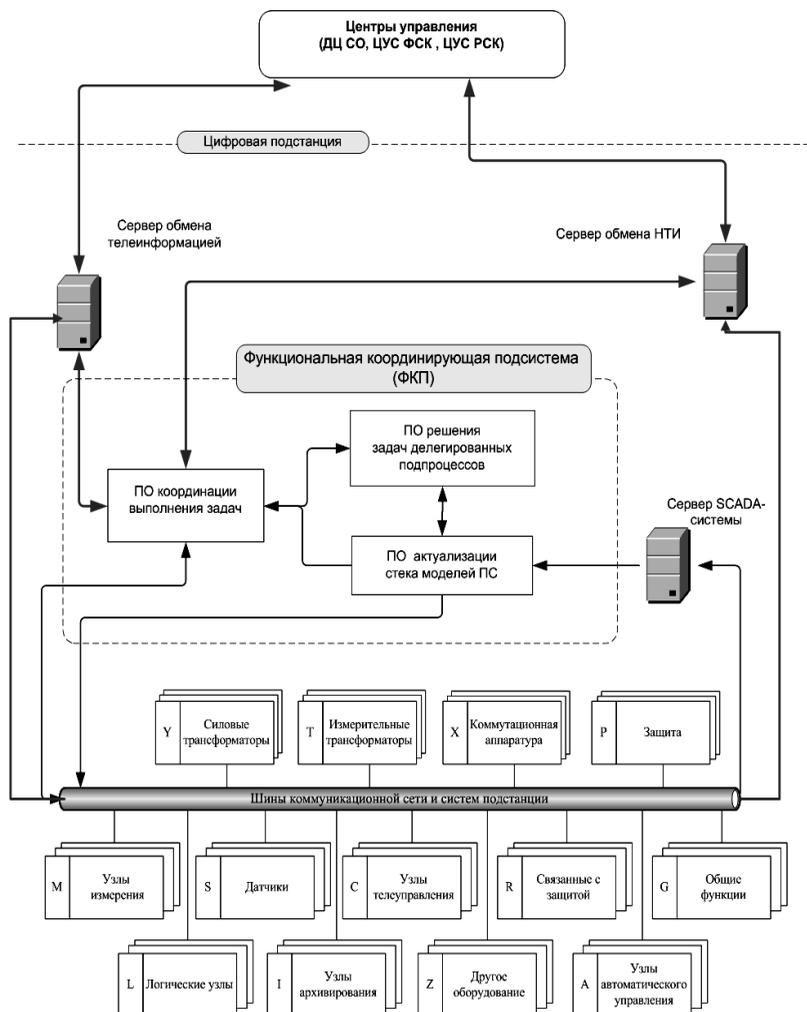


Рис. 1.10. Место функциональной координирующей подсистемы в структуре системы управления ЦПС

Приведем примеры задач, при решении которых целесообразно использовать подсистему ФКП в составе АСУ ТП подстанции.

1.3.5. Повышение точности и скорости решения задач, связанных с участием ПС в управлении энергосистемой (электрической сетью). Средствами функциональной координирующей подсистемы в составе АСУ ТП выполняется формирование модели функционирования силового оборудования подстанции, учитывающей, в том числе и работу установленных на этом оборудовании средств защиты и автоматики. Модель имеет высокий уровень детализации для целей непосредственного управления технологическими процессами на подстанции.

На верхний уровень – в центр управления – передается обобщенный результат решения локальной задачи (топология, параметры узлов, линий и нагрузки), без деталей, которые не нужны на верхнем уровне иерархии, а именно эквивалентная схема подстанции, непосредственно пригодная для включения в состав моделей, используемых на верхнем уровне иерархии в центре управления, где формируются и используются модели для решения задач анализа технологических ситуаций, принятия решений по ликвидации аварий и управления режимом энергосистемы (электрической сети).

Отметим, что при этом в силу самого характера процесса передаваемые на верхний уровень результаты удовлетворяют важному для верхнего уровня требованию достоверной наблюдаемости характеристик энергосистемы/электрической сети в районе подстанции. При этом за счет использования максимально полной модели технологических процессов подстанции, используемой при формировании моделей для решения задач верхнего уровня, повышается точность задания и установки параметров, определяющих режим и состояние оборудования; в то же время благодаря уменьшению объема передаваемой в центр управления информации и упрощению расчетов по формированию моделей повышается доступная скорость решения задач, связанных с участием подстанции в управлении энергосистемой/электрической сетью.

Пример использования локальных моделей, получаемых с помощью подсистемы ФКП в составе АСУ ТП подстанции, при решении задач противоаварийного и оперативно-технологического управления показан на рис. 1.11 [2].

1.3.6. Обеспечение безопасности выполнения команд управления подстанцией. Процессы коммутации (изменения состояния) силового оборудования, изменения состояния и параметров работы устройств РЗА и ПА, ввод в работу (вывод из работы) силового оборудования и автоматики подстанции выполняются как в рабочем режиме по командам персонала ПС и командам из центра управления, так и в аварийных режимах по командам систем РЗА и ПА.

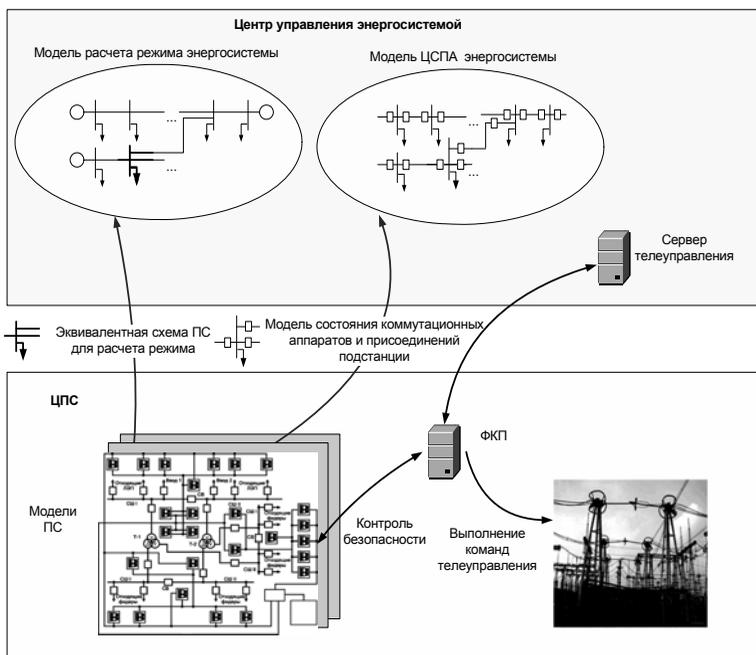


Рис. 1.11. Пример использования локальных моделей подстанции

Безопасность выполнения команды обычно связана с выполнением определенных условий, в том числе зависящих от текущего состояния некоторого другого, функционально связанного оборудования ПС, а в некоторых случаях и состояния оборудования смежной ПС.

В условиях ликвидации аварии, ввода оборудования в работу после аварии и ремонта и т.п. могут быть допущены как ошибки правильной выполнения последовательности операций, так и ошибки, связанные с недостоверностью информации о состоянии смежных, функционально связанных элементов и систем подстанции. Подсистема ФКП обеспечивает «входной контроль» допустимости поступающих команд управления, имитируя их выполнение на сформированной модели ПС, учитывающей текущее состояние коммутационных аппаратов и функционально связанных с ними устройств РЗА и ПА, без изменения реального состояния коммутируемого оборудования. В случае подтверждения безопасности команда ретранслируется на соответствующее оборудование ПС. В случае выявления «опасной» команды она отклоняется (вместе с дальнейшей последовательностью команд в потоке команд управления) – ее выполнение запрещается и

формируется соответствующее сообщение в адрес центра управления. Такой контроль и анализ средствами подсистемы способен предотвратить повреждение оборудования в случае поступления команды, выполнение которой небезопасно из-за текущего реального состояния смежного силового оборудования и автоматики. Наличие «входного контроля» потока команд управления особенно актуально в условиях телеуправления необслуживаемой подстанцией.

1.3.7. Функциональная структурная схема ПАК ЦПС. Укрупненная функциональная структурная схема программно-аппаратного комплекса ЦПС, построенного на базе изложенных выше основных принципов, приведена на рис. 1.12 [2].

Отметим коротко основные отличия укрупненной функциональной структуры ПАК ЦПС, характеризуемой рис. 1.12, от аналогичной типовой структуры, создаваемой в настоящее время АСУ ТП подстанций ЕНЭС.

1. Ввод информации в ПАК осуществляется непосредственно в цифровой форме (без использования в составе ПАК устройств аналого-цифрового преобразования) от цифровых измерительных трансформаторов тока и напряжения, а также от специальных «интеллектуальных» устройств (Smart IED), выполняющих функции модулей связи, создаваемых для всех видов основного электрооборудования подстанции: трансформаторного и реакторного оборудования, коммутационных аппаратов (выключателей, разъединителей, заземляющих ножей), КРУ 6 (10) кВ, оборудования щитов постоянного тока – ЩПТ и собственных нужд – ЩСН. И цифровые ТТ и ТН, и устройства, реализующие функции модулей связи, рассматриваются в настоящей концепции как элементы силового оборудования ЦПС.

2. Передача команд управления на электрооборудование от терминалов РЗА, ПА, управления в составе ПАК ЦПС должна выполняться через цифровые интерфейсы на основе протоколов IEC 61850 на устройства Smart IED соответствующего силового оборудования.

3. Организация двух шин цифрового информационного обмена между компонентами интегрированной АСУ ТП на основе протоколов IEC 61850: шины процесса – на основе протоколов IEC 61850-8.1 и 61850-9.2 и подстанционной шины – на основе протокола IEC 61850-8.1. Следует отметить, что в современных АСУ ТП подстанций ЕНЭС используется только подстанционная шина на основе протокола IEC 61850-8.1.

4. Синхронизация устройств нижнего уровня (ЦТТ, ЦТН, Smart IED) осуществляется по протоколу IEC 1588 с точностью не хуже 1...2 мкс.

5. Наличие в составе ПАК ЦПС функциональной координирующей подсистемы, рассмотренной выше.

Выводы

1. При создании цифровой подстанции формируются общие определяющие цели: экономические и эксплуатационные, модернизации и безопасности, а также решаются задачи по унификации информационных протоколов для обеспечения способности оборудования различных производителей к взаимодействию.

2. Принципы построения архитектуры цифровой подстанции основаны на иерархии с выделением нижнего, среднего и верхнего уровней и определяются пятью базовыми группами: надежностью и безопасностью, единством измерений и унификацией, а также сохранением инвестиций.

3. Функциональная структура цифровой подстанции с распределением локальных задач «внизу» и глобальных «вверху» обеспечивает поддержку основных технологических функций подразделений ОАО «ФСК ЕЭС», выполняемых в процессе управления функционированием и эксплуатацией электрических сетей и, в первую очередь, управления оперативно-диспетчерского и технологического.

4. Декомпозиция решения системных автоматизируемых задач и делегирование их выполнения на уровень ЦПС позволяют средствами ПАК ЦПС целесообразно решать в распределенном режиме частные результаты обработки, расчетов и анализа и передачу их в ЦУС (МЭС, ПМЭС).

5. Создание функциональной координирующей подсистемы в составе АСУ ТП ЦПС позволяет обеспечить реализацию дополнительных аналитических функций, например, направленных на повышение безопасности выполнения запланированных переключений в сети и др.

6. ЦПС позволяет осуществлять ввод информации от цифровых измерительных трансформаторов тока и напряжения и другого оборудования в цифровой форме, а передача команд управления от терминалов РЗА и ПА выполняется через цифровые интерфейсы на основе протоколов IEC 61850 на устройства Smart IED соответствующего оборудования, требования к которому рассмотрены ниже во второй главе.

2. ОБОРУДОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Во второй главе рассмотрены требования к оборудованию информационного взаимодействия: цифровым трансформаторам тока и напряжения, устройствам и модулям и основному силовому электрооборудованию цифровой подстанции.

Одними из ключевых элементов в системе управления режимами работы электрических сетей являются первичные измерительные трансформаторы тока и напряжения, обеспечивающие защиту электрооборудования от сверхтоков и аварийных режимов, а также проведение измерений, учета и регистрации перетоков электроэнергии в энергосистеме [16].

Находящиеся в эксплуатации и производстве электромагнитные трансформаторы прошли в своем развитии большой путь и в настоящее время являются достаточно совершенными устройствами. Вместе с тем, и они имеют ряд недостатков (пожаро- и взрывоопасность, насыщение, вес и т.д.).

На смену им должны прийти электронные трансформаторы (датчики), которые имеют значительный потенциал в плане эксплуатации: безопасность и компактность, сокращение объемов электромонтажа и расширенный динамический диапазон, широкая полоса пропускания и самодиагностика, снижение стоимости и т.п.

2.1. ЦИФРОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Цифровые измерительные трансформаторы (ЦИТ) – электронные измерительные трансформаторы с цифровыми интерфейсами, поддерживающими протокол IEC 61850-9.2, представляют собой новый класс изделий, основанных на самых последних достижениях в оптике, электронике, системах цифровой обработки и передачи сигналов. Эти устройства отличаются исключительной безопасностью, высокой точностью, быстродействием, малыми габаритами и весом [16].

2.1.1. Схема построения измерительной системы на базе ЦИТ. Одним из примеров построения измерительной системы в высоковольтной подстанции с применением комбинированных ЦИТ является решение, функциональная схема которого приведена ниже на рис. 2.1 [2].

Изоляционные колонны установлены на опорных конструкциях на территории открытого распределительного устройства подстанции (ОРУ), причем первичные датчики тока расположены на вершине колонны, а первичные датчики напряжения находятся внутри полости трубчатого изолятора колонны.

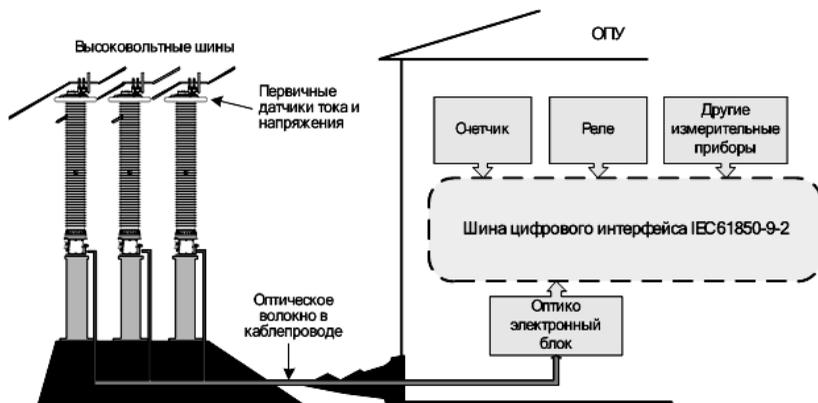


Рис. 2.1. Функциональная схема измерительной системы

Измеренные первичными датчиками сигналы передаются по изолирующим оптоволоконным кабелям на уровень земли и далее направляются к вторичным преобразователям, объединенным в оптоэлектронном блоке преобразования, обычно располагаемом в ОПУ или в ОРУ подстанции. Взаимодействие между первичными датчиками и вторичными преобразователями оптико-электронного блока, как правило, является фирменным решением конкретного завода-изготовителя оборудования и не подлежит обязательной унификации. В оптоэлектронном блоке данные от первичных датчиков объединяются в единый цифровой поток данных в соответствии с протоколом IEC 61850-9.2 и далее распространяются через сеть Ethernet к получателям измерительной информации.

Функциональная схема ИТ с цифровым выходом (ЦИТ) приведена на рис. 2.2 [2].

В состав ЦИТ обязательно должны быть включены все указанные на рисунке части. Число первичных входов и их тип (напряжение или ток) в отдельном ЦИТ может отличаться от приведенного примера.

Для сравнения на рис. 2.3 приведена общая функциональная схема ЦИТ с использованием отдельно стоящего модуля объединения (ОСМО или полевого преобразователя). В отличие от модуля объединения, который встроен в ЦИТ, ОСМО – устройство, не являющееся компонентом ЦИТ.

2.1.2. Точка интерфейса ЦИТ должна оканчиваться цифровым выходом с волоконно-оптическим или электрическим разъемом, соответствующим требованиям к модулю объединения или датчику с коммуникационным интерфейсом. Рекомендованный уровень волоконно-оптической системы передачи данных 100Base-FX (полный дуплекс, двухжильный оптоволоконный кабель с разъемами).

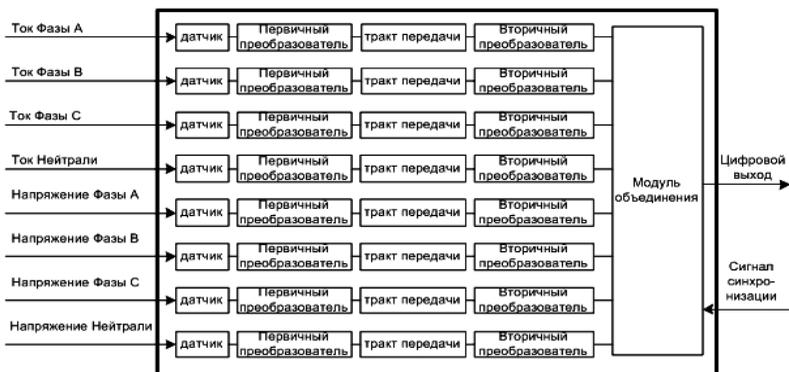


Рис. 2.2. Общая функциональная схема измерительных трансформаторов с цифровым выходом

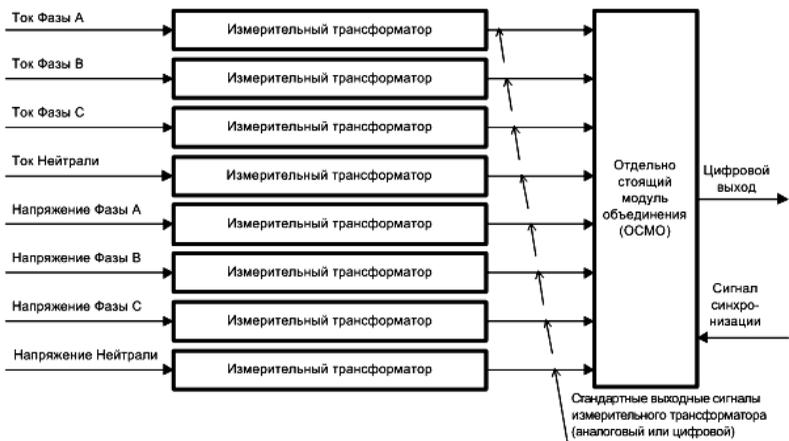


Рис. 2.3. Пример построения цифрового измерительного трансформатора с отдельным модулем объединения

Используемые волоконно-оптические кабели должны соответствовать требованиям IEC 60794.

2.1.3. Синхронизация. ЦИТ или модуль объединения должны иметь возможность принимать внешний сигнал синхронизации для того, чтобы синхронизировать выборки. Сигналом синхронизации должен быть входной сигнал 1PPS в соответствии с требованиями в IEC 60044-8. Опционально синхронизация может быть осуществлена через сеть Ethernet в соответствии с IEC 61588.

Значение времени нарастания импульса 1PPS может оказать влияние на синхронизацию внутреннего тактового генератора модуля объединения. Этим параметром можно пренебречь, если максимальное отклонение времени запуска составляет не более ± 2 мкс, при времени длительности фронта не более 200 нс.

Источник синхронизации должен иметь точность ± 1 мкс. Отсчеты от модуля объединения должны иметь метки времени, выдаваемые с точностью класса 4 в соответствии с IEC 61850-5 (± 4 мкс). По этой причине синхронизирующий вход модуля объединения может иметь джиттер ± 2 мкс. Если задержка распространения между выходным сигналом 1PPS источника синхронизации и входом модуля объединения будет более 2 мкс, то каждый такой модуль должен быть в состоянии компенсировать задержку распространения сигнала.

До тех пор, пока ЦИТ или модуль объединения синхронизируется, атрибут «SmpSynch» (задается, когда испытательный комплект СМС синхронизирован с режимом работы с использованием CMIRIG-B – блока синхронизации, обеспечивающего возможность подсоединения устройств, передающих или получающих протокол IRIG-B или PPS сигналы с помощью СМС) в сообщении SV должен иметь значение TRUE (истина). Атрибут «SmpCnt» должен вести себя, как определено в IEC 61850-7-2. Если синхросигнал потерян, ЦИТ или модуль объединения может начать работу в режиме удержания. Это означает, что в течение нескольких секунд – в зависимости от дрейфа внутреннего тактового генератора, модуль объединения способен отправлять отсчеты, все еще удовлетворяющие требованиям синхронизации в отношении точности.

2.1.4. Функционирование без синхронизации. Если модуль объединения не получает сигнала синхронизации и выйдет из режима удержания, как описано выше, атрибут «SmpSynch» в сообщении SV должен принять значение FALSE. «SmpCnt» должен продолжать считать, как если бы импульс синхронизации присутствовал на его входе.

Источники синхронизации, генерирующие сигнал 1PPS, обычно реализуются на основе приемников GPS. Импульс 1PPS имеет точность ± 1 мкс по сравнению с абсолютным временем (GPS эталон единицы времени). В случае потери сигнала приемником GPS внутренний тактовый генератор источника синхронизации начнет дрейфовать от эталонного времени GPS.

Есть две возможности для обработки этой ситуации: вычисления, выполняемые в модуле объединения, а в случае, если ток и (или) напряжение в нейтрали не измеряются реальным датчиком, модуль объ-

единения должен рассчитать эти величины как сумму фазных значений. Однако, поскольку получатель должен знать, рассчитываются значения или измеряются, модуль объединения должен показать это в соответствующем описателе качества.

При автоматическом обнаружении неисправности ЦИТ должен быть поднят флаг о недостоверности данных на цифровом выходе. Отказ системы передачи должен быть автоматически обнаружен с формированием соответствующего сигнала о неисправности. При перерыве в электроснабжении источника питания или выходе входного напряжения за пределы допустимого диапазона должен быть остановлен вывод данных и отключен цифровой выход. После восстановления работы источника питания функционирование ЦИТ должно быть автоматически восстановлено.

2.1.5. Требования к временным характеристикам. В соответствии с ИЕС 60044-8 максимально допустимое время задержки на обработку сигналов в МО составляет 3 мс (+10 %, –100 %). Задержка на обработку сигналов определяется как временной интервал, заключенный между моментом измерения на первичной стороне ЦИТ до момента, когда кадр, содержащий в себе это измеренное значение, публикуется на коммуникационном интерфейсе ЦИТ. Измерение задержки, связанной с обработкой сигналов, производится при синхронизации ЦИТ от внешнего эталонного источника времени с помощью прецизионной временной маркировки/фиксации отдельных кадров, отправляющихся с коммуникационного интерфейса ЦИТ.

2.1.6. Требования к эксплуатационной, функциональной надежности и взрывопожарной безопасности. Производитель должен предоставить информацию в соответствии с такими стандартами, как ИЕС 60812 и ИЕС 61025, по функциональной и эксплуатационной надежности электронных трансформаторов, включающую оценку средней наработки до отказа (МТТФ), среднее время между отказами (МТВФ) и анализ характера и последствий отказов (FMEA), связанный с основной частью при условии обслуживания. Должна быть предоставлена функциональная схема, описывающая взаимосвязь между подсистемами и демонстрирующая, как осуществляется резервирование, если оно организовано. Должны быть определены узлы ЦИТ, для которых проводятся соответствующие процедуры технического обслуживания.

Применяемые в конструкции трансформаторов материалы должны обеспечивать выполнение требований по взрыво- и пожаробезопасности.

2.2. ПОЛЕВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ (УСТРОЙСТВА И МОДУЛИ)

2.2.1. Полевые преобразователи – устройства (модули), обеспечивающие информационные связи на базе протоколов МЭК61850-8.1 и МЭК 61850-9.2 с измерительными трансформаторами тока и напряжения.

В настоящем подразделе определим требования к полевым преобразователям (ПП) – устройствам и (или) модулям, обеспечивающим включение традиционных (неэлектронных) измерительных трансформаторов тока (ИТТ) и напряжения (ИТН) в инфраструктуру передачи информации (ИПИ) ЦПС.

Примечание. В связи с тем, что термины «merging unit» (MU) и «stand alone merging unit» (SAMU) на сегодняшний день не имеют однозначного, общепринятого русскоязычного эквивалента (перевода), в настоящем подразделе применен термин «полевой преобразователь» как более лаконичный и функционально близкий по смыслу и содержанию. Назначение полевого преобразователя пояснено ниже на рис. 2.4 [2].

2.2.2. Функциональные задачи. Функции ПП условно разделяются на основные и вспомогательные. Основные функции ПП связаны непосредственно с преобразованием, выполняемым ПП, и присутствуют в нем обязательно; вспомогательные функции есть некоторая надстройка над основными, их наличие опционально.

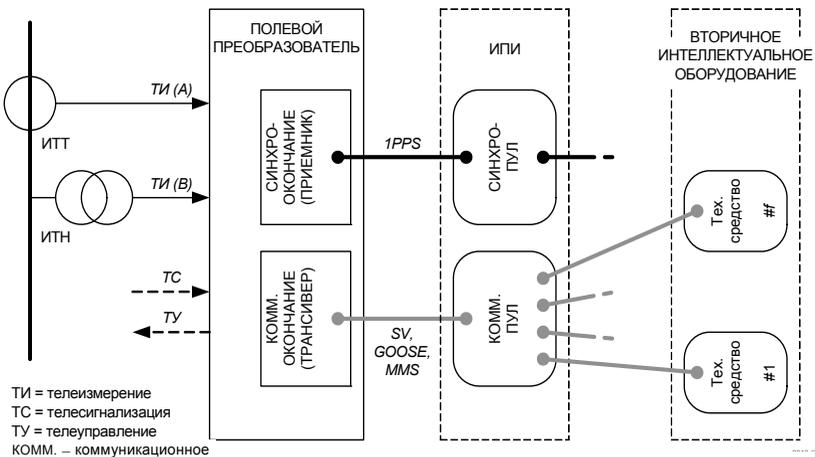


Рис. 2.4. Полевой преобразователь, его взаимосвязи с инфраструктурой передачи информации, а также первичным и вторичным оборудованием ЦПС

Основные (преобразовательные) функции следующие:

- аналого-цифровое преобразование – следящая функция, представляющая собой когерентное многоканальное преобразование сигналов, производимое синхронно с отсчетами единого времени энергообъекта, с последующей передачей оцифрованных значений (кодов) по цифровому каналу связи;

- цифроаналоговое преобразование – функция, обратная аналого-цифровому преобразованию.

Вспомогательные (дополнительные) функции:

- монитор целостности вторичных цепей – диагностическая функция, представляющая собой непрерывное отслеживание «качества» вторичных присоединений (под «качеством» здесь можно понимать отсутствие обрывов и пр.);

- метрологический фильтр – коррекционная функция, представляющая собой предварительную математическую обработку измерительной информации;

- локальное устройство АСУ ТП – функция, представляющая собой, прежде всего, выполнение синхронных векторных измерений;

- локальная точка АСТУЭ, АСКУЭ, АСККЭ – контрольно-фискальная функция, представляющая собой вычисление счетно-учетных, аналитических и контрольных показателей с передачей результатов в указанные системы.

Целевые свойства преобразований таковы: синхронность, когерентность, точность, низкие латентность и инерционность.

Конструктивная реализация преобразователя предполагает вариативность, призванную удовлетворить конкретные условия эксплуатации, и допускает исполнение как в виде модуля (конструктивно зависимого), устанавливаемого в интеллектуализируемое техническое средство, так и в виде самостоятельного (конструктивно независимого) прибора, устанавливаемого отдельно.

Эксплуатационная надежность преобразований обеспечивается резервированием, реализуемым за счет дублирования основного комплекта полевых преобразователей одним или несколькими резервными.

2.2.3. Информационное окончание. Изделие должно иметь коммуникационное окончание и синхронизационное окончание; при синхронизации коммуникационным (протокольным) способом синхронизационное окончание может отсутствовать.

В коммуникационном окончании количество портов (не учитывая резервные порты, если есть) должно быть таким, чтобы расчетная нагрузка каждого порта в любом направлении обмена (приема и передачи) не превышала $2/3$ от номинальной пропускной способности соединения.

Рекомендуется также, чтобы загрузка портов в части периодического (передаваемого и принимаемого) трафика была как можно более равномерной.

Изделие должно уметь варьировать статическую (константную) задержку отправки пакета данных IEC 61850-9.2 (SV) в пределах от нуля до (в пределе) периода посылки пакетов, для каждого генерируемого потока.

Изделие должно уметь фильтровать принимаемые пакеты IEC 61850-9.2 (SV) для каждого принимаемого потока. Изделие должно уметь распознавать (без пропусков) пакеты, с количеством последовательных когерентных выборок от 1 до 16, по правилам IEC 61850-9.2 (SV), с частотой от 1 до 256 выборок на номинальный период основной частоты (50 Гц), настраиваемых (количеством и частотой) раздельно для каждого принимаемого потока.

Рекомендуется, чтобы изделие умело распознавать пакеты с частотой до 1024 выборок на номинальный период основной частоты. Допускается устанавливать дополнительные требования к коммуникационному окончанию изделия, отвечающие потребностям и условиям предполагаемой эксплуатации.

2.2.4. Резервирование (дублирование). Рекомендуется резервировать изделие целиком. При этом целесообразно организовать полное резервирование, т.е. дублирование ПП (а в отдельных случаях – дублирование с арбитром), так как ПП по сути является единственным источником данной измерительной информации на ПС.

Кроме того, даже при резервировании изделия целиком рекомендуется резервировать порты в коммуникационных окончаниях – с целью обеспечения повышенной живучести ЛВС. При выходе одного из портов из строя должно осуществляться перераспределение трафика на другие порты коммуникационного окончания – без полного или частичного исключения или снижения интенсивности трафика и какой-либо потери функциональности ПП.

Резервные комплекты изделий должны подключаться к инфраструктуре передачи информации через разные комплекты технологической структурированной кабельной системы (СКС). Например, основной – через технологическую (ТСКС) структурированную кабельную систему; первый резерв – через резервную ТСКС; последующие резервы – через любую ТСКС в порядке чередования.

2.3. ОСНОВНОЕ СИЛОВОЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

Внедрение SMART-технологий применительно к основному силовому электрооборудованию (высоковольтные коммутационные аппараты, трансформаторное и реакторное оборудование, системы оперативного постоянного и переменного тока и др.) подразумевает под

собой в первую очередь увеличение интеллектуальной составляющей средств контроля и управления электрооборудованием [16 – 18]. Это, в свою очередь, достигается следующим образом:

- повсеместным переходом на цифровые (в том числе – оптические) технологии съема информации и передачи команд исполнительным элементам;
- расширенным контролем и диагностикой силового электрооборудования под рабочим напряжением (в том числе, контролем его метрологических характеристик);
- развитием контроля и диагностики средств вторичной коммутации, приборов, сетевого оборудования.

Применительно к подстанциям ЕНЭС это дает следующие преимущества:

- сокращение затрат на эксплуатацию оборудования (малообслуживаемое оборудование с минимальной и контролируемой деградацией характеристик);
- увеличение срока службы электрооборудования при одновременном сокращении затрат на периодические проверки и ремонты;
- уменьшение затрат, связанных с внезапными отказами оборудования и связанным с этим недоотпуском электроэнергии (непрерывный мониторинг оборудования и каналов связи, резервирование источников сигнала, терминалов, цифровых сетей и т.д.);
- увеличение точности измерений (повышение точности учета электроэнергии (особенно при токах менее 10...20 % I_n); повышение точности определения места повреждения ОМП, новые возможности для РЗА кабельно-воздушных линий);
- сокращение продолжительности проектных и пусконаладочных работ в связи с типизацией оборудования, повышением уровня заводской готовности и уменьшением объема кабельной продукции;
- улучшение условий в части безопасного производства работ и электромагнитной совместимости (за счет оптических каналов связи нет выноса потенциала с ОРУ);
- уменьшение стоимости средств контроля, управления и защиты (унификация терминалов, сокращение количества контрольных кабелей).

В процессе становления и развития SMART-технологий перехода к цифровым подстанциям ЕНЭС можно условно выделить два последовательных периода (стадии) преобразований [2]:

1-й период (переходный, ориентировочно 2011 – 2014 гг.) – в основном, использование существующего электрооборудования, к которому добавляется интерфейсная часть (цифровая, оптическая), уста-

навливаемая, как правило, в помещениях. Возможно также постепенное изменение состава и типа применяемых датчиков.

2-й период (в значительной мере – перспектива; переход к целевым свойствам ЦПС: 2015 – 2030 гг.) – освоение новых типов электрооборудования, характеризующихся интеграцией в оборудование специализированных цифровых необслуживаемых датчиков и полевых контроллеров. Как следствие – возможность реализации в полной мере всех преимуществ цифрового подхода, когда любое оборудование представляется как объект в модели ИЕС 61850.

Далее в настоящей главе рассматриваются основные требования к отдельным видам первичного электрооборудования ПС, в том числе к:

- трансформаторному маслonaполненному оборудованию;
- коммутационным аппаратам;
- оборудованию щитов постоянного тока;
- оборудованию щитов собственных нужд ПС

на каждом из выделенных периодов становления и развития технологий построения ЦПС.

2.3.1. Трансформаторное маслonaполненное оборудование:

- собственно трансформатор (магнитопровод, обмотки, масло);
- система охлаждения (охладители с электровентиляторами, электронасосы, шкаф автоматики охлаждения);
- бак-расширитель;
- высоковольтные вводы;
- РПН с приводом;
- маслоосушитель (силикагель).

Требования 1-го периода:

- объем измерений датчиковой части: температура верхних слоев масла, датчики влажности и газосодержания масла, токи утечки вводов, положение РПН, уровень масла в баке-расширителе, датчик влажности силикагеля в осушителе, струйные и газовые реле, положение отсечного клапана, контроль уровня;

– расчетно-диагностические задачи: сравнение контролируемых параметров с уставками, расчет температуры наиболее нагретой точки, расчет перегрузочной способности трансформатора;

– модуль связи, как правило, устанавливается непосредственно около трансформатора и выполняет следующие функции: сбор информации от установленных датчиков и первичная обработка информации (масштабирование и сравнение с уставками, присвоение меток времени).

Основная обработка информации, ее архивирование, представление осуществляются в контроллере (сервере), установленном на подстанции. Наиболее современным является вариант модуля связи с протоколом ИЕС 61850-8.1.

На этом этапе алгоритм и средства управления системой охлаждения и РПН остаются неизменными. Средства автоматической обработки больших массивов контрольно-диагностической информации, как и центры ее хранения отсутствуют. Соответственно эффективность системы минимальна, хотя затраты на реализацию могут составлять до 5...10 % от стоимости трансформатора.

Требования 2-го периода.

1. Объем измерений и первичных измерительных приборов (датчиковой части).

Использование распределенных резервированных волоконно-оптических систем для контроля температуры непосредственно обмотки трансформатора (встраиваются в обмотку при изготовлении трансформатора или при капремонте) позволяет непосредственно измерить температуру наиболее нагретой точки и, соответственно, повлиять на алгоритм работы системы охлаждения и повысить точность расчета ресурса изоляции.

Оптоволоконный датчик напряжения, встроенный в высоковольтные вводы, позволяет:

- повысить надежность системы охлаждения (пуск маслонасосов осуществляется по факту подачи напряжения на трансформатор);
- расширить функциональность системы мониторинга (контроль импульсных грозовых импульсов перенапряжения);
- повысить надежность работы системы пожаротушения (пуск системы должен блокироваться при наличии напряжения);
- обеспечить необходимой информацией (напряжение на стороне НН) автоматический регулятор РПН.

Для повышения надежности работы трансформатора указанный датчик целесообразно резервировать, так как выход из строя датчика потребует снятия высоковольтного ввода трансформатора и, как следствие, его длительный ремонт.

Перевод остальных датчиков (газовое и струйное реле, отсечной клапан) на оптический принцип функционирования обеспечит цифровую обработку сигнала от указанных датчиков.

2. Расчетно-диагностические задачи (дополнительные):

- расчет расхода электроэнергии на охлаждение трансформатора;
- расширенные алгоритмы диагностики;
- мониторинг обмена по цифровым сетям.

3. Система охлаждения:

- в качестве коммутационных аппаратов в цепях электронасосов и электроventильаторов необходимо использовать устройства плавного пуска с управлением по оптическому каналу;

– использование адаптивных алгоритмов управления электровентиляторами и электронасосами (упреждающее управление с учетом реального графика нагрузки, форсированные режимы охлаждения в аварийных режимах).

4. Устройство регулирования напряжения под нагрузкой (РПН):

– в качестве переключающего устройства используется так называемый «симистор» (иногда называемый «триак») с оптическим управлением и шунтирующим контактором;

– датчик положения – оптический, цифровой, пассивного типа;

– осуществляется расчет коммутационного и механического ресурса (по каждой анцапфе РПН); выдается напоминание оперативному персоналу о необходимости переключения анцапфы;

– организуется оптимизация положения РПН на основе анализа архивной информации;

– производится упреждающее переключение РПН (для повышения качества напряжения у потребителя).

5. Отсечной клапан (перекрытие маслопровода между баком-расширителем и основным баком трансформатора):

– контроль положения (открыт/закрыт) – используется оптический датчик пассивного типа, встроенный в клапан;

– управление соленоидом клапана – осуществляется через триак (IGBT-транзистор) с оптическим управлением.

6. Модуль связи в общем случае включает в себя следующие функциональные submodule:

– управления РПН,

– управления системой охлаждения,

– управления отсечным клапаном,

– мониторинга и диагностики,

– электропитания;

– интерфейс – дублированный оптический, подключаемый к шинам 61850-8.1 и 61850-9.2.

Для повышения надежности целесообразно организовать двойное питание системы охлаждения, а также датчиков и модулей связи – от внешнего источника электропитания (основное) и от встроенной дополнительной обмотки трансформатора (резервное).

2.3.2. Коммутационные аппараты (выключатели):

– выключатель;

– привод выключателя (электромагниты включения и отключения, механизм и автоматика завода пружин, датчик положения);

– встроенные трансформаторы тока.

Требования 1-го периода.

1. Объем измерений и датчиковой части:

- датчики положения (контактные, дискретные);
- датчики технологические (давление и плотность элегаза, состояние пружин).

2. Расчетно-диагностические задачи: приближенный (нет точной информации о положении главных контактов) расчет коммутационного ресурса.

3. Модуль представляет собой средство цифровой интеграции всех устройств, устанавливаемых рядом с выключателем (устройство отключения в бестоковую паузу, устройство оперативной и долговременной диагностики, устройство ввода сигналов от технологических датчиков выключателя).

Следует отметить, что модуль полевого исполнения может просто отсутствовать (все функции реализуются в контроллере управления).

Требования 2-го периода.

1. Объем измерений и датчиковой части: вместо датчиков крайних положений (блок-контактов) используются оптические датчики угла поворота/перемещения (для точного контроля мгновенного положения главных контактов) пассивного типа с цифровым выходом.

2. Привод выключателя:

- подача напряжения на электромагниты включения и отключения осуществляется посредством триаков (IGBT-транзисторов) с оптическим управлением;
- в схеме управления заводом пружин также используются твердотельные силовые ключи.

3. Расчетно-диагностические задачи:

- уточненный расчет ресурса (количество коммутаций, относительный износ главных контактов, относительный износ двигателей завода пружин);
- контроль деградации характеристик привода выключателя (время включения и отключения, время горения дуги);
- контроль исправности встроенных цифровых ТТ за счет сравнения мгновенных значений токов различных ТТ одного присоединения в каждый данный момент времени.

4. Встроенные цифровые ТТ – оптические цифровые с протоколом 61850-9.2. Информация от них используется выключателем (схема управления, система диагностики), а также поступает во внешнюю цифровую сеть.

5. Модуль связи – контроллер управления – в общем случае включает следующие функциональные submodule:

- включения выключателя;
- отключения выключателя в бестоковую паузу (пофазно);
- управления приводом завода пружин;
- мониторинга и диагностики (включая функцию контроля элегаза, состояния пружин, готовность к включению и отключению);
- электропитания.

Количество модулей связи должно быть равно количеству соленоидов включения (отключения).

Интерфейс – дублированный оптический, подключаемый к шинам 61850-8.1 и 61850-9.2.

Преимуществами 2-го этапа являются существенное сокращение количества необходимых устройств управления и контроля (вместо терминала управления, терминала бестокового отключения, терминала диагностики – один модуль связи) и, соответственно – увеличение надежности за счет сокращения кабельных связей.

2.3.3. Коммутационные аппараты (разъединители и заземляющие ножи).

1. Конструкция разъединителей и заземляющих ножей практически остается неизменной, поскольку определяется допустимыми изоляционными промежутками.

2. Новым является:

- использование в приводе разъединителей и заземляющих ножей оптически управляемых симисторов;
- использование в качестве датчиков положения оптических датчиков пассивного типа;
- использование в цепях управления WF-технологий для сокращения количества кабельных связей (в том числе оптических).

2.3.4. Щит собственных нужд (распределительное собственных нужд – РУСН-0.4 кВ) и сборки 0.4 кВ.

В рамках SMART-технологий в РУСН предполагается использование следующих новых технологий:

- цифровые оптические датчики тока и напряжения;
- встроенное устройство регистрации аварийных событий и процессов – PAC (с выдачей осциллограмм в международном формате COMTRADE – Common Format for Transient Data Exchange for Power Systems), предназначенный для обмена данными переходного процесса в энергетических системах;
- в каждом автоматическом выключателе – средства контроля текущего состояния (цифровые, оптические, пассивного типа);
- управление автоматами – по оптическому каналу (отключение и включение);

– групповой модуль связи (для сборок – дублированный или троированный), контролирующей токи всех присоединений и обеспечивающий выполнение функций РЗА. Модуль связи, кроме того, выполняет измерения, функцию АВР и интерфейсного модуля для интеграции в сеть 61850 8.1 и 9.2.

2.3.5. Щит постоянного тока (ЩПТ).

1. В рамках SMART-технологий в ЩПТ предполагается использование следующих новых технологий:

- цифровые оптические датчики постоянного тока и напряжения;
- встроенное устройство РАС (с выдачей осциллограмм в формате COMTRADE);
- в каждом автоматическом выключателе – средства контроля текущего состояния (цифровые, оптические, пассивного типа);
- управление автоматами – по оптическому каналу (отключение и включение).

2. Модуль связи – контроллер управления.

Модуль связи в общем случае включает следующие функциональные субмодули:

- защиты присоединений с заданной чувствительностью и селективностью;
- мониторинга и диагностики аккумуляторной батареи;
- мониторинга подзарядного устройства и инверторов;
- мониторинга «земли» в сети постоянного тока;
- электропитания.

Интерфейс – дублированный оптический, подключаемый к шинам 61850-8.1 и 61850-9.2.

Для контроля аккумуляторной батареи предусматривается поэлементный контроль напряжения каждого элемента (предотвращение лавинообразного увеличения внутреннего сопротивления). Для этого на каждой банке устанавливается автономный микроконтроллер, совмещенный с WF-передатчиком, предохранителем. WF-приемник опрашивает по очереди все банки АБ.

3. Модуль связи – контроллер АБ выполняет расчет оставшегося времени работы (в режиме разряда), расчет оставшегося времени заряда (в режиме заряда), диагностика АБ (по току подзаряда, по количеству и глубине разрядов, по скорости разряда). Результат – остаточная емкость, время работы до снижения емкости ниже заранее заданной величины.

2.3.6. КРУ-6/10 кВ. В рамках SMART-технологий в КРУ-6/10 кВ предполагается использование следующих новых технологий:

- цифровые оптические датчики тока и напряжения;
- встроенное устройство РАС (с выдачей осциллограмм в формате COMTRADE);
- управление выключателями – по оптическому каналу (отключение и включение);
- контроль положения выкатного элемента с помощью оптических датчиков;
- групповой модуль связи, интегрированный в выкатной выключатель (положение которого контролируется с помощью оптических датчиков), измеряющий токи всех присоединений и обеспечивающий выполнение функций РЗА. Модуль связи, кроме того, выполняет измерения, функцию АВР и интерфейсного модуля для интеграции в сеть 61850 8.1 и 9.2. Возможно сокращение размеров ячейки КРУ за счет исключения релейного отсека. Оперативная блокировка и ЛЗШ реализуются посредством GOOSE-технологии.

Выводы

1. Комбинированные цифровые измерительные трансформаторы нового поколения с оптоэлектронным блоком преобразования и модулем объединения или отдельно стоящим модулем объединения, внешним источником синхронизации или внутренним тактовым генератором и цифровыми интерфейсами обеспечивают высокую безопасность, точность и быстродействие, а также имеют малые габариты и вес.

2. Полевые преобразователи в виде модулей, устанавливаемых в интеллектуализируемое техническое средство, или в виде самостоятельных приборов обеспечивают включение традиционных (неэлектронных) измерительных трансформаторов тока и напряжения в инфраструктуру передачи информации ЦПС.

3. Процесс внедрения SMART-технологий применительно к основному электрооборудованию подстанций ЕНЭС имеет два периода: переходной и перспективный и подразумевает под собой в первую очередь увеличение интеллектуальной составляющей средств контроля, управления, защиты и измерений электрооборудования, свойства и характеристики которых рассмотрены далее в третьей главе.

3. СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ, УПРАВЛЕНИЯ, ЗАЩИТЫ И ИЗМЕРЕНИЙ

В третьей главе рассмотрены свойства и характеристики программно-технического комплекса, устройства мониторинга нижнего и средства верхнего уровней, а также система обеспечения единого времени и синхронизации цифровой подстанции.

3.1. ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

3.1.1. Свойства и характеристики. Программно-технический комплекс технологических процессов должен представлять собой иерархическую, рассредоточенную, распределенную микропроцессорную систему, состоящую из аппаратно и программно совместимых технических средств, объединенных локальными вычислительными сетями.

ПТК должен обладать следующими общими свойствами:

- непосредственный ввод текущих значений аналоговых и дискретных параметров в цифровой форме и вывод команд управления напряжением 220 В без использования промежуточных реле;

- наличие развитой внутренней логики, достаточно большого количества внутренней памяти с функцией сохранения данных при отключенном питании, светодиодной и цифровой индикации на лицевых панелях устройств, развитых коммуникаций с поддержкой современных международных протоколов связи, а также у устройств ПТК системных портов с протоколами IEC 61850 (8.1, 9.2), IEC 60870-5-10x;

- возможность временной синхронизации по локальной сети от внешнего источника сигналов точного времени ГЛОНАСС/GPS с точностью не хуже ± 1 мс;

- питание устройств напряжением 220 В постоянного тока (два независимых источника питания), при этом они должны правильно функционировать при изменении оперативного напряжения в пределах $+10$ и -20 % от номинального;

- все цифровые устройства и ПО ПТК должны поддерживать функции внешней и внутренней диагностики.

Комплекс технических средств (КТС) и программное обеспечение (ПО), используемые в составе ПТК, должны иметь открытую архитектуру и соответствовать отечественным и международным стандартам.

В составе ПТК должны быть предусмотрены средства для обеспечения высокой живучести и надежного функционирования системы при возможных отказах оборудования, ошибках персонала и возникновении непредвиденных ситуаций.

Технические средства и ПО ПТК должны обеспечить автоматическую синхронизацию процессов так, чтобы технологические события, какими бы контроллерами или интеллектуальными УСО они ни зафиксированы, были бы привязаны к единой временной шкале. Для этого ПТС, входящие в АСУ ТП ПС, должны быть синхронизированы между собой и привязаны к единой временной шкале путем коррекции системного времени ПТК АСУ ТП в целом и/или субкомплексов интегрируемых подсистем по сигналам точного времени. Метки времени (с минимально допустимой задержкой от момента возникновения событий) должны присваиваться событиям как можно ближе к месту их фиксации и использоваться после этого без какой-либо коррекции на всех уровнях и во всех ПТК.

ПТК АСУ ТП должен функционировать в непрерывном режиме круглосуточно в течение установленных сроков службы, которые (при условии проведения требуемых технических мероприятий по обслуживанию) должны быть не менее:

- 20 лет – для устройств нижнего (полевого) уровня системы;
- 15 лет – для устройств среднего уровня системы;
- 10 лет – для устройств верхнего уровня системы.

Должна существовать возможность замены вышедших из строя или морально устаревших технических средств ПТК однотипными. Эта замена не должна повлечь за собой внесения каких-либо изменений или перестройки других технических средств, входящих в ПТК, и по возможности, обеспечиваться минимальными изменениями программного обеспечения.

3.2. УСТРОЙСТВА МОНИТОРИНГА НИЖНЕГО И СРЕДСТВА ВЕРХНЕГО УРОВНЕЙ

Программно-технический комплекс должен представлять собой иерархическую, распределенную микропроцессорную систему, состоящую из аппаратно и программно совместимых технических средств, коммуникации между которыми отвечают требованиям, рассмотренным в четвертой главе.

Компонентами нижнего уровня – уровня локальных микропроцессорных (МП) устройств, устанавливаемых на присоединениях ПС, являются:

- интеллектуальные электронные устройства – ИЭУ, IED (контроллеры, УСО – устройства связи с объектом);
- МП устройства РЗА, ПА;
- МП устройства регистрации аварийных событий и процессов (РАС), определения места повреждения на ЛЭП (ОМП), контроля показателей качества электроэнергии (ПКЭ).

Все эти устройства, образуя децентрализованную структуру, должны обеспечить решение быстродействующих задач сбора и обработки информации, контроля, учета и управления для оборудования переменного тока ПС.

Каждое устройство нижнего уровня аппаратно и программно должно быть изготовлено как элемент единой системы. При этом должны обеспечиваться удаленное чтение данных каждого устройства, а также возможность дистанционного управления.

Все устройства нижнего уровня должны иметь память для организации и хранения текущих архивов зарегистрированных событий и данных; глубина архивов должна быть достаточной для сохранения информации в нештатных ситуациях, связанных с ее чтением.

Устройства нижнего уровня должны иметь коммуникационную часть (независимую от основной – функциональной) для связи с вышестоящим уровнем структуры системы управления; синхронизация – в соответствии с требованиями [2, подраздел 7.4].

3.2.1. Общие требования к используемым интеллектуальным электронным устройствам (ИЭУ, IED). В составе ПТК должны использоваться микропроцессорные ИЭУ, функционирующие на базе стандартов МЭК (прежде всего 61850), обладающие развитой системой команд, позволяющей реализовать в реальном времени необходимые алгоритмы контроля и управления технологическими процессами ПС. ИЭУ должны также эффективно (оперативно и без потерь) обрабатывать внутренние и внешние события и обмениваться информацией и командами с другими элементами системы.

Входящие в состав контроллеров модули и программное обеспечение должны позволять при заказе выбирать различные виды резервирования для обеспечения оптимальной экономически обоснованной надежности (требованиям к надежности компонентов ПТК ЦПС посвящен [3, раздел 13].

В ИЭУ различного назначения одного ПТК должны использоваться модули с однотипными методами тестирования с целью максимального облегчения наладки, обслуживания и обучения персонала.

Конфигурирование и другие процедуры администрирования компонентов и ПТК в целом, в том числе внесение допустимых по условиям поставщика модификаций в прикладное ПО контроллеров, должны осуществляться с использованием специальных инструментальных средств, входящих в комплект поставки ПТК и устанавливаемых на рабочей станции и ноутбуке АРМ инженера АСУ.

ИЭУ должны иметь возможность обработки внешних прерываний при поступлении инициативных дискретных сигналов или обладать необходимым быстродействием для фиксации времени поступления

(изменения) дискретных сигналов (потенциальных) с погрешностью по отношению к системному времени ПТК АСУ ТП не более ± 1 мс.

В ПТК могут использоваться две модификации контроллеров: для размещения в помещении ЩУ или выносные – для размещения на объекте вблизи источников информации. Как правило, в помещениях устанавливаются устройства, предназначенные для выполнения сложных информационных и управляющих функций, оснащаемые средствами человеко-машинного интерфейса и требующие периодического обслуживания (МП терминалы РЗА, ПА, управления коммутационными аппаратами и др.). В непосредственной близости от электрооборудования размещаются контроллеры наружного исполнения. Они, как правило, выполняют функции УСО.

При создании «цифровых» подстанций все большее количество ИЭУ должны располагаться вблизи основного электрооборудования или быть интегрированы (встроены) в него.

ИЭУ должны иметь не менее двух принципиально различных видов информационных интерфейсов:

- интерфейс по протоколу IEC61850-9.2 для цифровой связи с источниками данных;

- интерфейс по протоколу IEC61850-8.1 для обмена информацией с устройствами АСУ ТП и реализации инженерных операций (конфигурирование, настройка, диагностирование и др.).

3.2.2. Требования к МП-терминалам управления коммутационными аппаратами. Основные выполняемые функции [2]:

- контроль состояния управляемых коммутационных аппаратов (включая технологические сигналы – готовность привода, элегаз, завод пружин и т.п.);

- управление всеми коммутационными аппаратами (включение и выключение) в пределах ячейки (включая выключатель, разъединители, заземляющие ножи);

- реализация функций автоматики управления выключателя (формирование сигналов непереклЮчения фаз, контроль цепей включения и отключения, АПВ, УРОВ, блокировка от многократного включения, включение с контролем синхронизма и т.д.);

- возможность информационного обмена с терминалами соседних ячеек с целью оперативной блокировки;

- ввод измеренных режимных параметров контролируемого присоединения (ток, напряжение) от цифровых трансформаторов тока ТТ и напряжения ТН;

- синхронизация с системным временем ПТК АСУ ТП (точность не хуже ± 1 мс).

3.2.3. Общие требования к устройствам связи с объектом. УСО как самостоятельный вид устройств ввода / вывода характерны для 1-го (переходного) периода в процессе освоения Smart-технологий. Такие устройства будут использоваться в случаях отсутствия возможности непосредственного цифрового ввода /вывода.

Указанные устройства должны иметь требуемый уровень гальванического разделения отдельных каналов между собой и микропроцессорной (системной) шиной. При этом должно быть исключено обратное воздействие от источников электропитания, от системы и от смежных каналов. Для модулей УСО, имеющих групповое гальваническое разделение, должно быть обеспечено диагностирование и определение неисправности (например, короткое замыкание) с точностью до гальванически связанной группы. Каналы УСО должны иметь защиту от перенапряжений.

3.2.4. Технические требования к устройствам, реализующим функции ОМП.

1. Алгоритмы, используемые для расчета расстояния до места повреждения на ВЛ, должны быть основаны на методах, исключающих влияние переходного сопротивления в месте КЗ, и учитывать [2]:

- влияние взаимоиндукции параллельных ВЛ и влияние ВЛ, индуктивно связанной только на начальном участке «основной» линии;
- неоднородность по длине ВЛ параметров отдельных участков;
- режим заземления троса;
- наличие отпаек на ВЛ;
- наличие апериодической составляющей в токе КЗ;
- длительность протекания тока КЗ (минимальная длительность измеряется временем срабатывания релейной защиты ВЛ по быстродействующим алгоритмам срабатывания МП РЗ и быстродействующих выключателей).

Пуск автономных устройств ОМП осуществляется по факту срабатывания основных защит ВЛ и по факту превышения уставок симметричных составляющих тока ВЛ. Сигнал пуска ОМП должен передаваться в АСУ ТП.

От устройств ОМП и МП терминалов РЗА с функцией ОМП должны передаваться в АСУ ТП значения расстояния до места повреждения на ВЛ в километрах от данной ПС с указанием поврежденных фаз, параметры КЗ, а также осциллограмма аварийного процесса.

1. В условиях ЦПС становится возможной реализация функции ОМП не на импедансном принципе, широко применяемом в настоящее время, а с использованием точного отсчета времени приема сигналов возмущения по концам ВЛ.

Преимущества такого способа: высокая точность (порядка 150 м независимо от длины ВЛ) и надежное определение при любых видах замыкания (в том числе – при замыканиях с малыми токами через относительно большое сопротивление).

Заявленные возможности метода реализуются только при точной синхронизации приемных датчиков по концам ВЛ относительно астрономического времени – не хуже 1 мкс, что в случае ЦПС автоматически реализуется благодаря высокоточной синхронизации информации, снимаемой с цифровых ТТ и ТН.

Устройства, реализующие указанный метод, прошли заводские испытания и выпускаются серийно уже в настоящее время (примером может служить устройство «TWSMarkMVI», фирма QALITROL).

3.2.5. Общие технические требования к устройствам нижнего уровня – IED коммерческого и технического учета электроэнергии и контроля качества электроэнергии. В рамках АИИС КУЭ ЦПС рекомендуется совмещать функции коммерческого, технического учета электроэнергии и контроля ПКЭ. Вычисления электрических величин (электроэнергия, мощность, ПКЭ и т.д.) должны производиться на основании одного или нескольких потоков мгновенных значений SV (IEC 61850-9.2). Для каждого принимаемого потока в устройстве должен поддерживаться логический узел LSVS (см. IEC 61859-7-4 Ed.2), предоставляющий данные о получаемом потоке. Количество поддерживаемых устройством логических узлов должно равняться количеству принимаемых потоков.

В устройстве должны быть предусмотрены механизмы контроля корректности получаемого потока данных по стандарту IEC 61850-9.2 (MAC отправителя, BODY ID потока, временные метки).

3.2.6. Требования к выполнению функции учета электроэнергии. Основные требования к счетчикам электроэнергии нового поколения следующие [2]:

- дублированный оптический системный интерфейс IEC 61850-8.1;
- поддержка цифрового интерфейса ввода данных по протоколу IEC 61850-9.2 (как опция – поддержка ввода измерений от аналоговых ТТ и ТН);
- информационный обмен коммерческого счетчика и источника точного времени должен быть информационно безопасным и обеспечивать защиту от подмены источника синхронизации; источник точного времени ЦПС должен удовлетворять требованиям, предъявляемым к системе СОЕВ коммерческого учета электроэнергии;
- возможность контроля положения коммутационного аппарата (например, для контроля $I = 0$ при отключенном выключателе, контро-

ля перехода на обходной выключатель), контроль должен осуществляться по протоколу IEC 61850;

- возможность ведения профилей электроэнергии на периодической основе с использованием механизма (periodical logging), соответствующего IEC 61850-7-2);

Механизм фиксации событий в счетчике должен функционировать также на спорадической основе (SOE logging, согласно IEC 61850-7-2).

Рекомендуется дополнительно предоставлять данные, накопленные в профилях и журнале в качестве текстовых файлов, доступных через сервисы файлового обмена (FTP, MMS).

Инициатива по синхронизации времени должна исходить от счетчика. В системном журнале счетчика необходимо предусмотреть фиксирование событий, связанных с информационным обменом с сервером единого времени (отсутствие ответа, изменение связевых параметров сервера и т.д.).

Счетчик коммерческого учета электроэнергии должен фиксировать в системном журнале события, связанные с потоком данных по протоколу IEC61850-9.2 (пропадание потока, потеря недопустимого количества пакетов).

В рамках счетчика для целей технического учета рекомендуется дополнительно производить:

- контроль параметров электросети;
- профилирование параметров электросети.

Контроль параметров электросети должен вестись в части контроля превышения уставок (реализуется использованием поля range, rangeC типа данных MV), контроля апертур (реализуется использованием поля mag, db, zeroDb типа данных MV).

Оперативная сигнализация функции контроля параметров электросети должна осуществляться с использованием механизмов отчетов (reporting согласно IEC 61850-7-2).

Помимо оперативной сигнализации должно быть предусмотрено ведение архива с использованием механизма ведения журнала на спорадической основе (SOE logging согласно IEC 61850-7-2).

Профилирование параметров электросети должно быть реализовано на базе механизма ведения журнала на периодической основе (periodical logging согласно IEC 61850-7-2).

3.2.7. Требования к выполнению функции измерения ПКЭ. Измерение ПКЭ должно производиться синхронно в рамках ЦПС. Результаты измерений ПКЭ должны быть доступны через протокол МЭК 61850 в виде соответствующих логических устройств. Для представления ПКЭ, не включенных в описание МЭК 61850-7-4, допускается создание собственных логических узлов при условии соблюдения правил по именованию и типизации данных, приведенных в IEC 61850-7-1.

3.2.8. Системы контроля качества электроэнергии. В рамках данного документа под контролем качества электроэнергии понимается операция определения соответствия измеренных показателей качества электроэнергии нормам, предъявляемым к электроэнергии, организация оперативной телесигнализации и ведение архивных данных. В концепции [3] выделены следующие виды требований к качеству электроэнергии (далее нормы):

- государственные требования – нормы качества электроэнергии, приведенные в государственных нормативных актах;

- коммерческие требования – нормы качества электроэнергии, прописанные в двухсторонних договорах между субъектами рынка электроэнергии. Коммерческие требования могут являться как частью государственных норм, так и иметь более жесткие требования к качеству электроэнергии;

- технологические требования – нормы качества электроэнергии, предъявляемые внутренними постановлениями, актами субъекта рынка. Вышеуказанные нормы определяются набором требований к каждому из ПКЭ.

Выделяется два типа требований:

- превышение предельно допустимой нормы – характеризуется диапазоном значений ПКЭ. Однократный выход из указанного диапазона считается нарушением качества электроэнергии;

- превышение суточной нормы нормально допустимых значений – диапазон значений ПКЭ и допустимое количество нарушений. Если ПКЭ в течение суток выходило за пределы указанного диапазона значений более допустимого количества нарушений, то фиксируется нарушение качества электроэнергии, называемое в дальнейшем нарушением статистической нормы.

В рамках данного раздела, указанные выше значения будут обозначаться общим наименованием – предельные значения нормы. Значения диапазонов и количество допустимых нарушений далее обозначается как характеристика нормы.

Контроль суточной нормы допускается осуществлять по:

- фиксированному окну – контролируется статистика превышения нормально допустимых значений в течение календарных суток (с 00:00).

- по движущемуся окну – контролируется статистика превышения нормально допустимых значений на интервале в 24 часа. Нарушение фиксируется, если можно указать интервал в 24 часа, на котором превышено допустимое количество нарушений нормально допустимой нормы.

Рекомендуется использовать метод контроля «по движущемуся окну», если это не противоречит положениям нормативных документов.

Для ПКЭ, имеющих двойную характеристику нарушения (например, длительность и глубина провала), следует использовать двумерные диапазоны контролируемых значений. Диапазоны должны описывать полный перечень возможных значений, т.е. нарушение должно быть однозначно отнесено к одной из следующих зон:

- зона допустимых значений;
- зона нарушения нормально допустимых значений (контроль статистической нормы);
- зона нарушения предельно допустимых значений (предельная норма).

Для устройств контроля ПКЭ рекомендуется для каждого вида нормы ПКЭ вести отдельный журнал событий и отдельную статистику нарушений. При определении факта нарушения (возвращения в норму) рекомендуется введение гистерезиса значения (см. рис. 3.1) [2].

Цель введения гистерезиса – сокращение количества ложных срабатываний контроля ПКЭ, фильтрация дребезга значения около предельно или нормально допустимого значения ПКЭ. При определении значений указанных границ учитывается метрологическая точность измерительного канала (первичного измерителя, вторичного измерителя и т.д.). Превышение верхней границы является гарантированным превышением допустимого значения ПКЭ, а переход через нижнюю границу – гарантированным возвращением его в норму.

Характеристики норм ПКЭ для каждого из параметров должны формироваться с использованием конфигурационного параметра `rangeC` для соответствующего измеряемого ПКЭ (рис. 3.2) [2].

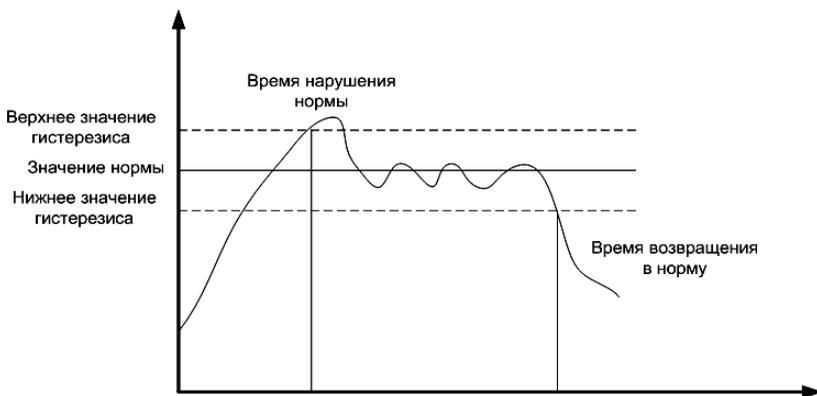


Рис. 3.1. Применение гистерезиса для контроля ПКЭ



Рис. 3.2. Применение параметра rangeC для целей контроля ПКЭ

Функция оперативной сигнализации нарушений ПКЭ должна производиться с использованием как событийного принципа передачи информации по протоколу IEC 61850-8.1, так и механизма отчетов (reporting по IEC 61850-7-2).

Функция ведения архивных данных по нарушениям ПКЭ должна производиться с использованием механизмов ведения журналов на спорадической основе (SOE logging согласно IEC 61850-7-2).

Для анализа причин и виновников нарушений в рамках ЦПС должна быть развернута система цифровой регистрации нарушений качества электроэнергии. Цифровой регистратор по команде устройства контроля качества электроэнергии осуществляет сохранение:

- мгновенных значений тока и напряжения, полученных в виде потока данных по стандарту IEC 61850-9.2 – для показателей, вычисляемых на интервалах усреднения не более 60 секунд (включая 60 секунд);
- усредненных величин, на основании которых производится вычисление величин (например, среднеквадратичное значение напряжения на полупериодах) – для показателей, вычисляемых на интервалах усреднения свыше 60 секунд.

Запись события нарушения должна содержать предысторию события с длительностью, достаточной для анализа развития события, а также запись самого события. Длительность предыстории события

должна быть не менее удвоенного интервала усреднения показателя качества электроэнергии, по которому фиксируется нарушение.

Для показателей, рассчитываемых на интервалах до 60 секунд, цифровой регистратор должен сохранять тот же поток данных по стандарту IEC 61850-9.2, который обрабатывает устройство контроля качества электроэнергии; при этом не допускается передискретизация и нормировка сигнала перед записью. Записанные осциллограммы должны быть доступны в формате COMTRADE (IEEE Std C37.111-1999).

Для показателей, рассчитываемых на интервалах свыше 60 секунд, должны фиксироваться интегрированные величины, на основании которых производится вычисление. Осциллографирование подобных величин допускается осуществлять только на устройстве, выполняющем функции контроля данного показателя.

3.2.9. Устройства верхнего уровня. К верхнему уровню – уровню подстанции относятся средства организации АРМ персонала подстанции, средства хранения и представления информации (прежде всего, серверы SCADA-системы, информационного хранилища подсистемы ССПТИ), а также средства локальной вычислительной сети, объединяющей серверы и рабочие станции АРМ персонала.

3.2.10. Виды АРМ персонала, организуемых средствами АСУ ТП ЦПС. Под автоматизированным рабочим местом персонала (АРМ) понимается программно-технический комплекс средств автоматизации и вычислительной техники, включающий в себя один или несколько компьютеров, периферийные устройства (принтеры). Каждое АРМ должно специализироваться под «свои» задачи и иметь соответствующий интерфейс (мнемокарты, система меню, мнемосимволы, способы группировки информации и т.п.) и специализированное программное обеспечение. Установка на АРМ посторонних программ, не предусмотренных проектом ПТК АСУ ТП, запрещается. Кроме того, в отдельных подсистемах по усмотрению поставщика ПТК могут предусматриваться дополнительные АРМ для повышения эффективности работы подсистем АСУ ТП.

В АСУ ТП ПС, как правило, предусматриваются следующие виды АРМ:

- оперативного персонала (АРМ ОП);
- инженера-релейщика (АРМ РЗА), основная задача которого обеспечить работу с МП устройствами РЗА, ПА, РАС и ОМП в режиме «on-line», а также ретроспективный анализ полученной от них аварийной информации. Кроме того, с АРМ РЗА должны быть доступны

и функции контроля режимных параметров и положения КА, а также функции по работе с архивами;

– инженера, обслуживающего ПТК АСУ ТП (АРМ АСУ), предназначенного для выполнения инструментальных, отладочных и диагностических функций по отношению к средствам ПТК АСУ ТП.

Функции АРМ РЗА и АРМ АСУ могут быть реализованы с помощью совмещенного инженерного АРМ – АРМ СИ, в составе которого предусматриваются специальные средства, прежде всего соответствующее специальное (технологическое) программное обеспечение, для каждого из АРМ.

АРМ РЗА и АРМ АСУ должны также обеспечивать выполнение практически всех функций АРМ ОП, за исключением функций управления.

Комплексы технических средств АРМ РЗА и АРМ АСУ должны включать как стационарную рабочую станцию, постоянно подключенную к ЛВС ПТК и МП терминалам РЗА, ПА, так и переносной компьютер, который используется для проверочно-наладочных работ.

При переходе ПС на «необслуживаемый» режим эксплуатации размещенные на подстанции АРМ персонала будут использоваться в качестве АРМ персонала оперативно-выездной бригады – ОВБ.

3.2.11. Организация АРМ оперативного персонала (АРМ ОП). В составе АРМ ОП, размещаемого на подстанции и являющегося основным рабочим местом дежурного оперативного персонала (при работе ПС в обслуживаемом режиме) или персонала ОВБ (в перспективе – при работе ПС в «необслуживаемом» режиме), должны быть предусмотрены не менее двух рабочих станций контроля и оперативного управления оборудованием ПС с идентичными функциональными возможностями.

С рабочих станций АРМ ОП должна обеспечиваться возможность:

– оперативного управления КА и РПН трансформаторного оборудования;

– вывода оборудования в ремонт;

– изменение уставок аварийной и предупредительной сигнализации для аналоговых сигналов;

– переключения рабочих групп уставок МП устройств РЗА;

– доступа к зарегистрированной средствами подсистемы РАС аварийной информации (событиям и осциллограммам) и другой архивной информации и ее анализа;

- установки нормального положения для контролируемых устройств;
- квитирования сигналов АС и ПС;
- установки предупреждающих и запрещающих плакатов, плакатов переносных заземлений.

Для оперативного отображения информации должны использоваться экраны процесса (мнемосхемы, видеокадры), конкретные формы и содержание которых определяются на стадии разработки рабочей документации и согласуются с Заказчиком.

Для контроля и управления подстанцией в целом экраны процесса должны отражать:

- текущий режим и состояние главной электрической схемы ПС;
- текущий режим и состояние схем СН 10 и 0,4 кВ, а также схемы ЩПТ;
- данные мониторинга состояния электрооборудования;
- состояние устройств систем РЗ, автоматики (ПА, АРН, АЧР, АВР, АПВ, УРОВ и др.), АИИС КУЭ, средств АСУ ТП и КСТСБ.

Информация должна представляться в виде однолинейных мнемосхем, обеспечивая при этом:

- визуализацию технологических объектов, фактических параметров и сигналов, поступающих в систему контроля и управления;
- навигацию по видеокадрам по принципу «от общего к частному» и наоборот;
- отображение предупредительных и аварийных сигналов, предупреждающих плакатов, а также наличие возможности квитирования этих сигналов;
- отображение неготовности аппаратуры к управлению и потери достоверности информации (в том числе – в части положения коммутационной аппаратуры);
- поддержку диалога для выполнения функций управления с отображением ответной информации, поступающей от управляемого объекта;
- в составе видеокадров на АРМ ОП должны быть мнемосхемы, визуализирующие логику алгоритмов блокировок с отображением состояния КА, сигналов и логических элементов, предназначенных для определения причины запрета управления КА.

Помимо текущей оперативной информации должна быть возможность вызова на экран информации из архива АСУ ТП и ее обработки с фильтрацией по заданным признакам.

3.2.12. Функциональные требования к АРМ РЗА (инженера-релейщика). В составе АРМ РЗА предусматриваются ПТС для выполнения с помощью соответствующего специального инструментария следующих функций:

- дистанционный просмотр конфигурации, уставок, состояний дискретных входов/выходов, диагностических параметров существующих МП устройств РЗА;
- дистанционное изменение как отдельных уставок, так и активной группы уставок устройств МП РЗА в диалоговом режиме;
- считывание и визуализация событий и осциллограмм из существующих МП устройств РЗА, а также существующих и вновь установленных устройств РАС в ручном и автоматическом режиме;
- считывание EventLog и TripLog из терминалов защит;
- выдача считанных осциллограмм в формате COMTRADE с целью их дальнейшей обработки;
- доступ к архиву уже считанных осциллограмм и событий для ретроспективного анализа.

Отображаемые на рабочих станциях АРМ СИ экраны процесса должны содержать мнемокадры, обеспечивающие доступ к МП терминалам РЗА и устройствам РАС. Должна быть предусмотрена возможность вывода на печать результатов анализа (осциллограмм, перечня событий и др.).

При обработке и отображении осциллограмм средствами АРМ инженера-релейщика в составе АРМ СИ должна обеспечиваться возможность:

- совмещения на одной осциллограмме графиков аналоговых и дискретных величин, в том числе аналоговых и дискретных сигналов от разных присоединений (задается при конфигурировании);
- совмещения на одном экране с общей осью времени осциллограмм (относящихся к одному аварийному событию) от разных устройств – с возможностью ручной подстройки времени;
- измерения первичных и вторичных значений (мгновенных и действующих) электрических параметров и режима «прокрутки» осциллограмм;
- изменения масштаба по осям X, Y графиков и цвета кривых, пометка точек маркерами и включения и отключения отдельных сигналов;
- отображения измеренных первичных и вторичных значений электрических параметров и измеренных величин в виде графика изменения мгновенных или действующих значений;

– определения амплитудных и действующих значений токов и напряжений, а также измерения временных интервалов, построения векторных диаграмм и спектрального анализа; фильтрации U, I по первой гармонике и выделения и измерения симметричных составляющих, построения годографа сопротивлений.

3.2.13. Функциональные требования к АРМ инженера АСУ, обслуживающего ПТК. АРМ инженера АСУ предназначен для выполнения инструментальных, отладочных и диагностических функций по отношению к программно-техническим средствам АСУ ТП. В состав функций, реализуемых посредством АРМ инженера АСУ, входят:

– управление текущей (оперативной) базой данных (структура БД, атрибуты всех аналоговых и дискретных сигналов: идентификаторы, типы, признаки, апертуры, уставки, масштабы, тексты сообщений и т.д.);

– подготовка и корректировка мнемосхем (включая привязку к сигналам, анимацию и т.п.) и технологических программ управления;

– конфигурирование ЛВС (назначение свойств абонентов сети – АРМ / шлюзы / контроллеры; структурирование сетей, определение прав пользователей – пароли/функции);

– разработка форм отчетов и протоколов, а также загрузка, подготовка, отладка и обновление программ (в АРМ, контроллеры, шлюзы и др.).

3.3. СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНОГО ВРЕМЕНИ И СИНХРОНИЗАЦИИ

Ниже рассмотрим требования, устанавливаемые к системе обеспечения единого времени (СОЕВ) ЦПС, включая также требования к подсистеме инструментальной синхронизации.

Система обеспечения единого времени и синхронизации является неотъемлемым архитектурным компонентом ЦПС (рис. 3.3) [2].

Будучи неразрывно связанной с инфраструктурой передачи информации (ИПИ), СОЕВ обеспечивает единство ведения времени на всех технических средствах ЦПС, в чем и состоит ее целевое назначение. СОЕВ выполняет две неразрывно связанные и дополняющие друг друга обобщенные функции: календарную и инструментальную синхронизацию, которые реализуются за счет коммутационных и трансляционных механизмов.

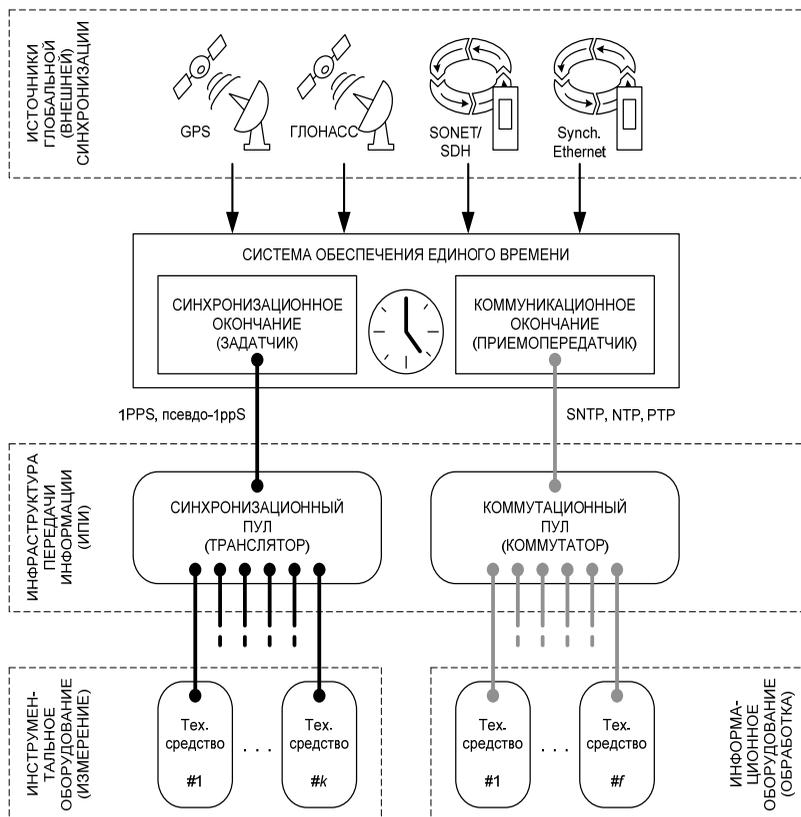


Рис. 3.3. Система обеспечения единого времени ЦПС

3.3.1. Источники глобальной (внешней) синхронизации. СОЕВ должна поддерживать следующие источники глобальной (внешней) синхронизации: GPS, ГЛОНАСС, SONET/SDH, и Synchronous Ethernet. Конкретная реализация СОЕВ должна поддерживать как минимум один указанный источник, самих же источников, в том числе и прочих, не указанных здесь, но доступных на месте эксплуатации, СОЕВ может поддерживать несколько. Для коммуникационных источников, таких как сети SONET/SDH и Synchronous Ethernet, в СОЕВ может быть предусмотрено несколько входов, считающихся независимыми. Точность приема (восстановления) синхронизационного сигнала, распространяемого спутниковой системой GPS, должна соответствовать стандартной точности сигнала L1 C/A.

Точность приема (восстановления) синхронизационного сигнала, распространяемого спутниковой системой ГЛОНАСС, должна соответствовать стандартной точности любого из доступных (устойчиво принимаемых СОЕВ) сигналов L1, L2 и (или) L3.

Точность приема (восстановления) тактового сигнала, переносимого коммуникационной сетью SONET/SDH, должна соответствовать точности восстановления синхронизирующей составляющей сигнала E1, ITU-TG.703.

Точность приема (восстановления) тактового сигнала, переносимого коммуникационной сетью SynchronousEthernet, должна соответствовать требованиям, установленным ITU-T G.8261 и ITU-TG.8262.

Информационная неполнота синхронизационного сигнала, переносимого коммуникационной сетью SONET/SDH, может и должна быть компенсирована коммуникационными протоколами, присутствующими в самой сети, а при их отсутствии специально вводимыми в сеть.

Информационная неполнота синхронизационного сигнала, переносимого коммуникационной сетью SynchronousEthernet, должна быть скомпенсирована коммуникационными протоколами, специально вводимыми в саму сеть (например, NTP, RFC 1305, или PTP, IEEE 1588).

При выборе источников глобальной (внешней) синхронизации и назначении им приоритетов в пределах СОЕВ рекомендуется считать, что:

- а) наиболее доступен и отлажен GPS;
- б) менее доступным и отлаженным, а потому менее предпочтительным по сравнению с GPS является ГЛОНАСС;
- в) сеть SONET/SDH является предпочтительной, если интеграция ЦПС с «внешним миром» организована на базе сети подобного рода;
- г) аналогично, сети SynchronousEthernet необходимо отдавать предпочтение, когда межподстанционная и (или) целевая интеграционная сеть организуется именно по такой технологии.

3.3.2. Ведение единого времени техническими средствами. Технические средства, для корректной работы которых погрешность (точность) ведения времени соответствует классу T1 по IEC 61850-5 или вообще неважна, должны исполнять требования протоколов SNTP, RFC 1361.

Технические средства, для корректной работы которых погрешность (точность) ведения времени удовлетворяет классу T2, IEC 61850-5, должны исполнять протокол NTP, RFC 1305.

Технические средства, для корректной работы которых погрешность (точность) ведения времени удовлетворяет классу Т3, IEC 61850-5, должны исполнять протокол РТР, IEEE 1588.

Технические средства, для корректной работы которых погрешность (точность) ведения времени удовлетворяет классу Т4 по IEC 61850-5, рекомендуется использовать сигнал системы инструментальной синхронизации; допускается также использовать протоколы РТР, IEEE 1588. На сегодняшний день поведение протокола РТР и обеспечение им точности указанного класса в сложных, виртуально сегментированных сетях с прочим трафиком реального времени мало изучено.

Технические средства, для корректной работы которых погрешность (точность) ведения времени удовлетворяет классу Т5, IEC 61850-5, должны использовать сигнал системы инструментальной синхронизации.

3.3.3. Инструментальная синхронизация. Обеспечивает в рамках ЦПС ведение техническими средствами времени с погрешностью по классам Т4 или Т5, IEC 61850-5. Рекомендуется использовать только один класс точности для инструментальной синхронизации в пределах ЦПС.

Для инструментальной синхронизации СОЕВ должна воспроизводить, ИПИ транслировать, а технические средства, соответственно, принимать сигнал инструментальной синхронизации, имеющий, что рекомендуется, форму 1PPS или, что допускается как перспектива, форму NMEA.

Сигнал, воспроизводимый СОЕВ по форме 1PPS, должен соответствовать форме одноименного сигнала, установленной IEC 60044-8. При этом не обеспечивается календарная синхронизация.

Сигнал, воспроизводимый СОЕВ по форме NMEA, должен соответствовать форме информационной посылки, установленной NMEA0183, выполняемой с битовой скоростью 9600 бод и частотой повторения 1 посылка/с (календарное время соответствует секунде, в которую производится посылка). При этом обеспечивается календарная синхронизация.

3.3.4. Индивидуальные каналы синхронизации. Для особо ответственных контуров защиты и (или) управления, в том числе межподстанционных, допускается организовать дополнительные, индивидуальные каналы синхронизации (ИКС) между выполняющими эти функции техническими средствами. Допускается организовать ИКС между:

- техническими средствами, находящимися на одной подстанции;

– техническими средствами, находящимися на различных подстанциях.

ИКС, организуемый между, как правило, двумя техническими средствами, находящимися на одной подстанции, должен напрямую соединять такие технические средства и переносить в одну, а при наличии технической необходимости, в обе стороны сигнал, аналогичный по информационному содержанию сигналу, воспроизводимому на синхронизационном окончании СОЕВ. ИКС, организуемый между, как правило, двумя техническими средствами, находящимися на различных подстанциях, должен либо напрямую, либо опосредованно соединять такие технические средства. Прямой ИКС должен соединять такие технические средства аналогично «внутриподстанционному» ИКС. Опосредованный ИКС должен соединять СОЕВ (а уже через них сами технические средства) подстанций и рассматриваться ими (СОЕВ) как один из глобальных (внешних) источников синхронизации. Рекомендуется «межподстанционный» ИКС организовать на основе выделенного соединения между подстанциями, а также на основе общего для таких подстанций сегмента электрической сети, в том числе используя колебания основной частоты (50 Гц) электрического сигнала в качестве сигнала синхронизации (псевдо-50ppS).

3.3.5. Резервирование. Рекомендуется резервировать СОЕВ на уровне комплектов. Кратность резервирования определяется уровнем ответственности функций синхронизируемых устройств. В частности, для цифровых ТТ и ТН с протоколом IEC 61850-9.2 отсутствие синхронизации даже в течение 1 мин приведет к потере основных функций всех подключенных с сети устройств. Допускается оставлять общими приемники глобальной (внешней) синхронизации, особенно, внешние антенно-фидерные устройства. Резервирование СОЕВ должно быть организовано по принципу подчиненности и принципу самостоятельности (автономности) резервируемых комплектов и (или) компонентов СОЕВ.

Связи между резервируемыми комплектами СОЕВ, предназначенные для отслеживания комплектом состояния других комплектов должны быть организованы за счет «обратных связей», т.е. соединений с синхронизационным пулом, по которым последний возвращает задаваемое на него активным комплектом синхронизационное воздействие. Допускается организовывать дополнительные связи, предназначенные для отслеживания комплектом состояния своих оппонентов за счет каких-либо прямых соединений между ними.

Выводы

1. Программно-технический комплекс АСУ ТП представляет собой иерархическую, рассредоточенную и распределенную открытую архитектуру, соответствующую отечественным и международным стандартам, состоящую из аппаратно и программно совместимых технических средств, объединенных локальными вычислительными сетями с обеспечением высокой живучести и надежного функционирования системы при возможных отказах оборудования, ошибках персонала и возникновении непредвиденных ситуаций.

2. Микропроцессорные устройства контроля, управления и измерения нижнего уровня: РЗА и ПА, связи с объектом, регистрации аварийных событий и процессов, определения места повреждения на ЛЭП, контроля показателей качества электроэнергии, – обеспечивают решение быстродействующих задач сбора и обработки информации, контроля, учета и управления для оборудования переменного тока ЦПС.

3. Устройства верхнего уровня в виде средств: организации АРМ персонала подстанции, хранения и представления информации (серверы SCADA-системы, информационное хранилище подсистемы ССПТИ), а также локальной вычислительной сети, объединяющей серверы и рабочие станции АРМ персонала, – обеспечивают решение функциональных задач инженеров РЗА, АСУ и оперативного персонала ЦПС.

4. Система обеспечения единого времени ЦПС с календарной и инструментальной синхронизацией поддерживает источники глобальной (внешней) синхронизации: GPS, ГЛОНАСС, SONET/SDH и Synchronous Ethernet и обеспечивает единство ведения времени во всех информационных и управляющих системах ЦПС, рассмотренных ниже в четвертой главе.

4. ИНФОРМАЦИОННЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

В четвертой главе рассмотрены автоматизированные системы управления технологическими процессами, контроля и учета электроэнергии, напряжением в Единой национальной электрической сети, а также система сбора производственно-технологической информации на цифровых подстанциях.

4.1. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Рассмотрим основные факторы и направления, характеризующие отличия и перспективы развития технологических подсистем современных АСУ ТП подстанций при переходе к ЦПС согласно [2].

1. АСУ ТП или подстанционные системы сбора и передачи информации (ССПИ или системы телемеханики – ТМ), создаваемые в настоящее время на подстанциях ЕНЭС, по своему функционально-технологическому наполнению ориентированы в первую очередь на обеспечение оперативно-технологического управления оборудованием ПС и прилегающих электрических сетей, осуществляемого дежурным оперативным персоналом ПС, выполняющим команды и распоряжения диспетчерского персонала соответствующего ДЦ Системного оператора. С этой целью одной из обязательных функций АСУ ТП является сбор и передача в ДЦ СО достижимого объема оперативной информации о режиме и состоянии сети – телеинформации с точки зрения задач диспетчерского персонала СО. Поэтому усилия разработчиков АСУ ТП (или объектных ССПИ) направлены, прежде всего, на обеспечение требуемой наблюдаемости электрической сети в нормальных и аварийных режимах.

2. Кроме того, в настоящее время создаются центры управления сетями (ЦУС), являющиеся структурными подразделениями сетевой компании и осуществляющие функции технологического управления и ведения в отношении объектов электросетевого хозяйства, входящих в их эксплуатационную зону [15, 17, 18].

Поэтому обязательными и важнейшими задачами АСУ ТП становятся задачи сбора, обработки и передачи в ЦУС значительного объема оперативной информации (телеинформации), используемой для целей оперативно-технологического управления оборудованием подстанций из ЦУС, а также неоперативной технологической информации (НТИ), необходимой для эффективного управления процессами эксплуатации электросетевого оборудования.

3. Таким образом, АСУ ТП подстанции ЕНЭС становится системой (подсистемой) нижнего уровня в рамках иерархической системы диспетчерского управления ОЭС, снабжая высшие уровни иерархии полной и достоверной информацией о функционировании ПС, т.е. системой (подсистемой) нижнего уровня в создаваемой многоуровневой иерархической системе технологического управления (АСТУ) ОАО «ФСК ЕЭС» и его филиалов МЭС, обеспечивающей рациональную автоматизацию основных видов деятельности МЭС на основе активного использования значительного объема технологической информации о состоянии и режимах функционирования контролируемого и управляемого оборудования ПС и прилегающих участков электрических сетей.

4. Характерной особенностью современных АСУ ТП, создаваемых на новых и комплексно реконструируемых подстанциях ЕНЭС, становится выполнение ими функций интеграции с автономными смежными системами подстанции. Такими системами являются основные информационно-технологические и управляющие системы, включая:

- релейную защиту и автоматику (РЗА);
- противоаварийную автоматику (ПА);
- систему коммерческого (и технического) учета электроэнергии (АИИС КУЭ);
- системы контроля (мониторинга) состояния электротехнического оборудования ПС (трансформаторного оборудования, щитов постоянного тока (ЩПТ), щитов собственных нужд (ЩСН) и др.);
- автономно функционирующие устройства регистрации аварийных событий и процессов (РАС), определения места повреждения на ВЛ (ОМП), контроля качества электроэнергии (ККЭЭ), организации векторных измерений тока и напряжения для целей системы мониторинга переходных процессов (СМПР);
- комплексы средств связи (передачи оперативной и неоперативной информации в центры управления).

Указанные системы – помимо выполнения своего основного назначения – используются как интегрируемые функциональные подсистемы АСУ ТП.

В состав интегрируемых систем (подсистем) подстанции в последние время все более полно включаются также инженерные и вспомогательные системы, в том числе:

- комплекс систем технических средств безопасности – КТСБ (охранное и технологическое видеонаблюдение, пожарная и охранная сигнализация зданий, охранная сигнализация периметра ПС, контроль и управление доступом, оповещение и управление эвакуацией, охранное освещение);
- пожаротушение и система вентиляции помещений и т.п.

Под интеграцией понимается объединение технических и/или программных ресурсов отдельных систем и/или подсистем, заключающееся в обеспечении строго регламентированных информационных взаимосвязей между ними, основанных на использовании стандартных протоколов обмена данными. Степень интеграции может быть различной: в полностью интегрированных системах для объединяемых устройств существует единая среда настройки, поддерживаемая соответствующими инструментальными программными средствами, используемыми при разработке, внедрении и эксплуатации системы; при минимальной степени интеграции могут использоваться разные среды настройки.

4.1.1. Основные общие требования к интеграции. Интегрируемые подсистемы (устройства) должны выполнять свои основные функции практически независимо от состояния других средств автоматизации на ПС – это обеспечивает требуемый уровень надежности функционирования и живучести, как отдельных узлов, так и всего комплекса управления в целом.

В общем случае информационный обмен между интегрируемыми подсистемами (устройствами) и АСУ ТП должен включать передачу следующих данных:

- измеряемые и вычисляемые параметры, характеризующие текущий режим и состояние контролируемого и управляемого оборудования;
- статусные сигналы (недоверенность выдаваемой информации, неисправности, потеря сигнала единого времени и т.д.);
- специальная информация (осциллограммы, информация об уставках и внутренней логике, временные срезы и т.п.);
- команды к исполнительным органам, органам настройки, квитирования местной сигнализации.

Информационный обмен между МП устройствами смежных систем и АСУ ТП должен осуществляться в цифровом виде с использованием международных стандартных протоколов МЭК с помощью внутрисистемных средств коммуникации.

Перечисленные особенности, характерные уже для создаваемых в настоящее время АСУ ТП подстанций ЕНЭС, естественно сохраняются и углубляются при переходе к построению «цифровых» подстанций.

Подводя итог рассмотрению основных особенностей и тенденций создания систем управления подстанциями ЕНЭС, сформулируем основные общие факторы и направления, характеризующие перспективы развития современных АСУ ТП, прежде всего их технологических функциональных подсистем, при переходе к ЦПС.

1. Оснащение современных подстанций ЕНЭС основным электро-техническим оборудованием, сочетающим высокую надежность функционирования и управляемость с цифровизацией информационного обмена с подстанционной системой контроля и управления, позволит в рамках ЦПС практически реализовать планируемый переход на «необслуживаемые» подстанции ЕНЭС, т.е. на управление подстанцией без постоянного дежурства на ней оперативного персонала – с использованием прямого телеуправления оборудованием ПС из центров управления сетями (ЦУС) ФСК (с возможностью телеуправления объектами диспетчеризации, находящимися в диспетчерском управлении, из ДЦ). Это станет возможным, прежде всего, благодаря передаче в ЦУС и в диспетчерские центры Системного оператора значительных объемов оперативной технологической информации (телеинформации), достаточных для достижения практически полной наблюдаемости электрической сети и с точки зрения задач оперативно-диспетчерского управления под эгидой ДЦ Системного оператора, и с точки зрения задач оперативно-технологического управления, осуществляемого ЦУС.

2. Другим направлением функционального развития современных интегрированных АСУ ТП подстанций ЕНЭС является рациональная автоматизация процессов обработки (в том числе «интеллектуальной») текущей информации, принятия и выполнения решений по управлению оборудованием подстанции и координации основных информационно-технологических и управляющих систем ЦПС на основе использования актуализируемых математических моделей технологических процессов ПС, реализуемых средствами функциональной координирующей подсистемы (ФКП) в составе АСУ ТП. Внедрение подсистем ФКП существенно повысит эффективность управления подстанциями ЕНЭС, особенно телеуправления «необслуживаемыми» подстанциями из удаленных центров управления, облегчит реализацию задач централизованного противоаварийного управления и т.п. Вопросы организации и функционирования указанной подсистемы рассмотрены в разделе 3 концепции [3].

Таким образом, если современная АСУ ТП является, прежде всего, системой реального времени, ориентированной на поддержку оперативного персонала по непосредственному мониторингу и управлению подстанцией и осуществляющей сбор, первичную обработку, сохранение, представление и передачу максимально доступного объема технологической информации (и оперативной, и неоперативной), то построение в составе АСУ ТП ПС функциональной координирующей подсистемы позволит перейти к существенно более высокому уровню автоматизации обработки собранной информации (не первичной, а по алгоритмам, нацеленным на обеспечение максимальной эффективности решения задач центров управления).

Существенное увеличение объемов технологической информации (прежде всего, неоперативной, включающей данные регистрации аварийных событий и процессов (РАС), мониторинга состояния оборудования ПС, контроля качества электроэнергии и т.п.), сделает реальным быстрое дальнейшее развитие АСТУ ФСК, делающей в настоящее время первые шаги.

АСТУ представляет собой систему, обеспечивающую всестороннюю поддержку процессов управления различными видами деятельности (прежде всего, оперативно-технологической и производственно-технической деятельности) филиалов ФСК – МЭС с соответствующими предприятиями – ПМЭС, центрами управления сетями (ЦУС) и подстанциями, эффективность которой невозможна без рационального использования значительных объемов технологической информации в основных бизнес-процессах ФСК.

АСТУ создается как единая распределенная иерархическая система, обеспечивающая поддержку обеих иерархических вертикалей технологического управления ЕНЭС: управления процессами функционирования (режимами) ЕНЭС и управления процессами эксплуатационного обслуживания, ремонта и развития электрических сетей.

Как система управления функционированием сетей АСТУ интегрирует средства самостоятельно развивающихся автоматических и автоматизированных систем (АСДУ, ПА, РЗА, АИИС КУЭ, АРЧМ, АРН; АСУ ТП энергообъектов, систем связи), обеспечивая необходимый интерфейс с системами управления СО, АТС, генерирующих и сетевых компаний.

Как система управления эксплуатацией ЕНЭС АСТУ объединит средства и системы автоматизации оперативно-технологической и производственно-технической деятельности служб МЭС и ПМЭС по организации процессов эксплуатации, ремонта и развития магистральных электрических сетей.

Следует отметить, что в процессе развития (или создания) на подстанциях ЕНЭС АСУ ТП (прежде всего, программно-технических средств и подсистем сбора, обработки, хранения и передачи неоперативной технологической информации) необходимо, чтобы виды, номенклатура и объемы собираемых, вычисляемых и передаваемых данных определялись на основе анализа реальных потребностей конечных пользователей – персонала служб МЭС (ПМЭС) и исполнительного аппарата ФСК. А также подсистем АСТУ, обеспечивающих их поддержку – при этом целесообразно обеспечить опережающую разработку и внедрение соответствующих вертикально интегрированных иерархических подсистем АСТУ в целом, включая соответствующие компоненты и уровни подстанций, и уровней служб ФСК.

4.1.2. Основные требования к системам МП устройств РЗА и ПА. Для обеспечения устойчивости работы ЕНЭС, в том числе, устойчивости нагрузки, минимальных объемов разрушения первичного оборудования (снижение ущербов), отключение любого поврежденного элемента электрических сетей (линий, подстанционного оборудования – шин, автотрансформаторов, реакторов, трансформаторов и другого первичного оборудования) с требуемым быстродействием должно осуществляться действием релейной защиты. Восстановление элемента сети после его отключения от устройств релейной защиты должно выполняться, как правило, автоматически, за исключением случаев отключения оборудования, не допускающего автоматического повторного включения.

Состав и построение устройств РЗА транзитных присоединений 220...750 кВ должны обеспечивать сохранение функций защиты и автоматики элемента сети при выводе из работы любого терминала. Устройства РЗА и подсистема в целом должны обеспечивать функциональность и характеристики работы в соответствии с требованиями действующих нормативных документов (см. «ПУЭ», глава 3.2 Релейная защита»; «Общие требования к системам противоаварийной и режимной автоматики, релейной защиты и автоматики, телеметрической информации, технологической связи в ЕЭС России», РАО «ЕЭС России» 2008 г.; «Основные принципы выполнения релейной защиты и АПВ системообразующей сети ЕЭС России» и др.).

Релейная защита линии электропередачи должна содержать:

- основную быстродействующую защиту;
- ступенчатые резервные защиты;
- устройство резервирования отказа выключателя (УРОВ);
- автоматическое повторное включение (АПВ), в том числе

однофазное (ОАПВ).

Релейная защита автотрансформаторов 220...750 кВ должна содержать:

- два комплекта дифференциальной токовой защиты АТ;
- газовую защиту;
- защиту РПН с использованием струйных реле;
- резервные защиты на сторонах высшего, среднего и низшего напряжений;
- защиты от перегрузки всех обмоток, в том числе общей обмотки.

На шунтирующем реакторе (ШР) 500...750 кВ должны быть предусмотрены следующие устройства РЗА:

- два комплекта продольной дифференциальной токовой защиты;
- два комплекта поперечной дифференциальной токовой защиты – при наличии расщепленной обмотки реактора;

- газовая защита;
- токовая защита от КЗ на землю с использованием утроенного тока нулевой последовательности;
- технологическая защита.

Дифференциальная защита шин (ошиновок) должна иметь:

- измерительные органы, выполненные, как правило, на принципе торможения для отстройки от токов небаланса установившегося и переходного режимов при внешнем КЗ;
- автоматическое изменение начального тока срабатывания и действия защиты на отключение выключателей при изменении фиксации присоединений;
- устройство контроля исправности цепей переменного тока с действием на вывод ДЗШ (ДЗО) из работы и на сигнал с выдержкой времени;
- пуск УРОВ присоединений при срабатывании;
- возможность выполнения запрета ТАПВ присоединений при срабатывании ДЗШ, при фиксации недоотключения фаз одного из выключателей какого-либо присоединения, в том числе, оперативный ввод/вывод запрета АПВ шин;
- цепи запрета ТАПВ присоединений при неуспешном АПВ шин (при наличии АПВ шин);
- автоматическое повышение чувствительности измерительных органов при автоматическом или оперативном опробовании шин.

На трансформаторе должны быть предусмотрены следующие устройства РЗА:

- один комплект дифференциальной токовой защиты;
- газовая защита;
- защита устройства РПН;
- резервные защиты на сторонах высшего, среднего (для трехобмоточного трансформатора) и низшего напряжения;
- защиты от перегрузки обмоток трансформаторов.

Кроме того, должны быть обеспечены релейная защита и автоматика обходного выключателя, шиносоединительного (ШСВ) и секционного (СВ) выключателя, защита и автоматика КРУ.

Поскольку на устройства РЗА возложена весьма ответственная роль – защита от повреждения силового оборудования энергосистемы, а в энергосистемах накоплен большой опыт по методам и средствам обеспечения надежной работы РЗА, то вполне понятна и закономерна определенная консервативность в отношении нововведений в этой области.

В настоящее время осуществляется переход на микропроцессорные устройства РЗА, в том числе, совместимые по своим характеристикам с требованиями к системе обмена информацией и выполнения команд

от ПАК ЦПС, в частности, происходит унификация интерфейсов по протоколу IEC 61850-8.1, появляются первые устройства РЗА, поддерживающие информационный обмен по протоколу IEC 61850-9.2.

При создании ЦПС наиболее целесообразно использовать лучшие из имеющихся на сегодня образцов промышленной микропроцессорной аппаратуры РЗА, уже сейчас совместимые по интерфейсу с требованиями системы обмена информацией в ПАК ЦПС, т.е. поддерживающие протоколы и IEC 61850-8.1, и IEC 61850-9.2. Необходима интенсификация процессов разработки и внедрения полной «линейки» таких устройств РЗА, охватывающих все элементы электросетевого оборудования, особенно, терминалов РЗА, производимых отечественными фирмами.

Важной проблемой при разработке системы обмена информацией и команд РЗА является обеспечение требуемого гарантированного времени срабатывания защит. Эта задача требует проработки на этапе формирования технических решений.

Наряду с этим, системный подход к формированию РЗА на цифровой подстанции предполагает следующие основные направления модернизации:

- уменьшение энергопотребления терминалов РЗА в связи с отказом от интерфейсной части делает целесообразным использование встроенных источников электропитания, позволяющих обеспечить нечувствительность к кратковременным перерывам питания терминала;

- отсутствие традиционной интерфейсной части у терминалов позволяет унифицировать конструктивно-компоновочные решения и свести всю номенклатуру терминалов к 2-3 модификациям, различающимся практически только набором цифровых интерфейсов ввода/вывода данных, соответствующим программным обеспечением и человеко-машинным интерфейсом;

- унификация конструктивов терминалов РЗА и сетевых цифровых коммуникаций позволит упростить и сократить сроки проектирования шкафов и кабельных связей ЦПС; основные затраты времени переносятся на формирование задания на параметрирование терминалов; становится возможным и целесообразным расширение использования САПР для этой цели;

- реализация в терминалах РЗА функций инженерного управления параметрами настройки интерфейса по протоколу IEC 61850-9.2 (ввод/вывод ускорения и ступеней защит – аналог накладок и режимных ключей, блокирование ввода/вывода при внешнем тестировании терминала – аналог тест-блоков и др.);

- реализация в терминалах возможности резервирования источника сигнала (получение информации от эквивалентного резервного ТТ или ТН при неисправности «своего»);

- расширение возможностей по внешнему тестированию терминалов РЗА (кратковременный вывод терминала из работы, формирование в автоматическом режиме типовых воздействий и сравнение фактической реакции терминала с заданной по условиям успешного тестирования);

- расширение информационного обмена с полукомплектами РЗА на другом конце ВЛ (включая двухстороннее ОМП), в том числе, с использованием современных протоколов точной синхронизации;

- реализация в терминалах расширенной диагностики (самодиагностика, контроль состояния источников и приемников информации, а также каналов передачи информации, средств обеспечения единого времени, цифровых сетей).

Реализация вышеперечисленных качеств совместно с особенностями цифровых ТТ и ТН позволяет ожидать следующие функциональные преимущества:

- повышение надежности работы терминалов РЗА;
- повышение точности (обоснованности) работы РЗА в области малых токов и при переходных процессах с большой апериодической составляющей;

- повышение точности определения места повреждения на ВЛ;
- дополнительные возможности по реализации АПВ на воздушных участках кабельно-воздушных линий электропередачи;

- перспектива внедрения новых эффективных алгоритмов функционирования РЗА.

4.1.3. Общие требования к системе противоаварийной автоматики (ПА). Основной задачей системы противоаварийной автоматики (ПА) является локализация и предотвращение развития системных аварий, обеспечение синхронной работы отдельных частей Единой энергосистемы России (ЕНЭС) в послеаварийных режимах. Современные устройства и комплексы ИУ должны выполняться с использованием микропроцессорной техники. Система ПА может быть централизованной (с центральным устройством, связанным каналами передачи информации с остальными устройствами) и локальной (децентрализованной).

Ниже в табл. 4.1 согласно [2] указаны основные термины и обозначения применительно к системам ПА, рассматриваемых далее.

4.1.4. Структура системы ПА. Система ПА должна иметь следующую иерархическую структуру (см. рис. 4.1) [2]:

- верхний уровень централизованной ПА (ЦПА) для объединенного диспетчерского управления (ОДУ);
- нижний уровень ЦПА для энергоузлов или энергорайонов;
- станционный уровень ПА и отдельные локальные устройства или комплексы ПА.

Совокупность всех устройств ПА совместно с устройствами передачи аварийных сигналов и команд (УПАСК), устройствами сбора (датчиками мощности, тока и напряжения) и передачи доаварийной информации (устройствами телемеханики – УТ), исполнительными устройствами (ИУ) образуют систему противоаварийного управления соответствующего уровня.

4.1. Термины и обозначения

Обозначение	Назначение
АДВ	Автоматическая дозировка воздействий
АЗД	Автоматическое запоминание дозировки управляющих воздействий
АПНУ	Автоматическое предотвращение нарушения устойчивости
ИУ	Исполнительные устройства
ОДУ	Объединенное диспетчерское управление
ПА	Противоаварийная автоматика
ПА ПС (локальная ПА)	Станционный уровень ПА и отдельные локальные устройства или комплексы ПА
ПС	Подстанция
УВ	Управляющее воздействие
УОН	Устройство отключения нагрузки
УПАСК	Устройства передачи аварийных сигналов и команд
УТ	Устройства телемеханики – устройства сбора (датчики мощности, тока и напряжения) и передачи доаварийной информации
ЦВУ ЦПА	Центральное вычислительное устройство централизованной ПА
ЦПА	Централизованная ПА
ЦПА ОДУ	Верхний уровень ЦПА – уровень ОДУ
ЦПА РДУ (ЦПА энергоузла, энергорайона)	Нижний уровень ЦПА – уровень РДУ, энергоузла или энергорайона

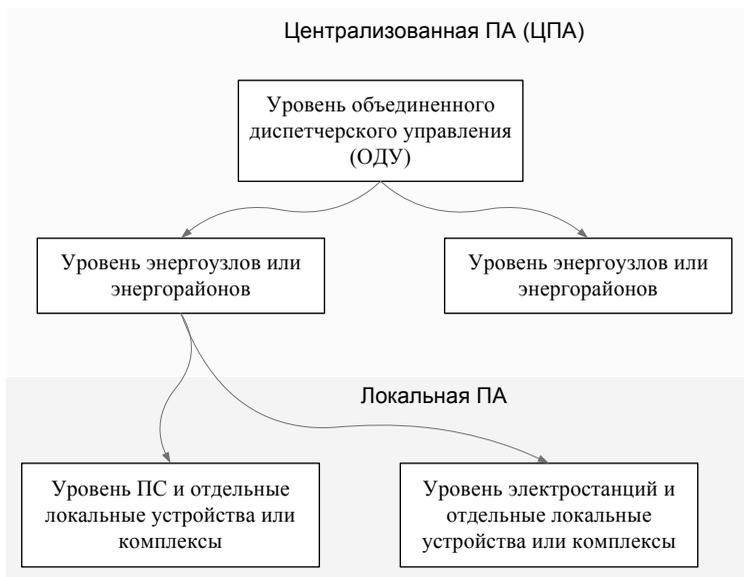


Рис. 4.1. Структура противоаварийной автоматики

В состав верхнего уровня ЦПА входят:

- центральное вычислительное устройство (ЦВУ) с программным обеспечением;
- оконечные устройства системы сбора доаварийной информации;
- каналы связи межмашинного обмена между ЦВУ и устройствами ПА нижнего уровня.

Основной функцией ЦВУ является выполнение расчетов управляющих воздействий (УВ) в реальном времени для заданных пусковых органов с учетом заданного допустимого небаланса мощности. Расчеты УВ периодически повторяются для учета текущих изменений режима объекта управления. Результаты расчетов в форме таблицы УВ передаются по каналам связи межмашинного обмена в устройства ПА нижнего уровня, где автоматически запоминаются. Устройства ЦПА нижнего уровня осуществляют непосредственное противоаварийное управление при возникновении объективных требований на срабатывание. Каждый из комплексов ПА нижнего уровня может работать как совместно с ЦВУ ЦПА, так и в автономном режиме.

Функции расчета управляющих воздействий в реальном времени могут выполнять ЦПА нижнего уровня, при этом ЦПА верхнего уровня может выполнять функции координации ЦПА энергоузлов и энергорайонов.

Технические требования на координирующие центральные устройства ПА определяются и уточняются при разработке проектов ОАО «СО-ЦДУ ЕЭС России» по согласованию с ОАО «ФСК ЕЭС».

На ПС ОАО «ФСК ЕЭС» могут устанавливаться:

- локальные устройства или комплексы ПА;
- ЦПА энергоузлов или энергорайонов;
- устройства сбора информации, УПАСК и УТ;
- ИУ типа устройства отключения нагрузки (УОН).

Система противоаварийного управления должна осуществлять:

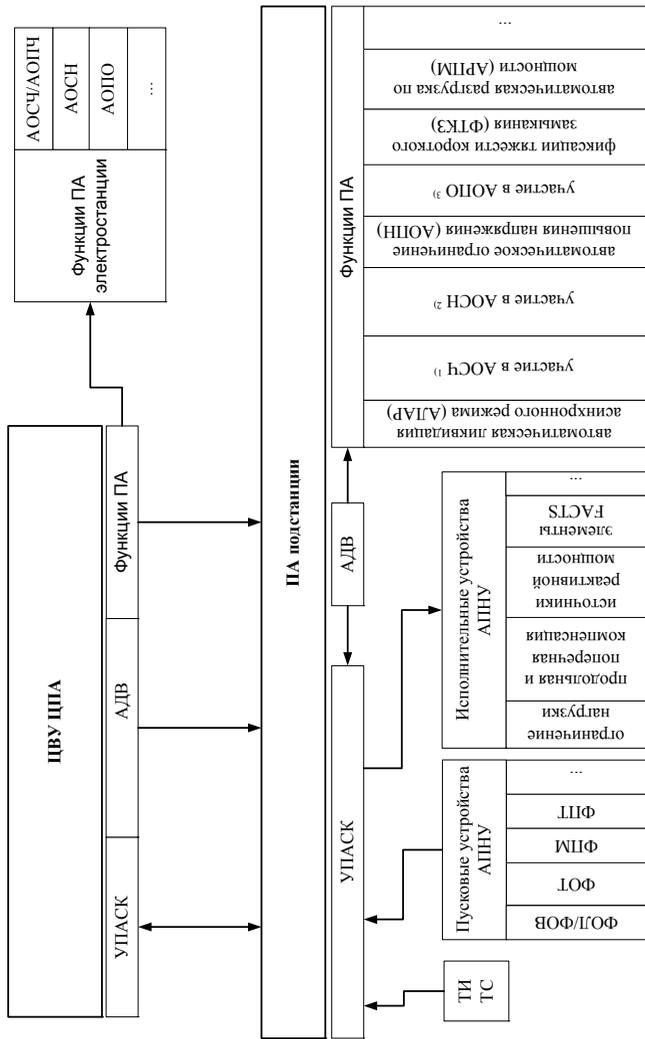
- сбор, передачу и обработку доаварийной информации;
- расчет управляющих воздействий;
- автоматическое запоминание дозирования управляющих воздействий (АЗД);
 - цикл аварийного управления – вывод и передачу управляющих воздействий при поступлении пусковых сигналов;
 - связь с верхним уровнем управления;
 - связь с нижним уровнем;
 - автоматическое и ручное управление режимами работы, реализацию команд управления от устройств верхнего уровня;
 - реализацию управляющих воздействий;
 - автоматический контроль и тестирование аппаратной части;
 - ведение протокола и архивирование данных о работе устройства;
 - интеграцию в АСУ ТП;
 - сервис (оперативное, техническое обслуживание, сигнализацию).

ЦПА энергоузлов или энергорайонов должны сочетать в себе две функции:

- автоматического предотвращения нарушения устойчивости локального энергоузла или энергорайона (АПНУ);
- удаленного контроллера (УК) ЦПА верхнего уровня (локального АДВ).

4.1.4. Диаграмма ПА подстанции. На рис. 4.2 приведена укрупненная диаграмма ПА подстанции, указаны основные функциональные элементы и связь в ЦПА [2].

4.1.5. Функция автоматического дозированного воздействия (АДВ). Для обеспечения АПНУ ЦПА должны обеспечивать циклический расчет управляющих воздействий (УВ) в соответствии с действующими нормативами и немедленную реализацию (выдачу команд) УВ при возникновении объективного требования на срабатывание ПА – функция автоматического дозированного воздействия.



Примечания:
 1) Частотная разгрузка - отключение (разгрузка) потребителей.
 2) Генерация реактивной мощности и/или отключение (разгрузка) потребителей.
 3) Отключение нагрузки, деление системы и в последнюю очередь на отключение перегружающегося оборудования

Рис. 4.2. Диаграмма ПА подстанции

4.1.6. Функция локального АДВ. Локальное АДВ должно управлять системой транспорта аварийных сигналов и команд, поступающих от сервера, размещенного на ЦВУ ЦПА.

В такой конфигурации ЦПА УК в доаварийном режиме должен получать от сервера результаты расчетов УВ в виде таблиц, устанавливающих соответствие между сигналами пусковых органов и командами УВ. Таблицы обновляются в темпе циклического перерасчета УВ сервером.

При поступлении на входные блоки локального АДВ сигнала об аварийном одиночном возмущении (простой пусковой орган) должны быть прерваны все доаварийные программы и запущена программа цикла аварийного управления, которая идентифицирует поступивший сигнал, производит выборку УВ из полученной в последнем цикле обмена с сервером таблицы и выдает команды управления на выходные блоки.

При возникновении множественных аварийных возмущений, возникающих одновременно или каскадно, на входные блоки УВ поступает несколько аварийных сигналов, трактуемых как сложный пусковой орган. В сложном пусковом органе должны рассматриваться лишь технологически связанные совместные отключения элементов сети на принятом интервале квазиодновременности. Учет сложных пусковых органов не должен приводить к увеличению времени срабатывания для простых пусковых органов. УВ сложных пусковых органов не должно входить в противоречие с УВ простых пусковых органов.

4.1.7. Функции локальных микропроцессорных устройств или комплексов ПА:

- автоматическая ликвидация асинхронного режима (АЛАР);
- автоматическое ограничение снижения частоты (АОСЧ);
- автоматическое ограничение снижения напряжения (АОСН);
- автоматическое ограничение повышения напряжения (АОПН);
- автоматическое ограничение перегрузки оборудования (АОПО);
- фиксации тяжести короткого замыкания (ФТКЗ);
- автоматическая разгрузка по мощности (АРПМ);
- другие необходимые функции.

Примечание: функция ПА автоматического ограничения повышения частоты (АОПЧ) реализуется на электростанциях.

4.1.8. Автоматическая ликвидация асинхронных режимов (АЛАР). АЛАР предназначена для автоматического выявления и ликвидации асинхронных режимов (АР) в электрических сетях. АЛАР должна селективно выявлять двухмашинный АР и фиксировать наличие электрического центра качаний (ЭЦК) на контролируемом участке ЭЭС, а также фиксировать знак скольжения не синхронно движущихся частей ЭЭС.

Функция АЛАР должна быть ступенчатой и обеспечить на каждой ступени формирование выходных сигналов, соответствующих избыточной и дефицитной частям ЭЭС.

Первая ступень устройства должна выявлять АР на его первом цикле с учетом знака относительного скольжения. Действие II ступени должно осуществляться после заданного числа циклов АР при наличии ЭЦК в контролируемой устройством зоне.

Действие III ступени должно разрешаться через заданное время с контролем заданного числа циклов АР. При этом ЭЦК должен находиться в контролируемой устройством зоне.

В АЛАР должен быть предусмотрен контроль длительности циклов асинхронного режима.

Резервная АЛАР:

– предназначена для резервирования по принципу действия основного АЛАР;

– используется как самостоятельная в случае отсутствия основной (по принципу действия может не отличаться от основной АЛАР, при этом должна быть отстроена от основной по параметрам срабатывания).

4.1.9. Автоматическое ограничение снижения частоты (АОСЧ). Функция АОСЧ предназначена для предотвращения работы потребителей и оборудования с частотой ниже установленных значений. Реализация функции требует участия как ПС, так и электростанций.

Система АОСЧ должна быть децентрализованной и охватывать район, работающий изолированно, или такой, который может быть отделен от ОЭС. Система АОСЧ должна выполнять свою функцию при возможных для данного района аварийных дефицитах мощности.

АОСЧ осуществляет следующие функции.

На уровне ЦПА:

– автоматический частотный ввод резерва (АЧВР);
– выделение электростанций или генераторов со сбалансированной нагрузкой; выделение генераторов на питание собственных нужд электростанций (частотно-делительная защита – ЧДЗ).

На уровне ПА ПС:

– автоматическую частотную разгрузку (АЧР);
– дополнительную разгрузку, действующую при больших дефицитах мощности;
– восстановление питания отключенных потребителей при восстановлении частоты (ЧАПВ).

Автоматический частотный ввод резерва должен обеспечивать уменьшение объема отключения потребителей и сокращение времени перерыва электроснабжения потребителей, отключенных действием АЧР.

Автоматическая частотная разгрузка предусматривает отключение потребителей небольшими порциями – очередями по мере снижения частоты (в целях прекращения снижения частоты – АЧР1) или по мере

увеличения продолжительности существования пониженной частоты (в целях восстановления частоты до длительно допустимого значения – АЧР2). Устройства АЧР являются основой системы АОСЧ. Действие АЧР должно выполняться с блокировкой АПВ отключенных ВЛ.

Восстановление питания отключенных потребителей при восстановлении частоты (ЧАПВ) должно использоваться для уменьшения перерыва питания отключенных потребителей в условиях восстановления частоты в результате реализации резервов генерирующей мощности, ресинхронизации или автоматической синхронизации по отключающейся связи.

4.1.10. Автоматическое ограничение повышения частоты (АОПЧ). Устройства АОПЧ предназначены для предотвращения недопустимого повышения частоты, при котором возможно срабатывание автоматов безопасности турбин ТЭС, а также для ограничения длительного повышения частоты на ТЭС значением, при котором нагрузка блоков не выходит за пределы диапазона допустимых нагрузок.

Система АОПЧ должна охватывать любой район, который работает изолированно, или такой, который может быть отделен от остальной энергосистемы сечениями асинхронного режима, самопроизвольного или управляемого деления и т.п., с аварийным избытком мощности, приводящим к недопустимому повышению частоты.

Устройства АОПЧ ликвидируют аварийный избыток активной мощности района за счет отключения генераторов и деления системы.

4.1.11. Автоматическое ограничение снижения напряжения (АОСН). Устройства АОСН предназначены для предотвращения снижения напряжения в узлах энергосистемы в послеаварийных режимах до значений, не допустимых по условиям устойчивости нагрузки, и возникновения лавины напряжения.

Для ликвидации дефицита реактивной мощности устройства АОСН увеличивают ее генерацию (форсировка конденсаторов) и (или) уменьшают ее потребление (отключение шунтовых реакторов, отключение нагрузки, отключение линии).

4.1.12. Автоматическое ограничение повышения напряжения (АОПН). Система АОПН фиксирует повышение напряжения как на включенной, так и на отключенной с противоположного конца ВЛ и воздействует на местное отключение и на отключение на противоположном конце ВЛ по сигналу, передаваемому по каналу телепередачи.

Система АОПН должна фиксировать опасное повышение действующего и максимального значений напряжения и определять, является ли ВЛ, на которой установлено устройство, причиной повышения напряжения.

Система АОПН должна контролировать каждую из трех фаз отдельно.

4.1.13. Автоматическое ограничение перегрузки оборудования (АОПО). АОПО предназначено для ограничения тока в электрооборудовании сверх допустимого уровня с учетом длительности повышения.

Если ток не превосходит значения, допустимого в течение 20 мин и более, применение АОПО не требуется. АОПО обычно реагируют непосредственно на повышение тока в электрооборудовании, однако может выполняться с контролем температуры нагрева проводников. АОПО может иметь ступенчатое исполнение по контролируемому току и выдержке времени и действует на разгрузку электростанций (разгрузка турбин, отключение генераторов), а также на отключение нагрузки, деление системы и в последнюю очередь на отключение перегружающегося оборудования.

4.1.14. Фиксация отключенного состояния линии (ФОЛ). Функция ФОЛ предназначена для фиксации:

- трехфазного отключения линии;
- отключенного состояния линии (ремонт);
- включения линии после ремонта и после успешного АПВ.

Кроме того, ФОЛ в необходимых случаях может быть дополнительно использована для фиксации:

- начала работы цикла ОАПВ при отключении фазы;
- трехфазного отключения линии до ТАПВ;
- трехфазного отключения линии без ТАПВ;
- введенного или невведенного состояния УТАПВ (при фиксации времени бестоковой паузы);
- трехфазного отключения линии при неуспешном ОАПВ, ТАПВ, УТАПВ, при их отсутствии, выводе из работы или запрете УТАПВ.

ФОЛ должна фиксировать состояние ВЛ с того конца, где она установлена. Отключение ВЛ должно фиксироваться при срабатывании устройств любого конца, а включение – при работе обоих.

Аварийное отключение линии должно фиксироваться по сигналам:

- о действии релейной защиты на отключение трех фаз линии;
- о воздействии «отключить» на схемы управления выключателями;
- о положении выключателей вместе с их разъединителями.

4.1.15. Фиксация отключения выключателя (ФОВ).

Функция ФОВ может быть реализована как часть автоматики управления выключателями или часть ФОЛ.

ФОВ предназначена для:

- выдачи сигнала при отключении выключателя тремя фазами;
- выдачи сигнала при неполнофазном отключении выключателя;

- выдачи сигнала об отключенном состоянии линии при разомкнутых разъединителях, если выключатель находится во включенном состоянии;
- запоминания сформированных сигналов при исчезновении напряжения оперативного тока в цепях отключения выключателя;
- обеспечения автоматического съема сигнала при включении выключателя.

4.1.16. Фиксация тяжести короткого замыкания (ФТКЗ). Функция ФТКЗ обеспечивает фиксацию внезапного уменьшения трехфазной активной мощности на одном или двух элементах энергосистемы в результате короткого замыкания (К.З.).

ФТКЗ должно действовать по следующим показателям:

- сбросу активной мощности;
- снижению напряжения прямой последовательности.

4.1.17. Автоматическая разгрузка по мощности (АРПМ). АРПМ действует по факту увеличения активной мощности по ВЛ выше допустимой с контролем или без контроля напряжения с передачей сигналов управляющих воздействий на отключение нагрузки или генераторов.

4.1.18. Устройства передачи аварийных сигналов и команд (УПАСК). Система УПАСК должна состоять из резервируемых каналов. Передача команд ПА может выполняться по высокочастотным (по ВЛ) или цифровым каналам связи (по ВОЛС).

Команды ПА по этим каналам дублируются, кроме команды фиксации отключения линии (ФОЛ), передаваемой в устройства ПА с противоположного конца ВЛ.

Комплекс аппаратуры передачи (ПРД) и приема (ПРМ) должен осуществлять:

- передачу команд РЗ и ПА;
- прием команд РЗ и ПА ;
- непрерывный автоматический контроль исправности тракта;
- периодический контроль исправности функциональных узлов передатчика и приемника;
- запись в энергонезависимую память протоколов передачи и приема команд (дата, время, номер принятой и переданной команды);
- организацию (на контрольной частоте канала) передачи данных телемеханики;
- запоминание нескольких одновременно воздействующих управляющих команд и передачу их в порядке установленного приоритета;
- прерывание цикла передачи команд, если вновь пришедшая команда – старшая по приоритету.

Каналы передачи аварийных сигналов и команд должны обеспечивать транзитную передачу с возможностью отбора и добавления информации на промежуточных пунктах.

Схема сбора и передачи аварийной и управляющей информации выполняется с учетом требований резервирования и дублирования. Для обеспечения резервирования передача команд ПА организуется по независимым основным трактам передачи.

С целью успешного освоения технологии построения «цифровых» подстанций ЕНЭС необходимо разработать технические требования и методические указания, определяющие наилучший набор («линейку») МП устройств ПА для охвата всех перечисленных выше функций противоаварийного управления. Все устройства этой «линейки», наряду с прямым вводом сигналов от цифровых устройств измерения (в том числе ТТ и ТН), должны обеспечить возможность организации цифрового обмена с другими компонентами ПАК ЦПС по протоколам стандарта IEC 61850.

Помимо собственно устройств ПА, необходима также разработка устройств передачи команд ПА со встроенным аварийным регистратором, связью с АСУ ТП и терминалами ПА.

4.1.19. Взаимосвязи (интеграция) с устройствами РЗА и ПА. В настоящее время от немикропроцессорных устройств РЗА (газовые защиты и технологическая автоматика АТ и Т) дискретная информация о срабатывании «сухим контактом» поступает в МП терминалы РЗА, от которых в цифровом коде передается в АСУ ТП. От немикропроцессорных (микроэлектронных и электромеханических) устройств ПА – в случае их использования – также передается в АСУ ТП дискретная информация о срабатывании «сухим контактом».

От МП устройств РЗА и ПА в АСУ ТП передается цифровая информация, включающая данные о срабатывании, самодиагностике, пуске регистратора (от каждого устройства, выполняющего функцию РАС), с помощью которых обеспечивается возможность проведения анализа аварийных событий и процессов на автоматизированном рабочем месте (АРМ) инженера-релейщика. С указанного АРМ обеспечивается также доступ к МП устройствам РЗА и ПА для их обслуживания в процессе эксплуатации (в том числе для подачи тестовых воздействий для проверки устройств РЗА и ПА).

Средствами АСУ ТП обеспечивается передача полученных от МП устройств РЗА и ПА данных регистрации аварийных событий и процессов и определения места повреждения на ВЛ – ОМП (в виде компонентов оперативной и неоперативной технологической информации) в центры управления (ЦУС, ДЦ СО).

4.20. Применение векторной регистрации параметров режима энергосистемы в ЦПС. Реализация ЦПС предоставляет исключительно благоприятные возможности для организации векторной регистрации параметров режима и их анализа. При этом можно использовать как уже имеющиеся устройства РМУ, так и реализовать их программным образом на технологических серверах ЦПС.

Фактически устройство РМУ представляет собой сочетание нескольких программно-аппаратных блоков: блоков измерения мгновенных значений напряжения и тока, блока получения меток времени GPS/Глонасс, программных модулей векторизации напряжения и тока и программного модуля расчета мощности и частоты. Результаты выдаются во внешнюю систему СМНР посредством протокола IEEE C37.118.

На рисунке 4.3 представлена упрощенная блок-схема такого устройства [2]. Очевидно, что на каждом значимом присоединении ЦПС следует установить средства измерения напряжения и тока, причем присоединенные к высококачественным измерительным трансформаторам.

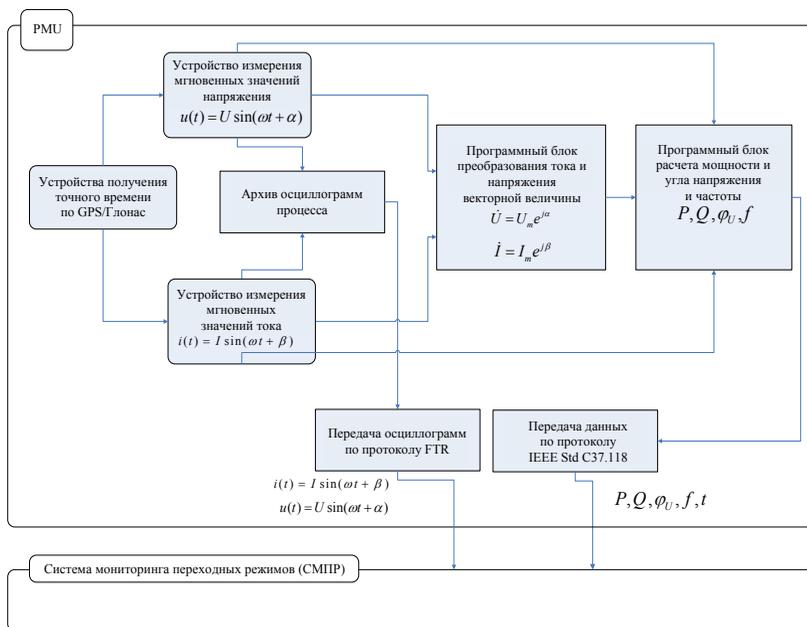


Рис. 4.3. Упрощенная блок-схема устройства векторного регистратора параметров режима

Использование технологического сервера позволит реализовать передачу данных большого объема (в том числе осциллограмм переходных процессов) в сжатом виде. Кроме того, технологический сервер может эффективно выполнять анализ переходного процесса с целью получения определенных конечных результатов анализа текущего режима.

4.2. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА КОММЕРЧЕСКОГО УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

4.2.1. Общие положения. В рамках ЦПС построение системы учета электроэнергии и контроля показателей качества электроэнергии должно производиться по двухуровневой системе (рис. 4.4) [2]:

- информационно-измерительные комплексы (ИИК);
- информационно-вычислительный комплекс (ИВК).

Использование устройств сбора и передачи данных (УСПД) либо иных устройств промежуточной обработки данных не допускается.

4.2.2. Системы анализа нарушений параметров качества электрической энергии. Под анализом нарушений параметров качества электроэнергии понимается система, обеспечивающая определение виновников и причин нарушений качества электроэнергии (см. рис. 4.5) [2]. Дополнительной функцией системы может являться прогнозирование нарушений качества электроэнергии на основании текущих телеизмерений показателей качества электроэнергии.

Результатом работы системы анализа качества электроэнергии является указание наиболее вероятного виновника нарушения (фидера или части ЦПС) и вероятных причин нарушений.

В рамках системы анализа нарушений ПКЭ рекомендуется вести профилирование фактических вкладов по каждой точке контроля ПКЭ.

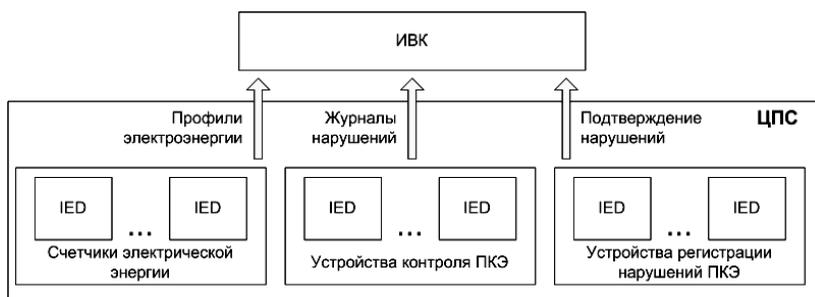


Рис. 4.4. Структура комплексной системы учета электроэнергии и контроля ПКЭ в АИИС КУЭ

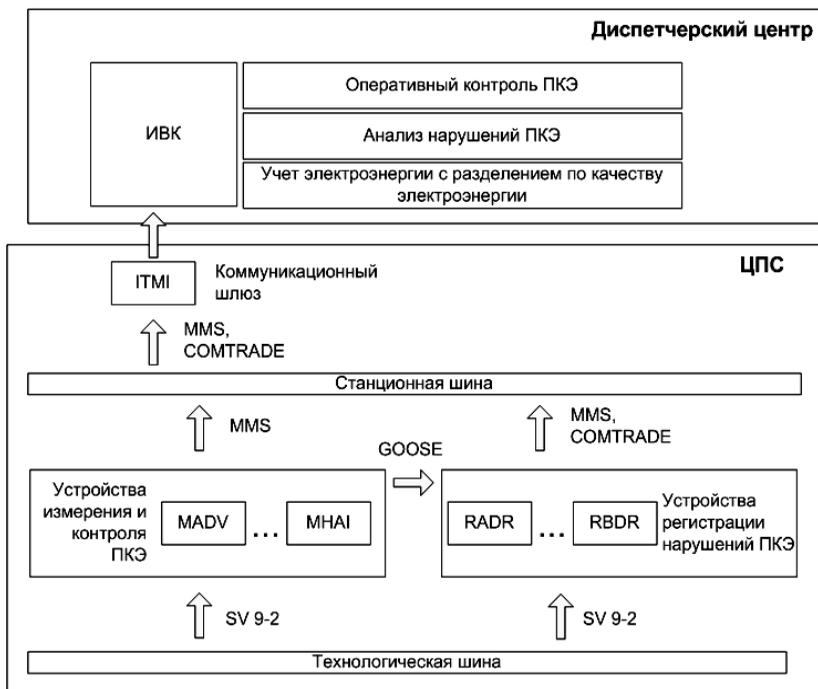


Рис. 4.5. Система контроля КЭ

Принятие конечного решения по результатам анализа выполняется оператором АРМ анализа качества электроэнергии. В функции системы анализа качества электроэнергии входят:

- визуализация результатов измерений;
- автоматическое выполнение алгоритмов анализа качества с демонстрацией результатов работы данных алгоритмов;
- представление доступа к экспертной системе, включающей содержание нормативных документов, международную практику;
- представление доступа к накопленной статистике нарушений и результатов предыдущих анализов качества электроэнергии;
- доступ и просмотр записанных осциллограмм нарушений.

В части визуализации результатов измерений рекомендуется использовать следующие графические формы:

- для провалов и перенапряжений – диаграммы на базе представления ИТЭС (SVEMA) в редакции 2000 г. На диаграммах должны быть отражены нормы (договорные, технологические) и факты прова-

лов и перенапряжений. К диаграмме приводится числовая статистика провалов и перенапряжений;

– для гармонических составляющих тока, напряжения, мощности рекомендуется использовать гистограммы.

4.3. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЕМ В ЭЛЕКТРОСЕТИ

Одним из важных направлений развития технологического управления энергосистемой и электрическими сетями (с точки зрения минимизации потерь электроэнергии в сетях, снижения рисков, связанных с недоотпуском электроэнергии в аварийных режимах, снижения затрат на ликвидацию аварийных ситуаций в сетях и их последствий, увеличения объема передаваемой энергии и т.п.) является развитие (совместно с СО ЕЭС и привлекаемыми генерирующими компаниями) централизованной иерархической системы управления режимом сетей ЕНЭС по напряжению и реактивной мощности (или системы регулирования напряжения и реактивной мощности – АРН). Особенно возрастает значение такой системы при создании ИЭС ААС, в которой появляются и новые средства компенсации реактивной мощности – СКРМ (шунтирующие реакторы – ШР, в том числе управляемые – УШР, вакуумно-реакторные группы – ВРГ, статические тиристорные компенсаторы – СТК, элементы гибких линий электропередачи – FACTS и др.), и новые возможности организации такого управления.

Основой функционирования АРН энергосистемы являются общестанционные средства регулирования напряжения (ОСРН), устанавливаемые на электростанциях, однако все большую роль будут играть и устанавливаемые на ПС ЕНЭС подстанционные системы автоматизированного управления напряжением (ПСАУН) в сети, которые осуществляют:

- поддержание на шинах заданных значений напряжения и реактивной мощности;
- согласованное регулирование всех взаимосвязанных параметров;
- согласованное взаимодействие регулирующих устройств – дискретных и непрерывного действия;
- контроль и учет предельных допустимых значений режимных параметров оборудования.

Управляемыми элементами силового оборудования подстанции (с точки зрения возможности непосредственного автоматического воздействия с помощью средств ПСАУН) являются:

- управляемые СКРМ;
- трансформаторы и автотрансформаторы, оборудованные устройствами РПН;
- коммутационные аппараты присоединений коммутируемых СКРМ.

Режим шин ведется с помощью астатического или со статизмом (по реактивной нагрузке/напряжению) регулирования напряжения/реактивной нагрузки. При этом уставки регулирования режима шин могут вводиться оперативно вручную или автоматически устанавливаться по заданному почасовому графику или вводиться по каналам телемеханики (например, при участии в автоматическом системном регулировании).

Планируется, что в будущем ПСАУН (наряду с ОСРН) будут выполнять функции подсистем нижнего уровня (в том числе работающих в режиме многосвязного управления) в централизованной иерархической системе вторичного автоматического регулирования напряжения ЦСВ АРН в энергосистеме. С этой целью средства ПСАУН должны обеспечивать возможность получения заданий и управляющих воздействий из центров управления (в зависимости от уровня диспетчерского подчинения оборудования).

4.4. СИСТЕМА СБОРА ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

4.4.1. Особенности организации подсистемы ССПТИ при переходе к ЦПС. Основные свойства функциональной подсистемы ССПТИ в значительной мере характерны уже для современных интегрированных АСУ ТП, создаваемых на новых или комплексно реконструируемых подстанциях ЕНЭС.

При переходе к созданию цифровых подстанций, а также при создании и развитии технологических подсистем АСТУ ФСК, разворачиваемых в службах и департаментах компании и ее филиалов, существенно повышается роль НТИ, передаваемой в центры управления от подстанций, расширяются ее виды и номенклатура, возникают новые методы доступа конечных потребителей (персонала центров управления и подсистем АСТУ, использующих НТИ) к данным.

Так, при создании в рамках АСУ ТП ЦПС функциональной координирующей подсистемы (рассмотренной выше), выполняющей функции «посредника» в общении ЦПС с центрами управления, механизмы организации передачи или доступа к НТИ становятся более разнообразными. С этой точки зрения целесообразно различать три вида НТИ по уровням обработки данных.

К первому уровню можно отнести результаты обработки исходной измерительной информации, осуществляемой технологическим программным обеспечением устройств нижнего уровня по известным алгоритмам. Примерами таких данных являются осциллограммы аварийных процессов, записи переходных процессов от устройств СМНР, усредненные на заданных интервалах времени значения режимных параметров, вычисленные значения показателей качества электроэнергии, остаточного ресурса оборудования и т.п.

Второй уровень образуют результаты такой обработки данных, при которой осуществляются контроль выполнения определенных требований к данным 1-го уровня и фиксация событий, связанных с нарушением таких требований, с помощью технологических алгоритмов, реализуемых, как правило, также непосредственно в соответствующих устройствах нижнего уровня. В качестве примеров можно привести решение задач контроля качества электроэнергии (с фиксацией событий, связанных с нарушением требований ГОСТ 13109), мониторинга временных повышений напряжений на электрооборудовании и т.п. В некоторых случаях алгоритмы такого рода могут реализовываться на уровне серверов, если для решения задачи необходимы данные от разных устройств нижнего уровня (например, для мониторинга состояния трансформаторного оборудования).

Для всех указанных задач характерно, что должна обеспечиваться передача в ЦУС сигналов выявленных событий, сопровождающаяся передачей – регламентированной автоматической передачей в ЦУС или доступом по запросу – соответствующих данных 1-го уровня. Следует отметить, что в настоящее время лишь в отдельных случаях, например в задачах типа определения остаточного ресурса выключателя, можно ограничиться передачей только конечного результата обработки. Для большинства же задач в целях более углубленного анализа с применением неформализованных алгоритмов необходимы и исходные данные – данные 1-го уровня. В перспективе, по мере разработки или уточнения методик такого анализа и формализации соответствующих алгоритмов все большее число задач можно будет делегировать с уровней ЦУС, МЭС, ПМЭС на подстанции – см. выше п. 3.2, поэтому передача исходных данных станет ненужной. Во всех рассмотренных случаях доступ к данным или их передача могут осуществляться через сервер подсистемы ССПТИ ПС.

В составе ЦПС при создании подсистемы ФКП появляется и 3-й уровень обработки и передачи НТИ, осуществляемый по запросам внешних пользователей к указанной подсистеме, для выполнения которых необходима интеллектуальная обработка данных 1-го и

2-го уровней по модели технологического процесса или с использованием алгоритмов анализа (например, в экспертной информационно-аналитической системе поддержки персонала в сложных ситуациях). В этом случае и запрос, и его выполнение – передача результатов анализа и соответствующих исходных данных 1-го и 2-го уровней – осуществляются через указанную подсистему ФКП.

Выводы

1. АСУ ТП подстанций ЕНЭС, являясь подстанционными системами сбора и передачи информации нижнего уровня ПС с внедрением функциональной координирующей подсистемой ФКП и функцией интеграции смежных подсистем, способствуют дальнейшему развитию АСТУ и обеспечивают требуемую наблюдаемость электрической сети ФСК в нормальных и аварийных режимах.

2. АИИС КУЭ в рамках цифровой подстанции создается по двухуровневой системе на основе комплексов нижнего и верхнего уровней, соответственно: информационно-измерительного ИИК; информационно-вычислительного ИВК, в состав которого входит система анализа нарушений параметров качества электроэнергии ПКЭ.

3. Основной системы автоматического регулирования напряжения АРН энергосистемы являются общестанционные средства регулирования напряжения ОСРН, устанавливаемые на электростанциях, а также подстанционные системы автоматизированного управления напряжением в сети ПСАУН.

4. В системе сбора и передачи технологической информации ССПТИ неоперативная технологическая информация имеет три уровня обработки. Первый – обработка исходной информации; второй – фиксация событий, связанных с нарушением различных требований к данным 1-го уровня; третий – осуществляется по запросам внешних пользователей по модели технологического процесса или с использованием алгоритмов анализа, реализуемых современной архитектурой цифровой подстанции, рассмотренной ниже в пятой главе.

5. АРХИТЕКТУРА ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

В пятой главе рассмотрена архитектура цифровой подстанции на основе: инфраструктуры передачи информации; программного, информационного и метрологического обеспечения; надежности, информационной и комплексной безопасности.

5.1. ИНФРАСТРУКТУРА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Рассмотрим требования к средствам коммуникации – инфраструктуре передачи информации (ИПИ) как неотъемлемому архитектурному элементу ЦПС. ИПИ является кибернетическим архитектурным элементом ЦСП (рис. 5.1) [2].

В отличие от инфраструктуры передачи мощности (ИПМ), представляющей собой исполнительный архитектурный элемент ЦПС, основное назначение ИПИ заключено в том, чтобы создать условия для эффективного управления ИПМ, в рамках чего обеспечить информационный обмен между техническими средствами в пределах и за пределами ЦПС. Необходимо также специально отметить, что непосредственно само управление ИПМ не является функцией ИПИ.

Физическая структура ИПИ включает различные компоненты: структурированные кабельные системы (передачи данных и инструментальной синхронизации); активное оборудование – коммутационный пул (коммутаторы и кросс-панели) и коммуникационные окончания (порты) технических средств, подключаемых к ИПИ; синхронизационный пул и синхронизационные окончания (порты) соответствующих технических средств; различные вспомогательные подсистемы (бесперебойного питания, мониторинга) и механические конструкции (стойки, шкафы, лотки, кабельные каналы и пр.).

Наряду с физической, существует и логическая структура ИПИ, пользоваться которой для описания информационных процессов, имеющих место быть в ЦПС, гораздо удобнее и включает в себя (рис. 5.1):

- а) терминальные элементы: передатчики и приемники данных;
- б) сетевые элементы:
 - станционная шина,
 - технологическая шина,
 - инструментальная синхронизационная шина,
 - прочие шины, такие как сетевая сервисная, диагностическая и др.;
- в) шинообразующие элементы:
 - мост.

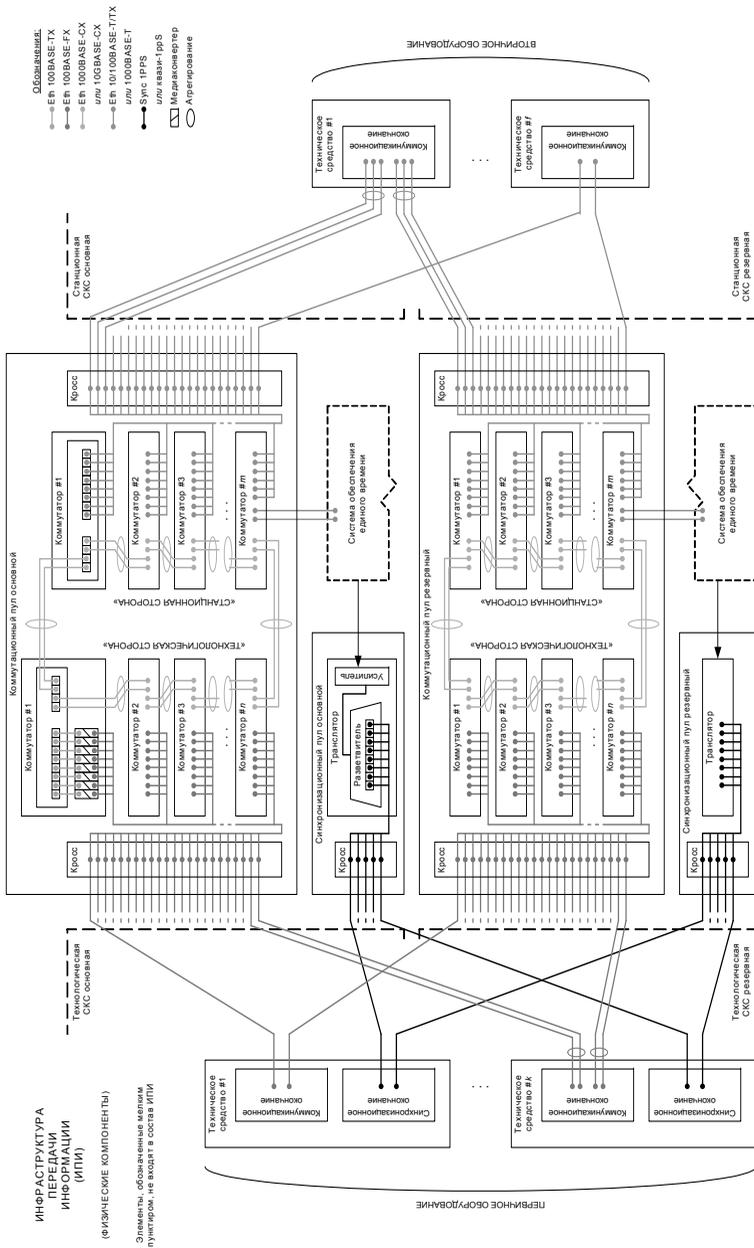


Рис. 5.1. Физическая организация ИПИ ЦСБ и ее структурные компоненты

5.1. Станционная шина. Рассмотрим требования к станционной шине, как к элементу логической структуры ИПИ ЦПС.

5.1.1. Коммуникационный профиль. В станционной шине должны присутствовать сообщения, генерируемые протоколами, составляющими коммуникационный (прикладной и транспортный) профиль MMS поверх TCP/IP, IEC 61850-8.1.

Рекомендуется дополнить указанный профиль обязательной инкапсуляцией в сообщения с меткой виртуальной сети по IEEE 802.1Q.

Присутствие в станционной шине сообщений прочих протоколов, не входящих в указанный профиль, недопустимо.

5.1.2. Обмен сообщениями. Допускается организовать коммуникацию сообщений в станционной шине на основе динамических, статических и (или) смешанных правил фильтрации IEEE 802.1Q. Допускается организовать присвоение конечным техническим средствам сетевых адресов статически, т.е. предварительно, и (или) динамически, используя протокол DHCP, RFC 2131.

Рекомендуется проектировать серверную модель коммуникационного профиля MMS, чтобы она обеспечивала неблокирующее обслуживание не менее трех клиентов одновременно. Прочие способы организации коммуникации станционных сообщений следует исключать.

5.1.3. Топология. Станционная шина должна быть организована таким образом, чтобы коммуникационный профиль MMS, отвечающих за управление публикацией конечным техническим средством технологических сообщений, был доступен по тому же (физическому) соединению, по которому осуществляется публикация таких технологических сообщений.

Рекомендуется использовать для обмена станционными сообщениями одну единую (односегментную) виртуальную сеть, т.е. не сегментировать станционную шину.

Рекомендуется отделять через промежуточные маршрутизаторы участки коммуникационной сети, в которых присутствуют как станционные, так и технологические сообщения, от участков, в которых технологические сообщения полностью исключены.

В связи с тем, что станционная шина представляет собой типовую локальную TCP/IP-сеть, поведение которой хорошо изучено, прочие специфические требования к организации станционной шины не предъявляются.

5.1.4. Технологическая шина. В настоящем подразделе рассмотрим требования к технологической шине как к элементу логической структуры ИПИ ЦПС.

5.1.5. Коммуникационный профиль. В технологической шине должны присутствовать сообщения исключительно следующих типов:

- GOOSE, IEC 61850-8.1;
- SV, IEC 61850-9.2.

Каждый шаблон сообщений GOOSE должен иметь имя-идентификатор, уникальное в пределах подстанции.

Примечание: имя-идентификатор GOOSE = goID по IEC 61850-8.1.

Каждый поток сообщений SV должен иметь имя-идентификатор, уникальное в пределах подстанции.

Примечание: имя-идентификатор SV = svID по IEC 61850-9.2.

Присутствие в технологической шине сообщений прочих типов, отличных от указанных выше, недопустимо.

5.1.6. Публикация сообщений и подписка на них. Рекомендуется организовать коммутацию сообщений в технологической шине на основе статических правил фильтрации IEEE 802.1Q.

Примечание: такие правила закладываются в каждый коммутатор, задействованный в коммутации технологических сообщений, при статическом подходе исключена необходимость организации множественных виртуальных сегментов – сетей – внутри коммуникационного пространства, кроме того, максимально возможно детерминировано поведение самой сети.

При статической коммутации публикуемые сообщения должны иметь индивидуальный адрес получателя, уникальный в пределах сети, выбранный из диапазона индивидуальных адресов IANA. Подписка на сообщения в этом случае, выполняется предварительно на уровне коммутатора.

Примечание: диапазон 00-00-5E-xx-xx-xx.

Допускается организовать коммутацию сообщений в технологической шине на основе динамических правил фильтрации IEEE 802.1Q.

Примечание: подобные правила формируются самим коммутатором во время работы, при динамическом подходе существует необходимость организации множественных виртуальных сегментов, кроме того, поведение сети становится менее предсказуемым.

При динамической коммутации для публикации сообщений и подписки на них конечные технические средства и коммутаторы должны исполнять протокол GMRP, IEEE 802.1Q, сообщения при этом должны иметь групповой адрес получателя, уникальный в пределах сети, выбранный из диапазона групповых адресов IANA [2].

Примечание: диапазон 01-00-5E-xx-xx-xx.

Прочие способы организации коммутации технологических сообщений рекомендуется исключать.

5.1.7. Топология. Рекомендуется организовать сегменты (при динамическом подходе) и (или) псевдосегменты (при статическом под-

ходе) технологической шины таким образом, чтобы минимизировать количество промежуточных коммутаторов между конечными техническими средствами, включенными в сегмент. Именно поэтому следует применять многопортовые стекируемые коммутаторы с преобразованием, при необходимости, электрических соединений в оптические посредством медиаконверторов.

5.1.8. Подсистема мониторинга состояния коммуникационной сети ЦПС и механизм мониторинга. Рассмотрим требования к подсистеме мониторинга коммуникационной сети ЦПС. Коммутаторы и конечные технические средства должны выполнять мониторинг состояния соединений, подключенных к портам в их коммуникационных окончаниях, а также аспектов своего собственного состояния, влияющих на корректную работу их самих и (или) работу коммуникационной сети.

Коммутаторы и конечные технические средства, выполняя непрерывный мониторинг своего состояния и состояния своих соединений, должны также хранить и посылать информацию о нем на спорадической, периодической и (или) запросной основе.

5.1.9. Средства мониторинга. Хранение и предоставление на запросной основе информации о состоянии, как результате мониторинга, рекомендуется организовать как информационный объект SNMP MIB, RFC 3418 и доступ к нему.

Посылки информации на спорадической и (или) периодической основе рекомендуется организовать как сообщения SNMP Trap, RFC 1251.

5.1.10. Пропускная способность и гарантированное время доставки сообщений в коммуникационной сети ЦПС. В настоящем подразделе рассмотрим требования к пропускной способности и гарантированному времени доставки сообщений по ИПИ ЦПС.

5.1.11. Соединения с конечными техническими средствами. Конечные технические средства должны соединяться с коммутатором по методу «точка–точка» без каких-либо промежуточных «вставок», исключая медиаконверторы, наличие которых в соединении допустимо.

Единичное соединение, связывающее техническое средство с коммутатором, должно обеспечивать пропускную способность не менее 100 Мбит/с.

Примечание: протокол 100BASE-X или 1000BASE-T, IEEE 802.3.

При необходимости увеличения пропускной способности техническое средство может быть связано с коммутатором при помощи нескольких единичных соединений, агрегированных по протоколу LACP, IEEE 802.3.

Гарантированное время доставки сообщения, включая прием-передачу, между коммутатором и подключенным к нему конечным

техническим средством не должно превышать 0,25 мс, максимальная длина сообщения 1536 байт.

Рекомендуется для связи с первичным оборудованием, а также оборудованием, находящимся на территории ОПУ, применять волоконно-оптические соединения, для связи с интеллектуальными устройствами – электрические.

5.1.12. Соединения между коммутаторами. Коммутаторы, организующие коммуникационную сеть, должны быть соединены в «кольцо», соединения в котором могут быть агрегированными.

Управление «кольцом» должно отслеживать «изменения», исключать «петли» и исполняться динамически по протоколу RSTP, IEEE 802.1D.

Соединения между коммутаторами должны обеспечить пропускную способность не менее 1 Гбит/с, а при необходимости 10 Гбит/с.

Примечание: протоколы 1000BASE-X и 10GBASE-X, IEEE 802.3.

Гарантированное время доставки сообщения, включая прием-передачу, между коммутаторами не должно превышать 0,025 мс.

Примечание: максимальная длина сообщения 1536 байт.

Рекомендуется установить коммутаторы в едином месте (стойке), отдавая предпочтение как можно более коротким (физическим) связям между коммутаторами против увеличения (физической) протяженности соединений с конечными техническими средствами.

5.1.13. Резервирование коммуникационной среды. Коммуникационная среда ИПИ ЦПС должна резервироваться путем полного физического дублирования, при этом основной и резервный комплекты компонент ИПИ не должны взаимодействовать между собой.

Конечные технические средства должны иметь удвоенное количество портов в своих коммуникационных окончаниях, первой половиной из которых они подключаются к соединениям основной, а второй – резервной коммуникационной среды.

Для корректного оперирования в дублированном окружении конечные технические средства должны исполнять протокол RPR, IEC 62439, в то время как коммутаторы не нуждаются в каких-либо дополнительных протоколах.

5.2. ПРОГРАММНОЕ, ИНФОРМАЦИОННОЕ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

5.2.1. Общее и технологическое программное обеспечение. Для решения функциональных задач АСУ ТП ПС на всех уровнях системы должна быть реализована совокупность взаимосвязанных по информа-

ции и по дисциплине выполнения программных средств, образующих программное обеспечение АСУ ТП ПС, которое условно можно представить в виде двух основных составляющих:

- общего (системного) программного обеспечения (ОПО);
- технологического (или специального) программного обеспечения (ТПО).

ОПО предназначено для организации функционирования ПТК АСУ ТП в целом и является фундаментом для успешной реализации всех целевых функций системы. В общем случае ОПО должно включать средства организации внутрисистемных и внесистемных коммуникаций, а также операционные системы реального времени (функционирующие в контроллерах нижнего уровня и в вычислительных устройствах верхнего уровня), под управлением которых должны выполняться программные средства ТПО.

ТПО представляет собой совокупность отдельных программных компонентов (модулей или их комплексов), резидентных в устройствах разных уровней ПТК и реализующих алгоритмы решения специфических для АСУ ТП ПС задач обработки информации, контроля, анализа, диагностики и управления.

Характерной особенностью ПО АСУ ТП ПС должна быть ориентация на использование современной компьютерной технологии создания систем управления, базирующейся на следующих основных принципах:

- полнота ПО, т.е. его практическая достаточность для решения основных функциональных задач сбора и обработки информации, оперативных расчетов, контроля, анализа, диагностики и управления основным и вспомогательным оборудованием в нормальных и аварийных режимах работы электротехнического оборудования;
- типовой характер ПО, заключающийся в том, что для всех видов автоматизируемого электротехнического оборудования (систем шин, выключателей, разъединителей и т.д.) реализуемые алгоритмы применимы для всех существующих на ПС их типов и конструкций, а также схем соединений;
- высокая степень готовности всех элементов ПО к использованию при разработке АСУ ТП для данной ПС, заключающаяся в том, что привязка к объекту не требует «допрограммирования» и осуществляется только путем параметрической настройки и конфигурирования элементов ПО;
- функциональная открытость и гибкость структуры (возможность добавления и исключения программных средств без структурных конфликтов);

- наличие развитой системы средств человеко-машинного обмена информацией (ММИ), обеспечивающей эффективность работы персонала подстанции;

- автоматизация процессов проектирования и внедрения АСУ ТП ПС за счет использования комплекса инструментальных программных средств (ИПС) для поддержки процедур создания программного и информационного обеспечения.

Эффективность создания, внедрения и эксплуатации ПО и тесно связанного с ним информационного обеспечения АСУ ТП ПС практически недостижима без использования развитого специализированного комплекса инструментальных программных средств (ИПС), осуществляющих компьютерную поддержку процедур разработки, проектирования, наладки и сопровождения в процессе функционирования системы.

5.2.2. Инструментальное программное обеспечение. ПО инструментальных средств разработки, отладки и документирования ПТК должно базироваться на действующих стандартах и обеспечить автоматизацию (поддержку) процедур создания программного и информационного обеспечения АСУ ТП, включая функции разработки (модификации) и тестирования. Как правило, результатом работы инструментального ПО должны быть компоненты системы контроля и управления, полностью готовые к запуску.

Инструментальное ПО должно включать следующие программные средства:

- компоновки и генерации программных средств ПТК;
- библиотеку программных модулей стандартных алгоритмов решения задач сбора и обработки технологической информации, контроля и управления;
- автоматизированного формирования исполняемых программных модулей;
- организации и обслуживания баз данных;
- самодиагностики и тестирования аппаратуры и программного обеспечения ПТК;
- включения в состав ПО программ, написанных на универсальных языках программирования;
- допустимой производителем ПТК модификации ПО.

Основу инструментального ПО должны составлять следующие программные системы (пакеты):

1. SCADA-система для организации человеко-машинного интерфейса оперативного персонала ПС и обеспечения функционирования в реальном времени программно-технических средств соответствующих АРМ всего комплекса в целом.

SCADA-система должна обеспечивать [2, 15]:

- коммуникацию с контроллерами среднего уровня для приема от них текущей информации о состоянии технологического объекта и передачи команд оператора для их последующей трансляции в устройства нижнего уровня;

- визуализацию на видеogramме мнемосхемы и других экранных образов (в том числе индикацию аналоговых параметров, изменение состояний и сообщений о событиях) с воссозданием клавиатуры управления на экране (электронные клавиши) и обеспечением возможности управления электронными клавишами.

SCADA-система должна обладать следующими основными свойствами:

- наглядность, простота и удобство конфигурирования (настройки) АРМ с обеспечением возможности внесения изменений в конфигурацию и настройку параметров АРМ в режиме on line и с обеспечением доступа к оперативной базе данных и архивам;

- доступность для прикладных задач наблюдения и управления процессами объектов, имеющих стандартные интерфейсы и аксессуары (кнопки, окна, раскрываемые объекты);

- широкий набор стандартных функций визуализации процесса и управления процессом в сочетании с возможностью программирования и отладки нестандартных функций пользователя с помощью встроенного языка;

- возможности использования полнографического редактора изображений, редактора отчетов и протоколов, редактора аварийных сообщений; базы данных для архивирования информации, широкого набора вспомогательных программ;

- многопользовательский режим на базе локальной сети и технологии «клиент – сервер».

2. ПО для конфигурирования контроллеров среднего и нижнего уровней должно обеспечить:

- параметрирование контроллеров с помощью средств специального технологического языка;

- генерацию загрузочного модуля контроллеров с помощью средств, предусмотренных производителем ПО;

- получение данных, необходимых для функционирования АРМ, автоматизированной обработки информации и организации работы с архивами;

- выпуск комплекта документации по информационному обеспечению ПТК в текстовом и/или графическом виде;

– оперативное внесение изменений в технологическое программное обеспечение ПТК.

3. ПО доступа к МП терминалам РЗА, ПА для их параметрической настройки, дистанционного контроля в процессе эксплуатации, а также анализа аварийных событий и процессов. ПО должно в полном объеме реализовать функции АРМ РЗА, а также функции по обслуживанию терминалов (например, проверку функционирования устройства защиты при подаче на его вход аварийных параметров режима).

Кроме того, появляется возможность дистанционного тестирования устройств РЗА и ПА, которое предполагается выполнять следующим образом:

– устройство РЗА (ПА) переводится в режим тестирования;

– на устройство подается тестовый набор входных сигналов и контролируется работа логики терминала и появление соответствующих команд на выходе терминала, при этом всем выходным сигналам устройства придается статус «TEST», в результате чего дальнейшее действие (отключение выключателей, запуск других комплектов РЗА и т.п.) блокируется; в протокол информация попадает с меткой TEST.

4. ПО для контроля и конфигурирования устройств на шине ИЕС 61850-9.2 и 61850-8.1 (цифровые ТТ и ТН, модули связи электрооборудования с шиной процесса) должно обеспечить:

- параметрирование устройств;
- блокирование устройства и его дистанционную диагностику.

5.2.3. Информационное обеспечение. (Информационные модели на базе стандартов МЭК 61968/61970). Рассмотрим регламент создания общего информационного пространства ЦПС и организацию информационного взаимодействия ЦПС с центрами управления на основе общей информационной модели (Common Information Model – CIM) [2].

Согласно [2] CIM описывает объектно-ориентированное представление данных, которое включает такие общие абстрактные элементы, как *классы, объекты, свойства, методы и ассоциации*. Формальным определением информационной модели объекта является схема. В схему входят классы, свойства и методы, а также отношения между классами, которые также являются классами.

В случае использования CIM-представления создается единая информационная модель физического объекта и все приложения обмениваются данными, используя их единое описание. CIM-представление является единым языком описания данных и, соответственно, интерфейса только в общей интегрированной среде. Иначе говоря, CIM представляет собой общий язык для приложений при работе в единой большой системе, какой, например, является АСТУ ОАО «ФСК ЕЭС».

Исходными данными для построения информационной модели ЦПС являются:

- главная электрическая схема ЦПС;
- типы, паспортные и иные данные об оборудовании;
- состав и типы измерений, определяющих режим и состояние оборудования;
- методика идентификации объектов и данных ЦПС;
- профиль модели электрических сетей ЕНЭС, в части ПС, определяющий:
 - классы, атрибуты и отношения между ними в схеме информационной модели;
 - стандарты в области информационных технологий (с точностью до версий), следование которым является обязательным в процессе проектирования, внедрения и эксплуатации системы управления.

Стандартами МЭК 61968/61970 определено описание следующих групп оборудования подстанций:

- коммутационные аппараты (силовые выключатели, разъединители, заземляющие разъединители и т.п.);
- трансформаторное оборудование, включая РПН и систему охлаждения);
- компенсирующее оборудование;
- ограничители напряжения и тока;
- измерительные трансформаторы напряжения и тока.

Информацию об оборудовании можно разделить на следующие категории:

- о текущем состоянии режима (токи, напряжения, мощности) и данные об отклонении эксплуатационных параметров за предельно допустимые значения:
 - о работе устройств защит и автоматики;
 - данные о текущем состоянии первичного и вторичного оборудования, характеризующие его готовность выполнять свои функции;
 - паспортные данные и технические характеристики;
 - данные об испытаниях и проведенных ремонтных работах;
 - документарная (руководства, инструкции).

Следует отметить, что при проектировании и реализации систем управления технологическими процессами на подстанциях ЕНЭС в качестве базового используется стандарт МЭК 61850, который определяет собственную информационную модель оборудования ПС. При этом информационные модели на базе стандартов МЭК 61968/61970 –

СИМ и МЭК 61850 нередко пересекаются в части первичного оборудования и сигналов. Поэтому актуальным является проведение исследований проблем взаимосвязки соответствующих указанным стандартам моделей в процессах информационного обмена между компонентами ПАК ЦПС, а также между подстанциями и центрами управления (ДЦ, ЦУС).

5.2.4. Создание единой системы классификации, кодирования и идентификации оборудования и информации (ЕСКК). Стандарты МЭК 61968/61970 требуют, чтобы описываемое оборудование и информация были поименованы, т.е. им должны быть присвоены уникальные имена.

Уникальные имена должны быть присвоены в соответствии с отраслевой системой, под которой будем понимать единую систему классификации и кодирования – ЕСКК ОАО «ФСК ЕЭС», основанную на общих для всех объектов ЕНЭС принципах идентификации контролируемого и управляемого оборудования ЦПС, компонентов информационно-технологических и управляющих систем и информационных потоков и предназначенную для применения как в пределах подстанции, так и отрасли в целом.

Такая система обозначений, согласно требованию стандарта МЭК 61970, должна удовлетворять требованиям стандарта МЭК 61346 (Промышленные системы, установки и оборудование и промышленные продукты. Принципы структурирования и кодовые обозначения).

5.2.5. Общие положения по построению ЕСКК ЦПС. Единая система классификации, кодирования и идентификации объектов ЕНЭС (класс «Подстанции») – ЕСКК должна удовлетворять следующим основным требованиям:

- единство системы обозначений для всех видов электросетевых объектов;
- достаточная емкость и возможность детализации внутри объектных систем и агрегатов;
- однозначность идентификации любого объекта в пределах системы и связанных с ним данных;
- устойчивость используемых идентификаторов – единство обозначения объектов классификации и маркировки на всех фазах жизненного цикла технического продукта: при проектировании, внедрении (сооружении), эксплуатации, сопровождении, модернизации (реконструкции) энергообъектов, выводе их из эксплуатации;
- возможность встраивания подсистем и технических продуктов в системы, разработанные другими организациями, без изменения этих подсистем и документации;

- поддержка представления системы в разных аспектах, независимо от ее сложности;
- однозначность и корректность выполнения запросов для получения различных данных и документов при машинной обработке (на этапе проектирования и в процессе эксплуатации);
- обеспечение возможности сохранения действующих локальных обозначений.

В соответствии со стандартом МЭК 61346 для однозначной идентификации объекта должна применяться буквенно-цифровая система кодирования. Буквенный код основан на системе классификации, которая должна обеспечить функционально-технологическую иерархию объектов ПС. Буквенные коды являются классификационными кодами типа объекта и независимы от реального положения в системе экземпляров данного типа объекта. Буквенный код должен обозначать технологическое назначение объекта, а не один из аспектов этого объекта (например, «выключатель силовой», но не «выключатель силовой элегазовый»). Система классификации должна отражать практику применения буквенных кодов, а определение классов некоторого уровня системы желательно строить на общей основе.

Цифровые коды (счетные коды), как правило, определяют конкретные экземпляры данного типа объекта определенным классификационным кодом. Для счетных кодов должны быть установлены, по возможности, правила их присвоения.

ЕСКК должна устанавливать правила присвоения идентификаторов с использованием классификационных кодов и принятых в ней методик их использования для всех объектов, относящихся к классу «Подстанция».

Отдельно должны быть разработаны правила применения ЕСКК в части идентификации объектов системы управления, построенной на базе стандарта МЭК 61850.

5.2.5. Описание оборудования и информации в терминах стандарта МЭК 61850. Следует отметить, что стандарт ИЕС 61850, используемый при проектировании и реализации системы управления технологическими процессами на ПС в качестве базового, определяет собственную информационную модель ПС. При этом информационные модели на базе стандартов МЭК 61968/61970 – СИМ и МЭК 61850 нередко пересекаются в части первичного оборудования и сигналов. Так, сказанное выше относительно идентификации объектов ПС на основе стандартов МЭК 61968/61970 применимо и для информационной модели системы управления в стандарте МЭК 61850, с той лишь разницей, что в последнем часть информации жестко проидентифицирована.

Важно подчеркнуть, что в настоящее время не существует технического решения для обеспечения обмена данными между этими двумя видами информационных моделей. Поэтому в числе первоочередных задач должны быть предусмотрены работы по реализации настоящей Методологии с включением НИР по исследованию проблем согласования моделей ЦПС, соответствующих стандартам МЭК 61850 и МЭК 61968/61970 (СИМ), в процессах информационного обмена между ЦПС и центрами управления (ДЦ, ЦУС). А также разработка технических решений и инструментальных программных средств поддержки проектирования и функционирования соответствующих ПТК.

5.2.6. Инструментальные программные средства для работы с информационным обеспечением ПАК ЦПС. Обладают основным свойством поддержки полного жизненного цикла ПАК ЦПС и обеспечивают поддержку работ с информационным обеспечением ПАК ЦПС на всех стадиях жизненного цикла комплекса, т.е.:

- при проектировании ПАК;
- при выполнении работ по внедрению ПАК, прежде всего в процессе пуско-наладки, ввода в действие и опытной эксплуатации;
- в процессе промышленной эксплуатации – в случае необходимости внесения допустимых изменений в компоненты информационного обеспечения;
- при возможной реконструкции и расширении подстанции.

На каждой фазе жизненного цикла инструментальные программные средства должны использовать (импортировать) и производить (экспортировать) информацию в виде документации и конфигурационных файлов в заданных специфицированных форматах, принятых в «ОАО ФСК». Каждая фаза должна сопровождаться специфицированным перечнем документов / файлов, полностью описывающих результаты данной фазы жизни ПАК ЦПС. При этом должна обеспечиваться преемственность информационного обеспечения, т.е. возможность передачи информации в электронном виде между фазами жизненного цикла ЦПС.

5.2.7. Поддержка единого информационного пространства ПАК ЦПС. Инструментальные программные средства должны поддерживать единое информационное пространство ПАК ЦПС, для чего необходимо:

- строгое следование стандартам в области представления данных, методам доступа к данным и их корректной интерпретации (применение стандарта IEC 61850 в части обеспечения информационных обменов между компонентами интегрированной системы управления ЦПС, использование стандартов МЭК 61970/61968 в части построения функциональ-

ной координирующей подсистемы и представления ЦПС на высших уровнях иерархии управления – в ДЦ СО, ЦУС, МЭС (ПМЭС);

- использование единой системы классификации, кодирования и идентификации информации – ЕСКК (оборудования, компонентов информационно-технологических и управляющих систем, сигналов, документов и т.д.) в соответствии с принятым в ОАО «ФСК ЕЭС» профилем общей информационной модели ЕНЭС (СИМ-профилем). Разработка ЕСКК и принятие соответствующего стандарта является одной из актуальнейших задач создания автоматизированной системы технологического управления (АСТУ) ОАО «ФСК ЕЭС».

5.2.8. Поддержка использования стандартов МЭК. В целях автоматизации процессов проектирования и функционирования ПАК ЦПС должны быть созданы специальные инструментальные программные средства поддержки информационных моделей ЦПС, базирующихся на использовании стандартов МЭК, в том числе:

- средства описания по стандартам МЭК 61970/61968/61850 с использованием ЕСКК ФСК;

- средства взаимного согласования информационных моделей ЦПС, базирующихся на использовании стандартов МЭК 61970/61968 (СИМ) и МЭК 61850;

- средства графического описания главной электрической и оперативной схем ПС, функциональных схем системы управления ПС. Графические описания должны быть связаны с данными модели ПС (по стандартам МЭК 61970/61968/61850) и образовывать с ними непротиворечивую информационную модель. Формат хранения графических данных должен соответствовать МЭК 61970 – 453.

5.2.9. Метрологическое обеспечение. Методология метрологического обеспечения – это набор базисных принципов, методов, способов, которыми достигаются единство и точность измерений в измерительной системе (ИС) ЦПС. Структура ИС ЦПС изображена ниже на рис. 5.2 [2].

К базовым принципам построения ИС ЦПС относятся:

- вертикальная дифференциация;

- горизонтальная интеграция.

Следствием применения принципа вертикальной дифференциации является четкое разделение средств измерений, применяемых в ИС ЦПС, на:

- преобразования первичных данных (трансформаторы тока, трансформаторы напряжения, датчики технологической информации);

- отображение данных первичных преобразований в унифицированный цифровой вид (устройства объединения);

- вычисления и обработку цифровых данных (устройства защиты, счетчики электроэнергии, устройства телемеханики и т.д.).



Рис. 5.2. Структура измерительной системы (ИС) ЦПС

Следствием применения принципа горизонтальной интеграции является применение в ИС ЦПС следующих связующих компонентов:

- система обеспечения единого времени (СОЕВ), обеспечивающая синхронность работы всех компонентов ИС;
- единая коммуникационная сеть, обеспечивающая доступность данных от любого первичного преобразователя любому конечному устройству.

Повышение точности измерений в пределах ИС ЦПС реализуется следующими способами:

- повышение качества первичных преобразований за счет использования более точных средств первичного преобразования;

– снижение метрологических потерь, связанное с передачей аналоговой информации;

– применение микропроцессорных средств вычислений.

Обеспечение единства измерений в пределах ИС ЦПС осуществляется следующими способами:

– синхронизация первичных измерителей;

– использование передачи данных в цифровом виде;

– возможность тиражирования данных.

5.2.10. Общие требования к методологии метрологического обеспечения ИС ЦПС. Согласно [2] ИС ЦПС является типовым измерительным объектом типа ИС-2.

Измерительные компоненты. В ИС ЦПС должны использоваться электронные трансформаторы (т.е. трансформаторы, снабженные цифровым выходом). Использование традиционных трансформаторов допустимо только совместно с использованием измерительного преобразователя.

Вычислительные компоненты. Вычислительный компонент должен иметь сопряжение с коммуникационной сетью ЦПС. В качестве основного потока входных данных вычислительный компонент должен использовать поток данных от устройств объединения и датчиков технологической информации в формате согласно стандартам [2]. В качестве входного сигнала для вычислительного компонента также выступает источник синхронизации.

Связующие компоненты. Сеть передачи измерительных данных должна быть выполнена в рамках коммуникационной сети ЦПС. Пропускная способность связевого и коммуникационного оборудования должна быть достаточна для передачи данных от устройств объединения к вычислительным компонентам в объеме и количестве, предусмотренном проектным решением.

5.2.11. Требования к нормам точности измерений. Нормы точности измерительных каналов ИС ЦПС определяются особенностями процесса измерения. В типовом измерительном канале процесс измерения можно разбить на следующие этапы:

– аналого-цифровое преобразование (измерительные компоненты);

– вычисление на основе преобразованных данных самой измеряемой величины (вычислительный компонент).

Исходя из того, что погрешность вычисления алгоритмов определяется через характеристики входных значений, и все множество алгоритмов ИС ЦПС использует одни и те же данные первичных преобразований, то требования к точности измерительных компонентов фор-

мируются на основе требования точности всех вычислительных компонентов. В этом состоит отличие ИС ЦПС от традиционных, в которых, как правило, использовался отдельный измерительный канал для каждой функциональной задачи.

Для того чтобы предъявить требования к вычислительным компонентам, необходимо классифицировать множество измеряемых ИС ЦПС величин. Результат классификации представлен в табл. 5.1 [2].

Требования к точности компонентов ИС ЦПС устанавливаются на основании анализа способов вычисления данных величин и требований к ним, установленным в нормативной документации.

5.2.12. Нормы точности измерительных компонентов. Для электронных трансформаторов тока и напряжения нормируют класс точности и определяют предел погрешности в соответствии с [2].

Для устройств объединения нормируют следующие метрологические характеристики цифрового потока данных:

- частоту дискретизации;
- эффективную разрядность данных;
- погрешность синхронизации;

Указанные метрологические характеристики нормируют для различных потоков, формируемых устройством объединения, в зависимости от целей, для которых они применяются. Следует различать цели для:

- защиты и управления;
- учета электроэнергии;
- измерений показателей качества электрической энергии.

На выбор частоты дискретизации влияет необходимость учета, не менее:

- 5 гармоник для целей защиты;
- 13 гармоник для целей учета электроэнергии;
- 50 гармоник для целей измерения ПКЭ.

Частоту дискретизации (f_s) следует нормировать в виде $f_s = N f_r$, где N – количество выборок, приходящихся на период номинальной частоты (f_r).

Частота дискретизации должна быть как минимум вдвое выше частотного диапазона (теорема Котельникова–Найквиста), следовательно, необходимо выбирать $N = 2am$, где m – необходимое число гармоник; a – коэффициент запаса (не обязательно целый, но не менее 2 для целей измерений), необходимый для предварительной цифровой обработки сигнала вычислительными компонентами ИС ЦПС. Отсюда необходимо для частоты дискретизации выбирать значения, не менее:

- 500 Гц для защиты;
- 2600 Гц для целей учета электроэнергии;
- 10 000 Гц для целей анализа качества электроэнергии.

Эффективную разрядность данных нормируют исходя из потребностей типовых алгоритмов обработки данного потока, вычисления:

- действующих значений тока и напряжения простейшими способами, сравнение с уставками, в алгоритмах для целей защиты;
- действующих значений мощности, накопительных алгоритмов для целей учета электроэнергии;
- Фурье-преобразования для целей вычислений параметров качества электроэнергии.

На основе методики [2] можно установить, что минимальная:

- эффективная разрядность цифрового потока тока для целей защиты должна быть не менее 10 бит;
- эффективная разрядность цифрового потока напряжения для целей защиты должна быть не менее 13 бит.

Аналогично требования для цифровых потоков, применяемых для измерений, приведены в табл. 5.2 [2]. Требования к точности синхронизации предъявляют исходя из требований различных задач, для которых используются цифровые потоки. В ИС ЦПС применяется универсальная система синхронизации, поэтому она должна выдерживать самые жесткие предъявляемые требования. На основе [2] к системе следует предъявить требования синхронизации данных токов и напряжений в 1 мкс.

5.2.13. Нормы точности вычислительных компонентов. Нормами точности для вычислительного элемента является точность алгоритмов, на основе которых выполняется расчет величины. Вычисляемые характеристики можно условно разделить на следующие типы по характеру входных данных:

- каналные, вычисляются на основе данных одного канала (например, действующие значения тока);
- фазные, вычисляемые на основе данных одной фазы (например, действующее значение мощности);
- многофазные, вычисляемые на основе данных трехфазной системы (например, действующее значение обратной последовательности).

5.2. Требования к минимальной разрядности

Класс точности	Канал тока						Канал напряжения				
	0.1	0.2	0.5	1	0.2S	0.5S	0.1	0.2	0.5	1	3
Разрядность, бит	16	15	14	13	17	16	14	13	12	11	9

Вычисляемые характеристики можно разделить на критичные к гармоникам и некритичные к ним.

Для алгоритмов, реализуемых на вычислительных компонентах, следует нормировать следующие характеристики:

- вычислительная погрешность на идеальных данных;
- зависимость погрешности алгоритма от погрешности входных данных;
- условия достоверности алгоритма.

При разработке алгоритмов необходимо стремиться к тому, чтобы вычислительная погрешность на идеальных данных стремилась к нулю, а зависимость погрешности алгоритма от погрешности входного потока была минимальной в метрологическом диапазоне параметров потока.

5.2.14. Нормы точности измерительных каналов. Основной метрологической характеристикой канала является вычислительная погрешность алгоритма, который вычисляет данную характеристику, определенная по нормированным характеристикам входных цифровых потоков.

Перечень основных характеристик, которые необходимо вычислять в пределах ИС ЦПС, указан ранее. Там же представлены основные нормативные документы, в которых определены нормы точности для измерения данных характеристик.

5.2.15. Требования к проверке измерительных каналов. ИС ЦПС имеет четкую структуру, которая отражена в структуре измерительных каналов. Типовой измерительный канал состоит из измерительного, вычислительного и прочих компонентов. Метрологические характеристики измерительных каналов определяются только измерительным и вычислительным компонентами. Благодаря глубокой коммуникационной и синхронизационной интеграции в такой системе возможно построение большого числа измерительных каналов. Независимая проверка каждого канала в отдельности становится нерациональной. Таким образом, для проверки измерительных каналов ИС ЦПС используется метод покомпонентного анализа.

Покомпонентная проверка подразумевает независимую проверку всех компонентов, входящих в измерительный канал. На основании удовлетворительной проверки всех компонентов делается вывод об удовлетворительной проверке измерительного канала.

Таким образом, в части проверки измерительных каналов ИС ЦПС возникают следующие разнородные задачи, проверка:

- измерительных компонентов (реальных физических приборов);
- проверка вычислительных компонентов (алгоритмов расчета);
- проверка работоспособности связевых компонентов.

Следует отметить, что архитектура ИС ЦПС реализует отделение функции первичного преобразования от функций вычисления, в связи с чем возникает нормативное обеспечение поверки и аттестации вычислительных средств измерений. В настоящий момент существуют требования WELMEC 7.2 и их российская адаптация [2].

Однако считать данные нормативные инициативы базовыми пока не представляется возможным в силу новизны проблемы.

5.2.16. Общие требования. Поверке подвергают измерительные каналы ИС ЦПС, на которые распространён сертификат утверждения типа средств измерений.

Поверку измерительного канала проводят:

- первично, при вводе системы в эксплуатацию;
- по истечению межповерочного интервала;
- при замене одного из компонентов системы, при этом допускается проводить поверку только заменяемого компонента.

5.2.17. Поверка измерительных компонентов. Поверку электронных трансформаторов тока и электронных трансформаторов напряжения проводят с помощью методов [2].

Система, состоящая из традиционного трансформатора и измерительного преобразователя, должна поверяться как электронный трансформатор (рис. 5.3) [2].

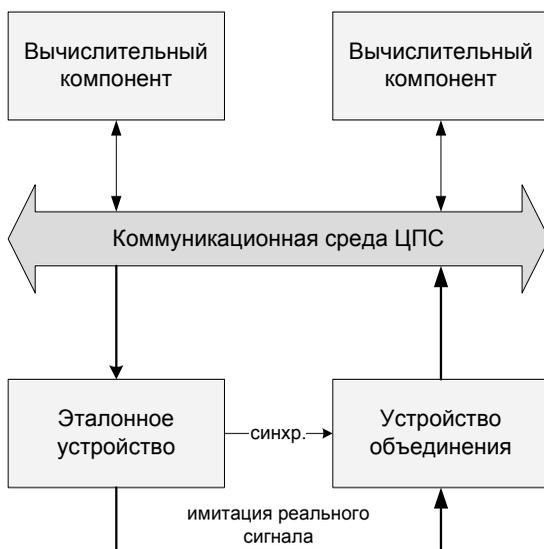


Рис. 5.3. Схема поверки измерительных компонентов ИС ЦПС

Определение амплитудно-частотных характеристик трансформаторов является на сегодняшний день открытой актуальной проблемой, рассмотрение которой выходит за рамки монографии. Если определить амплитудно-частотные характеристики невозможно, следует для трансформаторов использовать амплитудно-частотные характеристики, полученные в результате численного моделирования или экстраполяции.

Модуль объединения должен поверяться методом сравнения с эталоном. Эталонное устройство должно:

- формировать цифровой поток либо на основе заданных характеристик, либо на основе записанного цифрового файла;
- формировать сигнал синхронизации либо иметь синхронизационное окончание, такое же, как и на модуле объединения;
- иметь интерфейс Ethernet, совместимый с устройством объединения.

Для проведения поверочных испытаний:

- к устройству объединения присоединяется в качестве входных выходные цепи эталонного устройства;
- эталонное устройство синхронизируется с устройством объединения;
- эталонное устройство и модуль объединения соединяются посредством сети Ethernet;
- с помощью типовых тестов определяют основные метрологические характеристики модулей объединения; поверка осуществляется на основе анализа по выборочной разнице между сформированными и выданными цифровыми данными;
- с помощью записанных файлов имитируют работу электронных трансформаторов, с которыми должно работать устройство объединения.

5.2.18. Поверка вычислительных компонентов. Вычислительные компоненты проходят первичную поверку при сертификации алгоритмов, на которых они основаны.

Поверка вычислительного компонента производится с помощью эталонных цифровых потоков двух типов. Первый тип является фиксированным и предназначен для определения вычислительной точности алгоритма в идеальных условиях. Второй предназначен для определения вычислительной погрешности в зависимости от погрешностей входных потоков и должен содержать случайную компоненту.

Поверочные сигналы не должны быть привязаны к алгоритму, который вычисляет заданную характеристику, но должны определяться самой характеристикой.

5.2.19. Проверка работоспособности связевых компонентов. Включает в себя проверку:

- целостности коммуникационной среды;
- пропускной способности коммуникационной среды;
- доступности коммуникационной среды;
- латентности коммуникационной среды;
- прочие проверки.

5.2.20. Оценка влияния коммуникационной среды на метрологические характеристики измерительных каналов. Коммуникационная среда представляет важную часть ИС ЦПС. Несмотря на то, что сама по себе она не является средством измерения, ее характеристики могут оказывать на процесс измерения существенное влияние. Коммуникационная среда ЦПС строится на базе сетей Ethernet, в основе которой лежит пакетный принцип передачи данных. Таким образом, в пределах коммуникационной среды ЦПС потеря информации сводится к потере пакетов. К ситуации потери пакета следует также отнести ситуацию, в которой пакет был доставлен с задержкой, превышающей нормативные значения, указанные в [2]. Влияние потери пакета на алгоритмы зависит от целей, для которых применяют алгоритм, для:

- алгоритмов, применяемых для целей защиты, потеря пакета неприемлема;
- алгоритмов, применяемых для вычислений действующих значений, которые в основном основаны на вычислении сверток, потеря пакетов приводит к снижению точности;
- алгоритмов, применяемых для вычисления показателей качества электрической энергии, потеря пакета может привести к значительному искажению результата, поэтому ПКЭ, вычисленные с потерей пакета, должны быть маркированы как недостоверные, согласно [2].

5.3. НАДЕЖНОСТЬ, ИНФОРМАЦИОННАЯ И КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

В число основных целей создания ЦПС входит создание технических условий для перехода к подстанциям без постоянного присутствия дежурного персонала (с управлением из диспетчерских центров или ЦУС) и интеграции подстанций в активно-адаптивную электрическую сеть (ААС). В свете указанных целей к ЦПС предъявляются требования по обеспечению надежности выполнения основных технологических функций подстанции, которые, по меньшей мере, не ниже, а по отдельным показателям надежности – выше аналогичных требований к большинству существующих подстанций ЕНЭС РФ.

Надежность выполнения ЦПС своих основных технологических функций в значительной степени определяется надежностью компонентов программно-аппаратного комплекса (ПАК) ЦПС.

В связи с вышесказанным для обеспечения высоких требований по надежности, предъявляемых к оборудованию ПАК ЦПС, требуется разработка единой программы обеспечения надежности ПАК ЦПС, решающей задачи обеспечения надежности ПАК ЦПС в комплексе, регламентирующей, в том числе, требования:

- к применению самодиагностики и функциональной диагностики оборудования ПАК ЦПС;
- к резервированию компонентов ПАК ЦПС;
- к регламентам проведения работ по техническому обслуживанию и ремонтам оборудования ПАК ЦПС на основании данных самодиагностики и функциональной диагностики оборудования и т.п.

5.3.1. Состояние вопроса надежности в мировой практике построения ЦПС. Значимой тенденцией, сопутствующей переходу от традиционных подстанций к цифровым, является переход от периодического технического обслуживания и ремонтов оборудования подстанций к техническому обслуживанию и ремонтам оборудования подстанций по состоянию. Принятые в современной зарубежной электроэнергетике требования (к примеру, нормативный документ NERC (США) [2]) устанавливают необходимость в организации процессов аудита действующих программ технического обслуживания и ремонтов по состоянию в соответствии со стандартами управления качеством (ISO 9001) или надежностью (IEC 60300).

5.3.2. Анализ современных требований к надежности ЦПС. Базовые требования из области надежности к АСУ ТП и отдельным компонентам оборудования подстанций определены стандартами ГОСТ серии 27: ГОСТ 27.002, ГОСТ 27.003, ГОСТ 27.301, ГОСТ 27.310, ГОСТ 27.410.

Требования по надежности к компонентам первичного оборудования подстанций определяются требованиями государственных стандартов на отдельные виды оборудования (ГОСТ 11677, ГОСТ Р 52565 и т.п.).

Требования по надежности оборудования вторичных систем подстанций определяются, в основном, требованиями отраслевых документов, в том числе РД 34.35.120 и РД 34.35.310.

Требования к надежности коммуникационной среды подстанции определены в принятом стандарте ГОСТ Р МЭК 61850-3.

Международной электротехнической комиссией (МЭК) приняты стандарты, регламентирующие требования к системам управления надежностью в электроэнергетике. Основная часть данных стандартов принята в РФ. Организация процессов управления надежностью ЦПС в соответствии со стандартами ГОСТ Р 51901.2, ГОСТ Р 51901.3 и др. не только имеет целью обеспечение выполнения программ технического обслуживания и ремонтов оборудования ЦПС по состоянию и процессов аудита выполнения указанных программ, как это требуется за рубежом, но также обеспечивает упорядочивание процессов, направленных на поддержание необходимого уровня надежности ЦПС в целом, реализацию программ повышения надежности ЦПС на всех стадиях жизненного цикла ЦПС (проектирование, внедрение, эксплуатация). В связи с этим создание системы управления надежностью ЦПС является ключевым моментом программы обеспечения надежности (ПОН) ЦПС.

5.3.3. Общие требования к надежности ЦПС. В рамках данного подраздела применяются термины из области надежности в соответствии с ГОСТ 27.002. Дополнительные термины из области надежности, используемые и применяемые в текущем подразделе, приведены ниже в табл. 5.3 [2].

5.3. Термины из области надежности

Термин	Определение термина
Единичный отказ компонента ПАК ЦПС	Событие отказа одного компонента ПАК ЦПС при сохранении работоспособности остальных компонентов ПАК ЦПС
Множественный отказ компонентов ПАК ЦПС	Одновременное возникновение нескольких единичных отказов компонентов ПАК ЦПС или единичный отказ компонента ПАК ЦПС при неработоспособности одного или нескольких других компонентов ПАК ЦПС
Единая точка отказа	Один или несколько компонентов ПАК ЦПС, одновременный отказ или неработоспособное состояние которых приводит к отказу какой-либо функциональной подсистемы АСУ ТП ЦПС

В рамках данной Методологии рассматриваются следующие объекты надежности ЦПС:

– отдельные компоненты ПАК ЦПС, в том числе первичное оборудование (силовые трансформаторы и автотрансформаторы, высоковольтные коммутационные аппараты и др.) и оборудование вторичных систем (устройства IED, коммуникационное оборудование, серверы синхронизации времени, кабельные системы коммуникационной сети и сети синхронизации времени ЦПС и т.п.);

– отдельные функции системы АСУ ТП ЦПС (функции РЗА, ПА, РАС, ОМП, учета электроэнергии, контроля качества электроэнергии и т.п.).

Структура объектов надежности ЦПС показана ниже на рис. 5.4 [2].

5.3.4. Требования к надежности компонентов ПАК ЦПС. Компоненты ПАК ЦПС должны соответствовать следующим требованиям стандарта ГОСТ Р МЭК 61850-3 по надежности.

Любой единичный или множественный отказ компонентов ПАК ЦПС, относящихся к оборудованию вторичных систем подстанции, не должен приводить к отказу других компонентов ПАК ЦПС (работоспособных до возникновения указанного единичного или множественного отказа).

Любой единичный или множественный отказ компонентов ПАК ЦПС должен своевременно обнаруживаться.

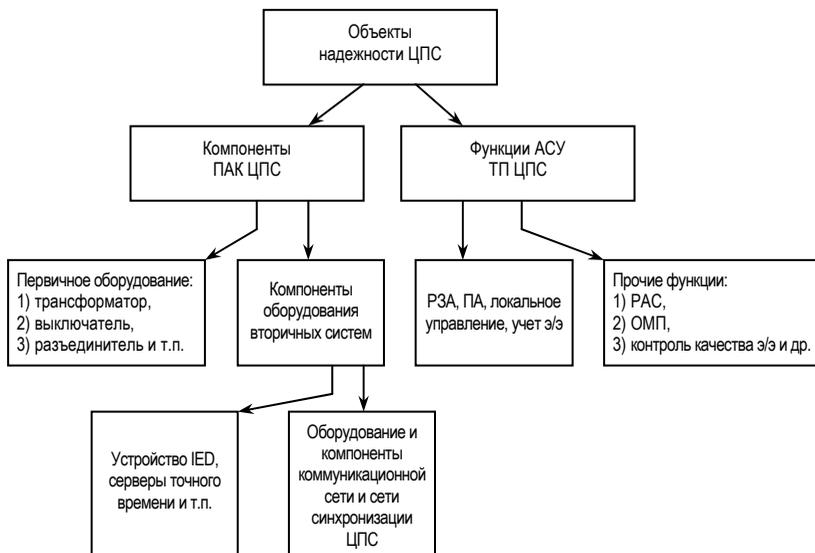


Рис. 5.4. Структура объектов надежности ЦПС

Коммуникационная сеть и сеть синхронизации времени ЦПС должны обеспечить поддержку резервирования компонентов ПАК ЦПС, в том числе, поддержку автоматического переключения с основного компонента на резервный при отказе основного компонента.

Время переключения с основного компонента на резервный при отказе основного компонента коммуникационной сети или сети синхронизации времени ЦПС не должно превышать предельного времени переключения, при котором обеспечивается сохранность показателей вероятности безотказной работы функций АСУ ТП ЦПС.

При использовании резервирования компонентов ПАК ЦПС, относящихся к оборудованию вторичных систем подстанции, должны быть исключены единые точки отказа, возникновение отказа в которых может привести одновременно к неработоспособности основного (резервируемого) и резервного компонента, или наличие указанных единых точек отказа должно быть сведено к минимуму.

Любой возможный единичный или множественный отказ компонентов ПАК ЦПС, относящихся к оборудованию вторичных систем подстанции, не должен приводить к запрещенным и/или нерегламентированным управляющим воздействиям на первичное оборудование.

Деградационные отказы компонентов ПАК ЦПС должны быть сведены к минимуму за счет замены компонентов достигших предельного состояния (определение терминов «деградационный отказ» и «предельное состояние» – в соответствии с ГОСТ 27.002).

В составе ПАК ЦПС должны применяться только такие компоненты оборудования, для которых производителем данного оборудования регламентирована вероятность отказа компонента в течение заявленного производителем срока службы компонента или среднее время наработки до отказа.

Применяемые в ПАК ЦПС устройства IED в части требований по надежности должны соответствовать РД 34.35.310.

5.3.5. Требования к надежности функций АСУ ТП ЦПС. В соответствии с требованиями РД 34.35.120 значение показателя вероятности безотказной работы для отдельных функций ЦПС в течение срока службы ЦПС должно составлять не менее [1,2]:

- 0,9997 – для функций РЗА;
- 0,999 – для прочих функций АСУ ТП ЦПС, в том числе функций ПА, автоматического и оперативного управления, учета электроэнергии, контроля качества электроэнергии, регистрации аварийных событий, ОМП и т.п.

При построении ЦПС (на этапе заказа работ по созданию ЦПС или этапе проектирования ЦПС) допускается для отдельных функций ЦПС устанавливать более высокие значения требуемого показателя вероятности безотказной работы в течение срока службы ЦПС.

В ЦПС должно обеспечиваться взаимное резервирование функций локального управления подстанцией (с АРМ ОП) и удаленного управления подстанцией (из диспетчерского пункта).

При отказе какой-либо функции АСУ ТП ЦПС среднее время восстановления работоспособности данной функции с обеспечением на период восстановления резервирования данной функции в соответствии с требованиями ГОСТ Р МЭК 61850-3 должно составлять не более 36 ч (соответственно классу ремонтпригодности М1 по ГОСТ Р МЭК 870-4). Указанный лимит времени восстановления включает в себя время ожидания восстановления (организационное и транспортное время в соответствии с ГОСТ Р МЭК 870-4) и время проведения непосредственно работ по восстановлению.

При отказе какой-либо функции АСУ ТП или смежной интегрируемой в АСУ ТП системы, не имеющей резерва, или одновременном отказе функции и ее резерва суммарное время восстановления работоспособности данной функции должно составлять:

- для функций РЗА, противоаварийной автоматики, автоматического и оперативного управления – не более допустимого времени восстановления устройства РЗА в соответствии с РД 34.35.310, т.е. не более 0,5 ч;

- для прочих функций АСУ ТП ЦПС – не более 6 ч (в соответствии с классом ремонтпригодности М3 по ГОСТ Р МЭК 870-4).

При построении ЦПС (на этапе заказа работ по созданию ЦПС) допускается устанавливать меньшие требуемые лимиты времени восстановления работоспособности функций ЦПС, чем указано выше.

5.3.6. Методы обеспечения программно-аппаратной надежности ЦПС. Комплекс методов обеспечения программно-аппаратной надежности ПАК ЦПС включает в себя следующие методы:

- самодиагностика и внешняя автоматизированная диагностика компонентов ПАК ЦПС;

- применение в ПАК ЦПС оборудования со встроенными средствами автоматического восстановления после сбоев;

- функциональная диагностика ПАК ЦПС;

- резервирование компонентов ПАК ЦПС;

- применение в рамках ЦПС системы управления надежностью на базе стандартов ГОСТ Р 51901.2, ГОСТ Р 51901.3 и др.

Далее в отдельных пунктах приведено описание вышеперечисленных методов обеспечения программно-аппаратной надежности ЦПС.

5.3.7. Самодиагностика и внешняя автоматизированная диагностика компонентов ПАК ЦПС. В подразделе приведены требования к самодиагностике и внешней автоматизированной диагностике компонентов ПАК ЦПС, а также требования к применению средств автоматического восстановления после сбоев в компонентах ПАК ЦПС.

Общая схема самодиагностики и внешней автоматизированной диагностики показана ниже на рис. 5.5 [2].

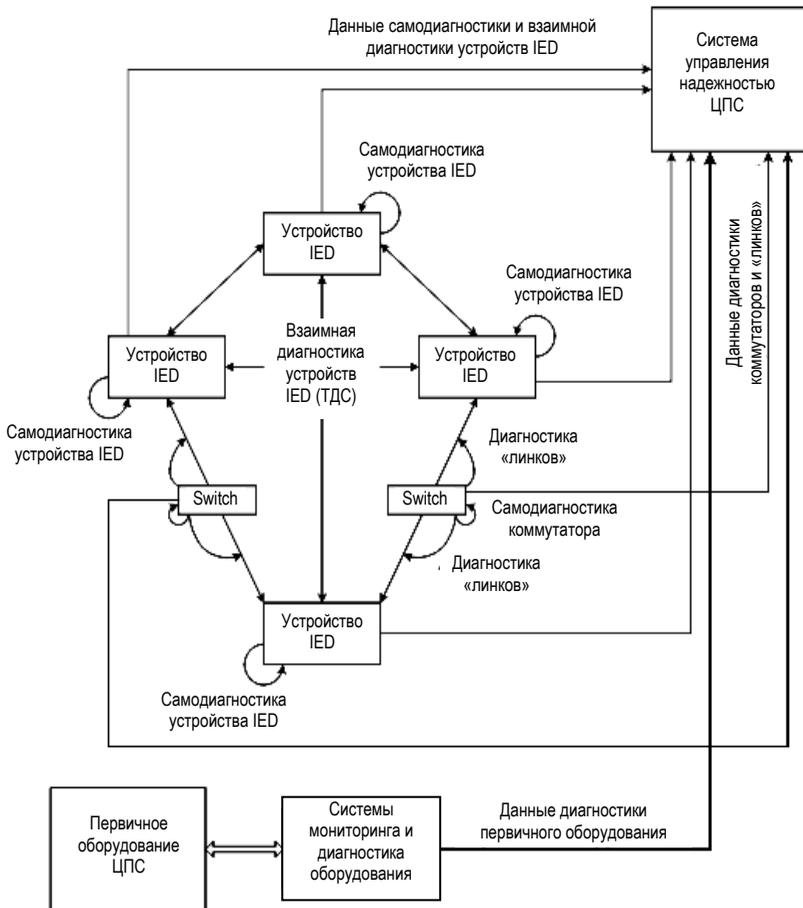


Рис. 5.5. Структура общих требований к ЦПС в части надежности

В рамках ЦПС должен выполняться непрерывный мониторинг состояния всего первичного оборудования подстанции, в том числе:

- силовых трансформаторов, автотрансформаторов, трансформаторов собственных нужд, устройств РПН трансформаторов, систем охлаждения силовых трансформаторов (автотрансформаторов, трансформаторов собственных нужд);
- высоковольтных выключателей и разъединителей;
- оборудования систем оперативного постоянного тока, в том числе аккумуляторных батарей.

Перечень параметров мониторинга для каждого вида первичного оборудования, временной регламент выполнения мониторинга должны определяться действующими регламентами ОАО «ФСК ЕЭС».

Каждое устройство IED в составе ПАК ЦПС, в том числе, устройства IED нижнего уровня АСУ ТП ЦПС и устройства IED связи АСУ ТП с первичным оборудованием должны выполнять функции самодиагностики.

Функции самодиагностики устройств IED должны обеспечить контроль зависания внутренней программы устройства. При обнаружении зависания внутренней программы устройство должно производить немедленную автоматическую перезагрузку внутренней программы.

Функции самодиагностики устройств IED должны обеспечить проверку работоспособности аппаратных элементов устройства IED.

Для каждого аппаратного элемента IED, проверяемого в ходе процедур самодиагностики IED (внешние информационные интерфейсы, микропроцессор, внутренние часы, оперативная память, блоки АЦП), устройство IED должно выполнять проверку работоспособности с периодичностью не менее одного раза в сутки.

Устройства IED с резервируемыми блоками электропитания дополнительно должны обеспечить диагностику работоспособности основного блока питания (блока питания, через который осуществляется питание устройства в данный момент времени). При диагностировании отказа основного блока питания устройство IED должно обеспечить переключение на резервный с фиксацией события в журнале событий.

Все применяемые в рамках ЦПС устройства IED должны производить непрерывный информационный обмен тестовыми диагностическими сообщениями (далее – ТДС) через коммуникационную сеть ЦПС с целью обеспечения быстрого выявления отказов отдельных устройств IED в ЦПС.

ТДС должны иметь формат GOOSE-сообщений в соответствии с IEC 61850-8.1.

Каждое устройство IED в ЦПС должно обеспечивать одновременно прием и отправку ТДС.

Количество устройств IED – получателей ТДС от данного устройства IED в рамках ЦПС должно быть не менее двух. Конкретные получатели ТДС от данного устройства IED определяются на стадии проектирования ЦПС.

Каждое устройство IED должно обеспечить прием ТДС одновременно не менее чем от двух устройств IED – отправителей ТДС. Конкретные отправители ТДС, для которых данное устройство IED является получателем, определяются на стадии проектирования ЦПС.

Устройство IED должно фиксировать и вести учет последних ТДС, полученных от других устройств IED – отправителей ТДС. В случае, если от одного из отправителей в течение длительного времени после последнего ТДС не было получено нового ТДС, данное устройство IED должно немедленно сигнализировать о возможном отказе устройства IED – отправителя ТДС.

5.3.8. Функциональная диагностика ПАК ЦПС. Функциональная диагностика – проверка корректной работы компонентов ПАК ЦПС в режиме штатного выполнения функций подстанции (в штатном режиме АСУ ТП ЦПС) или с использованием тестового режима выполнения функций АСУ ТП ЦПС. Различаются три основных метода функциональной диагностики ЦПС:

1. Проверка функциональных подсистем оперативного управления, а также интегрированных в АСУ ТП систем РЗА, противоаварийной автоматики, автоматического управления с использованием тестового режима выполнения функций АСУ ТП ЦПС.

2. Проверка функциональных подсистем оперативного управления, а также интегрированных в АСУ ТП систем РЗА, противоаварийной автоматики, автоматического управления в штатном режиме выполнения функций АСУ ТП ЦПС.

3. Проверка функциональных подсистем первичных измерений, измерений производных величин, а также интегрированной системы учета электроэнергии в процессе штатного функционирования АСУ ТП ЦПС методом сведения балансов по присоединениям. Далее в отдельных подпунктах приведено описание вышеуказанных методов функциональной диагностики ПАК ЦПС.

5.3.9. Проверка устройств в тестовом режиме работы. Цифровые вторичные цепи и информационные потоки позволяют произвести функциональную самодиагностику в процессе штатного функционирования системы. Далее приведено описание метода на примере функциональной диагностики устройства РЗА (IED) (рис. 5.6) [2].

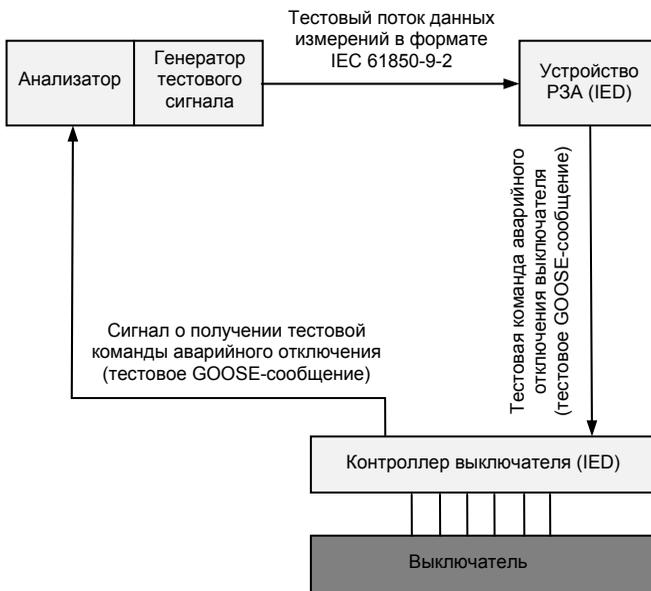


Рис. 5.6. Функциональная диагностика релейной защиты в тестовом режиме работы АСУ ТП ЦПС

В ЦПС имеется отдельный генератор тестового измерительного сигнала, который производит генерацию тестового потока данных измерений тока/напряжения в формате протокола IEC 61850-9.2. Получателем тестового потока IEC 61850-9.2 является тестируемое устройство РЗА (IED). Данные потока помечены как «test».

Генератор тестового сигнала формирует тестовый поток IEC 61850-9.2, соответствующий данным измерения тока / напряжения в нормальном (неаварийном) режиме. Периодически (с периодичностью, как правило, от нескольких секунд до нескольких минут) генератор вставляет в поток IEC 61850-9.2 запрограммированную серию срезов мгновенных значений тока / напряжения, соответствующих аварийному режиму (режиму, в котором должна срабатывать релейная защита). При получении серии срезов данных измерений потока IEC 61850-9.2, соответствующих аварийному режиму, устройство РЗА отдает команду на аварийное отключение выключателя, посылая GOOSE-сообщение (IEC 61850-8.1) контроллеру выключателя. Поскольку устройство РЗА «осведомлено» о том, что входной поток IEC 61850-9.2 является тестовым, GOOSE-сообщение, содержащее в себе команду аварийного отключения, также снабжается признаком «test».

Контроллер выключателя получает GOOSE-сообщение с командой аварийного отключения. Так как GOOSE-сообщение помечено флагом «test», контроллер выключателя не производит фактического отключения выключателя. Итоговое диагностическое GOOSE-сообщение также помечается флагом «test».

Анализатор по полученному итоговому диагностическому GOOSE-сообщению определяет временные характеристики срабатывания релейной защиты в ЦПС.

5.3.10. Проверка функциональных подсистем оперативного управления, а также интегрированных в АСУ ТП систем РЗА, ПА, автоматического управления при штатном выполнении функций. Описание метода приведено на примере функциональной диагностики функции интегрированного в АСУ ТП ЦПС устройства релейной защиты (рис. 5.7) [2].

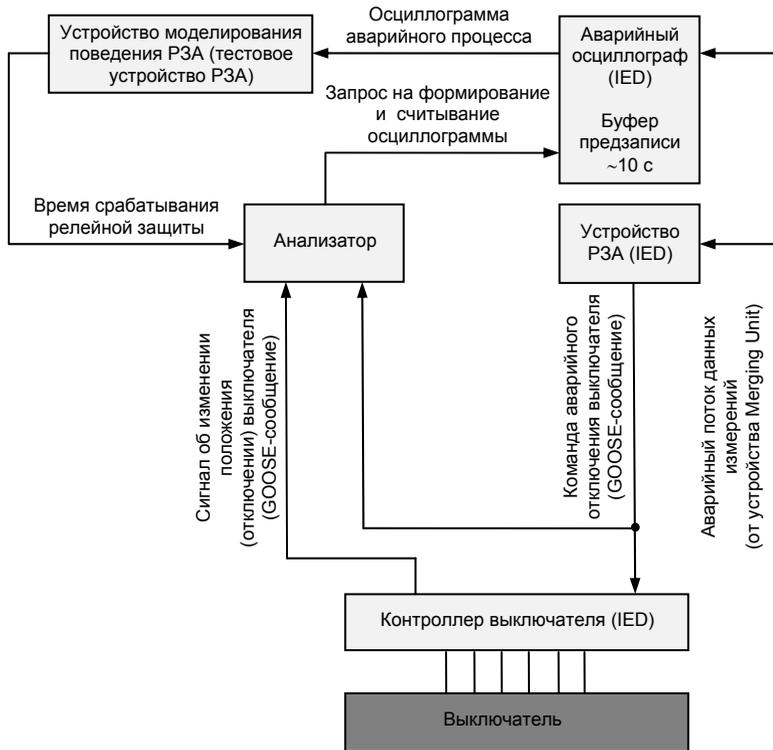


Рис. 5.7. Функциональная диагностика релейной защиты в тестовом режиме работы АСУ ТП ЦПС

Данный пример иллюстрирует один из возможных подходов к решению задачи. На последующих этапах работы необходимо разработать техническое решение, удовлетворяющее требованиям, предъявляемым к системам РЗА и ПА.

Функциональная диагностика релейной защиты в режиме штатного выполнения функций АСУ ТП ЦПС обеспечивает проверку всех компонентов ПАК ЦПС, на базе которых функционирует подсистема релейной защиты, в том числе устройства РЗА (IED), контроллера выключателя, каналов коммуникационной сети («линков») между устройством РЗА, контроллером выключателя и т.п. в штатном режиме, в том числе и в момент срабатывания устройства РЗА.

Устройство РЗА присоединения штатно получает поток данных измерений тока и/или напряжения в формате IEC 61850-9.2. Параллельно в коммуникационной сети ЦПС функционирует аварийный осциллограф, который также является получателем данного потока IEC 61850-9.2. Аварийный осциллограф производит непрерывное осциллографирование тока/напряжения на глубину порядка нескольких секунд (~ 10 с).

При получении аварийного сигнала IEC 61850-9.2 срабатывает устройство РЗА, формирующее при своем срабатывании GOOSE-сообщение с командой аварийного отключения, которое посылается контроллеру выключателя. Контроллер выключателя производит отключение выключателя. После выполнения отключения выключателя контроллер формирует GOOSE-сообщение об измененном (отключенном) положении выключателя.

Указанное GOOSE-сообщение улавливается анализатором. Анализатор также улавливает GOOSE-сообщения от устройства РЗА с командами аварийного отключения. GOOSE-сообщение от устройства РЗА с командой аварийного отключения выключателя должно содержать в себе отметку времени формирования (отправки) данного GOOSE-сообщения. Формируемое контроллером выключателя GOOSE-сообщение об измененном (отключенном) положении выключателя должно содержать в себе отметку времени момента отключения выключателя.

При получении GOOSE-сообщений о срабатывании РЗА и об отключенном положении выключателя после срабатывания РЗА анализатор формирует команду аварийному осциллографу (IED) о записи осциллограммы, накопленной в буфере предварительной записи. Указанная осциллограмма передается устройству моделирования, которое производит моделирование процесса срабатывания РЗА по исходным

данным в виде осциллограммы кривых тока/напряжения и на основании имеющихся у него текущих уставок устройства РЗА. При моделировании процесса срабатывания РЗА точно вычисляется требуемый момент времени срабатывания. Указанные данные о времени срабатывания передаются анализатору. На основании этих и ранее полученных данных анализатор определяет:

1. Время срабатывания устройства РЗА (от момента получения аварийной серии срезов мгновенных значений тока/напряжения в формате протокола IEC 61850-9.2 до момента отправки GOOSE-сообщения контроллеру выключателя с командой аварийного отключения).

2. Время передачи GOOSE-сообщения от РЗА контроллеру выключателя.

3. Время от момента получения контроллером выключателя команды аварийного отключения до момента отключения выключателя.

Замеры вышеуказанных временных параметров при штатном выполнении функции РЗА позволяют диагностировать соответствие указанных параметров требуемым временным характеристикам работы функций РЗА. При обнаружении несоответствия временных параметров требованиям производится автоматическое информирование локально на АРМ ОП или АРМ-релейщика, или информирование соответствующих служб эксплуатации подстанции по цифровым каналам связи.

В ЦПС функциональная диагностика должна применяться для каждой функциональной подсистемы, обеспечивающей выполнение функций РЗА.

Рекомендуется применять функциональную диагностику для следующих функциональных подсистем ЦПС:

- подсистемы ПА, автоматического и оперативного управления;
- подсистемы первичных измерений тока/напряжения для задач РЗА;
- подсистемы учета электроэнергии – для особо ответственных присоединений подстанции (например, отходящих высоковольтных линий с целью обеспечения более высокой надежности функций учета электроэнергии).

Допускается применение вышеописанной схемы диагностики функциональной подсистемы РЗА без аварийного осциллографа и устройства моделирования срабатывания РЗА. В этом случае анализатор в указанной схеме обеспечивает только замеры следующих временных характеристик срабатывания:

1. Время передачи GOOSE-сообщения от устройства РЗА контроллеру выключателя.

2. Время от момента получения контроллером выключателя команды аварийного отключения до момента отключения выключателя.

При этом контролируется, в основном, только способность контроллера выключателя и самого выключателя обеспечить быстрое аварийное отключение.

5.3.11. Программно-аппаратное резервирование компонентов ПАК ЦПС. Резервирование устройств IED является основным средством повышения надежности ПАК ЦПС. Под программно-аппаратным резервированием устройства IED понимается резервирование одного устройства IED (резервируемого) одним или более другими устройствами IED (резервными). При этом резервируемые и резервные устройства IED должны быть взаимозаменяемыми и выполнять идентичные функции.

В ЦПС для резервирования устройств IED применяются следующие способы резервирования в соответствии с ГОСТ 27.002:

1. Резервирование замещением.
2. Скользящее резервирование.
3. Постоянное резервирование.

Термины «резервирование замещением», «скользящее резервирование» и «постоянное резервирование» – в соответствии с ГОСТ 27.002.

Для устройств IED, обеспечивающих функции релейной защиты и резервируемых способом постоянного резервирования, возможны два варианта применения постоянного резервирования:

- параллельное резервирование;
- резервирование «с голосованием».

5.3.12. Резервирование коммуникационной сети ЦПС. В коммуникационной сети АСУ ТП ЦПС применяются следующие механизмы программно-аппаратного резервирования:

- дублирование отдельных сегментов коммуникационной сети ЦПС;
- обеспечение резервных «линков», коммутаторов, маршрутизаторов в коммуникационной сети (в рамках одного сегмента коммуникационной сети).

При этом в коммуникационной сети с дублированием отдельных сегментов и/или с обеспечением резервных «линков», коммутаторов и маршрутизаторов в рамках одного сегмента коммуникационной сети обеспечивается протокольная поддержка указанных резервных структур (протоколы RSTP (IEEE 802.1D), PRP и HSR (IEC 62439-3) и т.п.).

Способы и механизмы резервирования коммуникационной сети АСУ ТП ЦПС описаны в главе 1.

5.3.13. Резервирование сети и серверов синхронизации времени. Требования к резервированию сети и серверов синхронизации времени приведены выше в разделе требований к системе обеспечения единого времени и подсистеме инструментальной синхронизации.

5.3.14. Система управления надежностью ПАК ЦПС. Применение системы управления надежностью ПАК ЦПС в соответствии со стандартами серии ГОСТ Р 51901 имеет целью обеспечение своевременных операций по техническому обслуживанию и ремонтам оборудования ПАК ЦПС для поддержания требуемого уровня надежности ЦПС.

Система управления надежностью ПАК ЦПС выполняет следующие функции:

1. Сбор данных об отдельных повреждениях и отказах компонентов ПАК ЦПС и функциональных подсистем ЦПС из систем самодиагностики и внешней автоматизированной диагностики, функциональной диагностики ПАК ЦПС.

2. Анализ текущих показателей надежности ПАК ЦПС (в том числе отдельных программно-аппаратных компонентов и подсистем ПАК ЦПС, отдельных функциональных подсистем ЦПС).

3. Формирование очередей заявок на проведение восстановлений (ремонтов) компонентов ПАК ЦПС по данным о повреждениях и отказах программно-аппаратных компонентов/подсистем ПАК ЦПС.

5.3.15. Информационная безопасность. В рамках данного раздела освещены вопросы обеспечения информационной безопасности (ИБ) цифровой подстанции (ЦПС).

Необходимость в обеспечении ИБ ЦПС связана:

- с ростом общей информатизации энергообъекта;
- с переходом к подстанциям без постоянного присутствия персонала;
- с низким уровнем ИБ традиционных подстанций.

При построении информационной безопасности ЦПС особое внимание нужно уделять следующим потенциальным угрозам (см. IEC 62351-1): неосторожность персонала, отключение (обход) защиты, нарушение политики авторизации, компрометация канала связи («Man-in-the-middle»), атаки типа «Отказ в обслуживании» (DoS), действие вредоносного программного обеспечения («компьютерные вирусы», «черви» и т.д.).

Для обеспечения информационной безопасности должны использоваться как технические средства, так и организационные меры.

В рамках данного раздела применяются термины и определения, принятые ИЕС 62351-1, ГОСТ 34.10-2001 и Р 50.1.053–2005, если не указано иное.

5.3.16. Информационная модель информационной безопасности ЦПС. При построении системы ИБ группы ЦПС следует использовать иерархическую структуру обеспечения информационной безопасности, включающую в себя: удостоверяющий центр, головной сервер ИБ, серверы ИБ уровня ЦПС, объекты доступа (IED) (рис. 5.8) [2].

В задачи системы ИБ ЦПС включается обеспечение безопасности информационного обмена между устройствами (IED-ами) и пользователями системы. Безопасность должна быть обеспечена для всех видов информационного обмена (штатный информационный обмен, конфигурирование, администрирование и т.д.). Система ИБ ЦПС функционирует на основании предоставленного головным сервером ИБ МЭС объема достоверных данных.

Механизмами обеспечения ИБ в рамках ЦПС являются:

- использование цифровых сертификатов (далее сертификатов), включающих в себя открытый ключ проверки и закрытый ключ подписи;
- использование ЭЦП для обеспечения достоверности и подлинности;
- прочие аппаратные и программные решения по защите встраиваемого и автономного программного обеспечения, используемого в рамках ЦПС.

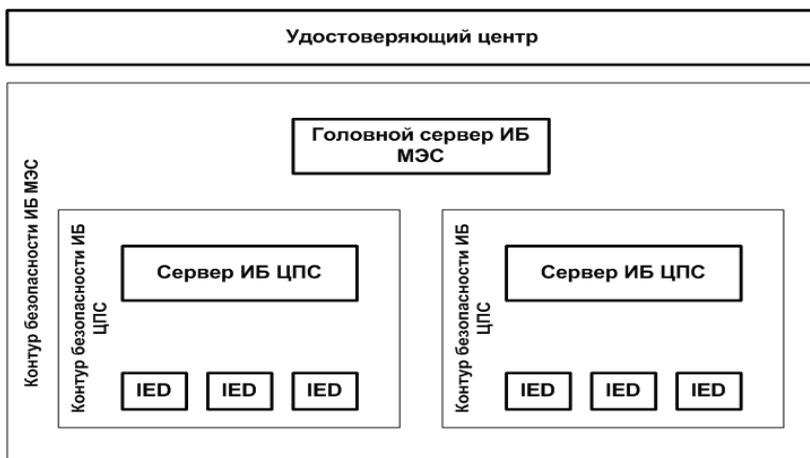


Рис. 5.8. Общая структура ИБ



Рис. 5.9. Схема распространения ключей подписи

Задача удостоверяющего центра – формирование цифровых сертификатов для всех участников информационного обмена ЦПС (рис. 5.9) [2]. Структура цифрового сертификата приведена в RFC 3280.

Для установления безопасного канала каждая из сторон должна обладать:

- ключом подписи (конфиденциальные данные);
- достоверными данными о принадлежности ключа проверки другой стороне информационного обмена.

Удостоверяющий центр обладает достоверной информацией о ключах проверки других сторон, так как он осуществляет выдачу этих ключей. Другим участникам информационного обмена достоверная информация о принадлежности ключа проверки данного удостоверяющего центра передается совместно с их собственным ключом подписи.

Производителем должен быть предусмотрен защищенный механизм записи сертификата устройства, позволяющий эксплуатационной организации производить его замену.

Сертификат для оборудования формируется удостоверяющим центром. Ключ подписи в рамках каждого устройства должен быть уникальным, рекомендуется производить регулярные проверки сертификатов.

По скомпрометированным сертификатам должна быть проведена работа по замене сертификатов устройств со скомпрометированным сертификатом, а также проведено внесение скомпрометированного сертификата в списки отозванных сертификатов на каждом сервере ИБ ЦПС.

Головной сервер ИБ осуществляет распространение/тиражирование открытых данных сертификатов (рис. 5.10) [2].

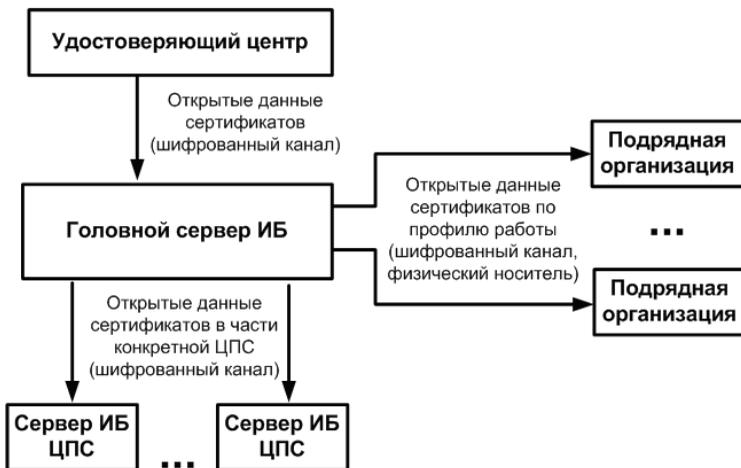


Рис. 5.10. Схема распространения открытых данных

Данные с головного сервера ИБ передаются на сервера ИБ ЦПС, в части объектов доступа ЦПС и в части субъектов доступа, допущенных к работе на данной ЦПС. В рамках защиты ИБ ЦПС должен быть обеспечен единый механизм защиты от несанкционированного подключения к коммуникационной среде. Следует использовать механизм, предусмотренный IEEE 802.1X. Поддержка IEEE 802.1X должна быть предусмотрена как в коммуникационном оборудовании, так и в конечных устройствах, подключаемых к сети ЦПС.

5.3.17. Сервер ИБ уровня ЦПС. В составе сервера ИБ ЦПС должны быть реализованы следующие сервисы:

- RADIUS/DIAMETER (RFC 2865/RFC 3588) сервер аутентификации подключения к коммуникационной сети ЦПС;
- Центр управления сертификатами.

Должна быть обеспечена надежность сервера ИБ ЦПС (бесперебойное питание, подключение к коммуникационной среде). Не допускается размещение сервера ИБ ЦПС за пределами ЦПС. Для корректного выполнения функции контроля сроков действия сертификатов сервер ИБ ЦПС подключать к серверу ведения единого времени по схеме с обязательной аутентификацией (обеспечить достоверность данных времени).

5.3.18. Модель потоков данных. В рамках ЦПС выделяются следующие типы защищаемых потоков данных:

- данные, передаваемые поверх TCP/IP: информационный обмен с использованием сервисов MMS (ISO 9506-1, ISO 9506-2), конфи-

гуирование IED с использованием SCL (IEC 61850-6) файлов, FTP (RFC 959) и т.д.

- данные, передаваемые поверх UDP: протоколы синхронизации времени SNTP (RFC 2030), NTP (RFC 5905), PTP (IEC 61588);

- данные, передаваемые непосредственно поверх кадров Ethernet: быстросействующие управляющие воздействия (GOOSE-сообщения), потоки мгновенных значений (SV 9.2).

Не допускается использование закрытых (фирменных) протоколов передачи данных без обеспечения аналогичного уровня информационной безопасности.

Защита данных, передаваемых поверх TCP/IP, обеспечивается средствами криптографического протокола TLS (Transport Layer Security) не ниже версии 1.0 (RFC 2246). Не допускается неограниченное использование выбранного симметричного ключа. Симметричные ключи должны пересматриваться по истечении определенного времени либо количества переданных/полученных байт. Инициатива по смене симметричного шифра должна исходить от устройства, получившего запрос на соединение, команды по смене шифра, получаемые от устройств, иницилирующих соединения, должны быть проигнорированы.

В устройствах также должен быть предусмотрен конфигурируемый тайм-аут на операцию по смене шифра, по истечении тайм-аута должен производиться разрыв соединения. Поверх UDP допускается передача трафика протоколов SNTP, NTP либо PTP. В качестве источника точного времени допускается использовать сервер с поддержкой NTP версии не ниже 4. Для обеспечения достоверности сервера для клиента необходимо использовать механизм автоключей (RFC 5906) либо шифрование по MD5 (RFC 1321).

Защиту NTP сервера в части атак на отказ в доступе (DoS) следует реализовать средствами коммуникационной среды (ограничения на используемый канал) либо механизмом «Kiss-o-Dead» (NTPv4). В рамках сервера точного времени предусмотреть поддержку клиентов, не поддерживающих процесс аутентификации. В случае обнаружения сервером NTP атаки на отказ в доступе блокировать данных клиентов. Поверх Ethernet допускается только трафик протокола IEC 61850: GOOSE-сообщения, поток данных по стандарту IEC 61850-9.2 (SV). При передаче данных в виде потока данных по стандарту IEC 61850-9.2 и GOOSE-сообщений использовать пакеты расширенной структуры (Extended PDU согласно IEC 62351-6), содержащие контрольную сумму пакета и ЭЦП данных.

К защите ключа подписи источника данных предъявляются требования, аналогичные требованиям к защите ключа подписи устройства. В рамках приемников потока данных по стандарту IEC 61850-9.2 допускается проводить выборочную проверку пакетов, но не менее 1 проверки в секунду.

Для приемников GOOSE-сообщений требуется проверка всех получаемых сообщений. Для обеспечения защиты от воспроизведения записанного ранее сообщения (replaying) включить в передаваемые сообщения метки времени.

5.3.19. Модель прав пользователей. Модель прав пользователей должна быть построена на основании положений системы управления доступом на основе ролей (RBAC).

В базовую модель прав пользователей должны быть включены следующие роли и соответствующие им права (табл. 5.4) [2].

5.4. Роли и права пользователей в базовой модели

Наименование роли	Права роли	Типовые пользователи роли
Пользователь	Чтение данных. Управление оборудованием	Диспетчер, оперативный персонал подстанции, автоматизированные системы
Технический специалист	Все права пользователя (кроме управления оборудованием). Изменение данных за исключением конфигурационных настроек, связанных с коммуникацией, авторизацией	Персонал, выполняющий монтажные, пуско-наладочные, ремонтные работы
Администратор	Все права технического специалиста, а также права на изменение конфигурационных настроек, связанных с коммуникацией, авторизацией	Администратор сети

Назначение прав пользователям должно производиться с предоставлением минимума прав, необходимого для выполнения работ. Используемое в рамках ЦПС оборудование должно содержать минимальную базовую модель прав пользователей с указанными выше правами. Экземпляром роли называется профиль доступа, обладающий правами данной роли в части конкретного перечня оборудования.

Формирование экземпляров роли следует осуществлять в рамках выполнения конкретной функциональной задачи. Каждый экземпляр роли характеризуется перечнем оборудования, правами доступа к нему. Для каждого экземпляра роли формируется индивидуальный уникальный сертификат.

5.3.20. Модель обеспечения защиты от действия вредоносного программного обеспечения. Для устройств, функционирующих под управлением свободно распространяемых операционных систем (семейство Windows, Unix, Linux и т.д.), требуется обязательное применение антивирусного программного обеспечения. Поддержка актуальности антивирусных баз возлагается на сервер ИБ ЦПС.

Решение по антивирусной защите должно быть унифицированным в рамках ЦПС. Действия антивирусной защиты не должны оказывать влияние на выполнение технологических функций, предусмотренных для устройства.

Решение по защите устройств под управлением прикладных операционных систем определяется на основании анализа существующих угроз (наличие вредоносного ПО) и технических возможностей платформы.

Обновление антивирусных баз должно проводиться регулярно и с максимально возможной оперативностью. Передача антивирусных баз должна осуществляться по зашифрованному каналу связи.

5.3.21. Требования к защите от несанкционированного доступа к информации. Для аутентификации пользователя используется инфраструктура открытых ключей (PKI, согласно X.509, RFC 1422). Применение системы паролей допускается только при локальном доступе (при ПНР и ремонтно-восстановительных работах).

Контроль сроков действия сертификатов осуществляется сервером ИБ ЦПС. Сервером ИБ контролируется не только срок окончания действия сертификата, но и время его начала.

Все операции, связанные с изменением данных авторизации, попытками несанкционированного доступа должны фиксироваться в журнале событий объекта.

В рамках информационного ресурса должна быть предусмотрена защита от кибератак типа «подбор пароля/сертификата путем перебо-

ра». Для этой цели производителем определены: максимальное количество неудачных попыток авторизации, время, в течение которого ведется учет неудачных попыток авторизации, время недоступности устройства при достижении данного количества неудачных попыток за указанное время.

На уровне сервера ИБ ЦПС должно производиться чтение системных журналов событий на предмет аномально большого количества неудачных авторизаций.

Оперативный контроль за кибератаками типа «подбор путем перебора» должен осуществляться с помощью анализа данных, полученных от логических узлов GSAL (generic security application), каждого из IED-ов (см. IEC 61850-7-4). Поддержка данного логического узла является обязательной для всех объектов доступа.

Схема компрометации сертификата должна подразумевать иерархическую систему, т.е. при компрометации сертификата высокого уровня компрометируются пароли, доступ/изменение которых возможно при использовании скомпрометированного сертификата.

Субъект доступа при установлении соединения с объектом доступа подтверждает свою подлинность по следующей схеме (рис. 5.11) [2]:

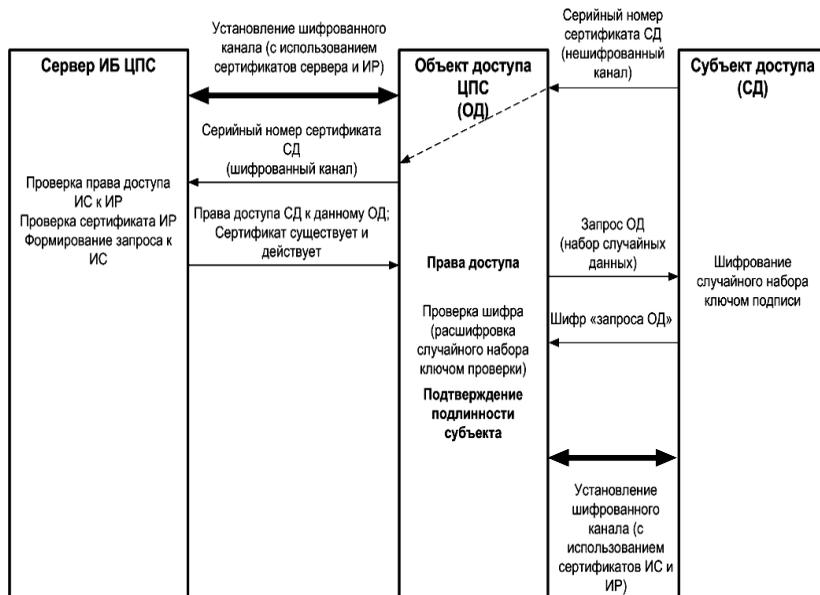


Рис. 5.11. Схема использования сертификатов

Субъект доступа осуществляет аналогичные операции для подтверждения подлинности объекта доступа. В рамках устройства рекомендуется производить кэширование сертификатов с целью снижения количества обращений к серверу ИБ ЦПС. Длительность хранения сертификатов не более 8 часов. Не допускается использование сертификатов с неограниченным сроком действия. В рамках системы ИБ следует предусмотреть механизм отзыва сертификатов, соответствующий требованиям RFC 3280.

Не допускается установление соединения с просроченным или отозванным сертификатом. В случае выхода срока сертификата при установленном соединении разрыв соединения по данной причине не допускается.

5.3.22. Требования к аппаратной и программной защите алгоритмов и настроек IED. В рамках обеспечения ИБ рекомендуется применять синтез аппаратных, программных и организационных средств защиты.

Аппаратная защита должна включать в себя несколько уровней:

- защиту конфигурационных параметров, допускающих изменение в процессе эксплуатации;
- защиту конфигурационных параметров и алгоритмов работы устройства, не допускающих изменение в процессе эксплуатации и определяемых на этапе производства устройства.

Производителем устройств не должны предусматриваться операции по обслуживанию IED, требующие нарушения пломбы производителя. Физическое пломбирование рекомендуется дополнять электронными пломбами, дублирующими и дополняющими аппаратные средства защиты. Состояние электронных пломб должно быть доступно через информационный интерфейс устройства.

Защита конфигурационных параметров, допускающих изменение в процессе эксплуатации, обеспечивается защитой от несанкционированного доступа. Перечень указанных конфигурационных параметров определяется производителем и должен быть приведен в эксплуатационной документации на устройство. Факты и время изменения конфигурационных параметров должны фиксироваться в системном журнале устройства, при наличии технической возможности рекомендуется дополнительно фиксировать содержание изменений.

Защита конфигурационных параметров, не допускающих изменение в процессе эксплуатации, должна обеспечиваться методами аппаратной защиты. К операциям, не допускающим выполнение в процессе эксплуатации, относятся операция калибровки измерительного устройства, изменение уникального идентификатора устройства (серийный номер, MAC адрес и т.д.) и аналогичные им операции, не предусмотренные штатным процессом эксплуатации устройств.

Защиту алгоритмов работы устройства (встроенного программного обеспечения) рекомендуется проводить синтезом аппаратных и программных средств.

Обновления программного обеспечения требуется разделять на два типа:

- информационные – затрагивают только информационную часть (реализацию протоколов передачи данных), исправление ошибок и расширение функций;

- технологические – принципиально изменяющие функциональное назначение устройства либо меняющие его метрологические или основные технические свойства.

Информационные обновления не должны требовать срыва аппаратной пломбы производителя. Решение о применении информационных обновлений должно приниматься на основании критичности устранимых в нем ошибок, актуальности новых функций, внесенных в обновление. При отсутствии потребности в обновлении рекомендуется ПО не обновлять.

Применение технологических обновлений должно выполняться с соблюдением принятых регламентов проверки данного типа оборудования.

Производитель должен иметь специализированный сертификат для обновления ПО. Ключ проверки данного сертификата записывается в каждое устройство производителя. Конфиденциальность ключа подписи обеспечивает производитель.

Обновления программного обеспечения, выпускаемые производителем, должны быть подписаны ключом подписи сертификата обновления. Файл обновления должен содержать тип оборудования, для которого он предназначен, версии ПО которого допускается заменять данным файлом.

Файл обновления, переданный на устройство, должен проходить этап верификации (проверка целостности файла обновления, подлинности назначения файла обновления, допустимости обновления). Файл обновления, не прошедший указанные проверки, не должен применяться устройством.

В составе обновления может содержаться новый ключ проверки сертификата обновлений производителя.

Обновление программного обеспечения осуществляется по шифрованному каналу. Коммуникационный доступ осуществляется с помощью сертификата с уровнем не ниже администратора системы ИБ.

5.3.23. Требования к защите метрологического ядра IED. В рамках данного раздела применяются термины и определения в соответствии с МИ 2891-2004.

Выделяется два типа метрологически аттестуемых устройств:

- устройства, выполняющие аналого-цифровые или цифро-аналоговые преобразования (устройства-преобразователи);
- устройства, выполняющие вычисления на основании цифровых данных и предоставляющие их в цифровом виде (устройства-вычислители).

Для устройств-преобразователей рекомендуется предусмотреть механизмы контроля целостности калибровочных параметров, а функцию проверки целостности включить в самодиагностику, выполняемую устройством на периодической основе.

Устройства-вычислители должны быть реализованы в виде комплекса, состоящего из аппаратной платформы и автономного программного обеспечения.

В автономном программном обеспечении должно быть проведено разделение программного обеспечения (согласно МИ 2891-94) на метрологическую (метрологическое ядро) и информационную части.

Рекомендуется предусматривать механизмы отдельного обновления метрологического ядра и информационной части автономного ПО.

Номер версии автономного ПО должен состоять из двух частей: версия метрологического ядра и версия информационной части. Способ формирования версии метрологического ядра приведен в МИ 2891.

Обновление информационной части производится с соблюдением требований к применению информационных обновлений.

Метрологическое ядро должно проходить сертификационные испытания и иметь действующий сертификат соответствия. В сертификате соответствия должна быть указана версия метрологического ядра.

Метрологическое ядро, прошедшее сертификационные испытания, подписывается ключом подписи сертификационного центра. Копия метрологического ядра хранится в сертификационном центре.

В автономном ПО должны быть предусмотрены механизмы защиты от сбоев (например, недостаток вычислительной мощности или потери коммуникационных пакетов SV). Факт сбоя при вычислении метрологической величины должен быть представлен в журнале качества соответствующего параметра (поле quality IEC 61850-7-3).

Обновление метрологического ядра допускается при предоставлении производителем сертификата на ПО новой версии.

В автономном ПО должны быть предусмотрены механизмы идентификации. Запуск механизма идентификации производится автоматически при запуске устройства и по команде пользователя. Реализация механизма идентификации относится к метрологическому ядру. Результаты идентификации должны быть доступны через локальный интерфейс (например, ЧМИ) и через коммуникационный интерфейс (удаленно).

Операция обновления метрологического ядра должна фиксироваться в журнале событий, доступном через удаленные интерфейсы.

Версия ПО должна включаться в объем данных, защищаемых электронной цифровой подписью (ЭЦП) производителя (сертификат обновлений).

5.3.24. Требования к защите конфигурационных параметров IED. В рамках данного подраздела под конфигурационными параметрами IED понимаются конфигурационные параметры, допускающие изменение в процессе эксплуатации, если не указано иное.

Для групп конфигурационных параметров, требующих одновременности вступления их в действие, рекомендуется использовать механизм «набора конфигурационных параметров» (setting group, согласно ИЕС 61850-7-2).

Изменение конфигурационных параметров в рамках IED должно производиться с использованием файлов SCL. Процесс конфигурирования должен быть основан на использовании SCL control block (см. ИЕС 61850-8.1, приложение D).

5.3.25. Требования к документированию и демонстрации функциональных возможностей IED. Для обеспечения защиты от угроз ЦПС коммерческого характера должно быть обеспечено унифицированное документирование функций устройств. Для данной цели требуется предоставление следующих документов:

- PICS (protocol implementation conformance statement) – описание реализации протокола, содержащее поддерживаемые информационные сервисы;
- MICS (model implementation conformance statement) – описание логических узлов, характеризующих функции устройства;
- PIXIT (protocol implementation extra information for testing) – описание реализации протокола ИЕС 61850, содержащее дополнительные сведения по испытаниям, а также описание принятых решений по известным ошибкам, недочетам, неточностям, выявленным после публикации действующей версии стандарта;
- ICD (IED capability description) – файл устройства в формате SCL (расширение формата XML), представляющий в машинной форме данные, содержащиеся в предыдущих документах.

Для повышения качества ПНР производителю рекомендуется предоставление программного эмулятора работы устройств.

Целесообразно создать открытую техническую библиотеку файлов PICS, MICS, PIXIT, ICD различных производителей, производителям обеспечить доступ к данной библиотеке с возможностью обновления данных, проектным организациям доступ на чтение данных.

5.3.26. Требования к защите от ошибок конфигурирования коммуникационной части IED. При выполнении конфигурирования коммуникационной части IED существуют следующие потенциальные угрозы:

- отказ функционирования коммуникационной среды;
- отказ в функционировании стороннего устройства в связи с повышенным объемом трафика, адресованного данному устройству, в связи с некорректной настройкой источника данных;
- отказ в функционировании устройства в связи с получением излишнего трафика, в связи с некорректной настройкой источника данных;
- недоступность устройства через коммуникационную среду.

Мерами противодействия данному виду угрозы являются:

- корректная политика производителя в части коммуникационных настроек, включая настройки по умолчанию;
- устойчивость IED к избыточному трафику;
- выполнение функции самоконтроля корректности коммуникационных параметров перед их применением.

5.3.27. Защита от генерации избыточного (паразитного) трафика. В рамках данного подраздела избыточным (паразитным) трафиком называются коммуникационные пакеты, не предусмотренные проектными решениями, сообщения и данные, не используемые либо используемые некорректно.

Базовым механизмом защиты от избыточного трафика является блокирование коммуникационных пакетов с настройками по умолчанию, запрет любого типа трафика, за исключением предусмотренного проектными решениями.

К коммуникационному оборудованию предъявляются симметричные требования – фильтрация пакетов, обладающих признаками трафика, генерируемого устройством со значениями по умолчанию.

На получателей данных возлагаются задачи проверки значений конфигурационных параметров источника, перед включением соответствующих блоков управления (GSEControl и SampledValueControl, IEC 61850-7-2).

Ко всем устройствам, функционирующим в рамках ЦПС, предъявляются требования селективности и устойчивости. Селективность устройства к получаемым данным подразумевает у него наличие конфигурационных параметров, уникальным образом характеризующих корректность источника данных (MAC адресата, уникальный идентификатор – например MsvID для SV, AppID для GOOSE). Данные, не соответствующие данным характеристикам, должны игнорироваться. Устойчивость IED к избыточному трафику подразумевает корректность функционирования устройства при получении коммуникационных пакетов, отличающихся по количеству и содержанию от пакетов, предусмотрен-

ных производителем для штатной работы (например, получение измерительного потока SV устройством РЗА, рассчитанным на получение SV со значительно меньшим количеством пакетов в секунду).

5.3.28. Защита от ошибок при конфигурировании коммуникационных параметров. В части защиты от ошибок при конфигурировании выступают следующие механизмы:

- функция самоконтроля конфигурационных параметров – устройство производит проверку на корректность введенного параметра;
- встроенные сервисные функции по проверке коммуникационных настроек – предоставление пользователю возможности установить тестовое соединение и получить подтверждение корректности настроек (например, в части соединения с NTP сервером);
- механизм отката конфигурации – функциональность, позволяющая избежать случаев коммуникационной недоступности устройства, возникающих в силу ошибок коммуникационных параметров.

Производителям устройств рекомендуется реализовать функцию расширенного самоописания: устройство выступает источником информации о своих технических характеристиках, содержит минимально необходимую часть руководства по эксплуатации. В качестве технической реализации функции рекомендуется использовать встроенный в IED WEB-сервер.

5.3.29. Требования к защите от ошибок при конфигурации технологических параметров. В рамках ЦПС должен применяться единый инструмент конфигурирования на базе языка SCL (IEC 61850-6).

Перед началом монтажных работ рекомендуется проводить испытания с использованием созданного файла подстанции и программных эмуляторов устройств. В составе испытаний имитировать штатный режим работы и аварийные ситуации.

Файл подстанции должен быть заварен ЭЦП специализированного технического центра. Не допускается выполнение пуско-наладочных работ без наличия файла конфигурации подстанции, заверенного ЭЦП.

В ТЗ генерального проектировщика рекомендуется включать требования по предоставлению ICD-файлов устройств, заложенных в спецификацию оборудования. При наличии технической компетенции генерального проектировщика также рекомендуется включать требования к разработке файла конфигурации подстанции в рамках проектной документации на ЦПС.

В архитектуру устройств рекомендуется включить поддержку механизмов отправки и обработки тестовых сообщений (см. IEC 61850-7-2, раздел 6 Common data attribute types). Механизм тестовых сообщений должен быть поддержан для данных, используемых в рамках выполне-

ния базовой функциональности устройства (Functional Constraints (FC) – ST, SV, MX, CO, согласно IEC 61850-7-4).

5.3.30. Требования к обеспечению информационной безопасности при подключении к удаленному клиенту. При удаленном доступе к ресурсам ЦПС следует использовать механизмы аутентификации, описанные в данном разделе ранее. Удаленный клиент вместо сервера ИБ ЦПС должен использовать подключение к головному серверу ИБ.

В зависимости от требований к временным задержкам при передаче оперативных данных должны применяться: ЭЦП для данных, передаваемых с минимальными задержками, и шифрование для данных, допускающих задержки на шифрование и расшифровку.

Рекомендуется на уровне межподстанционного шлюза ограничить перечень клиентов, которым разрешен удаленный доступ к ресурсам ЦПС (на уровне IP-адресов или MAC-адресов).

Если при передаче данных используется протокол ГОСТ Р МЭК 60870-5-104, для обеспечения информационной безопасности рекомендуется использовать решения IEC 62351-5.

5.3.31. Требования к обеспечению информационной безопасности при выполнении работ на ЦПС сторонними организациями. Информационный доступ к ресурсам ЦПС представителями сторонних организаций осуществляется с использованием описанных ранее механизмов аутентификации (системы сертификатов). Выдачу временного сертификата для выполнения работ на ЦПС рекомендуется осуществлять на специализированном физическом носителе, не допускающем тиражирование сертификата. Срок действия сертификата должен быть согласован со сроком начала и сроком окончания работ. По окончании работ физический носитель должен быть возвращен подразделению службы ИБ, допустившему стороннюю организацию к работам. Подразделения служб ИБ обязаны вести журнал выдачи/сдачи физических носителей цифровых сертификатов.

5.3.32. Комплексная безопасность. В рамках ЦПС должен быть обеспечен высокий уровень комплексной (инфраструктурной безопасности). Переход к необслуживаемым (без постоянного присутствия персонала) подстанциям повышает требования к реализации следующих подсистем системы комплексной безопасности:

- охранно-пожарная сигнализация;
- охранное видеонаблюдение;
- система контроля доступа на объект;
- технологическое видеонаблюдение;
- вспомогательные подсистемы (метеорологическое наблюдение, система освещения подстанции и т.д.).

В рамках ЦПС к данным системам предъявляются дополнительные требования в следующей части:

- подсистемы должны иметь интерфейс для интеграции в общее информационное пространство ЦПС;
- проектирование ЦПС должно вестись комплексно, т.е. с учетом не только технологических функций ЦПС, но и требований системы комплексной безопасности.

С целью интеграции подсистем в информационное пространство ЦПС должны применяться специализированные контроллеры, отражающие диагностические данные (работоспособность, режим работы) как самой подсистемы, так и ее модулей.

Для части подсистем должен быть предусмотрен обмен оперативной информацией, т.е. контроллеры генерируют информационные сигналы, которые учитываются в технологическом процессе.

Подсистемы должны использовать общую коммуникационную сеть для передачи собственных данных.

5.3.33. Охранно-пожарная сигнализация. Передачу данных охранно-пожарной сигнализации рекомендуется производить по основному технологическому каналу и резервировать беспроводным каналом передачи данных.

В части пожарной сигнализации рекомендуется предусмотреть информационный обмен с системами РЗА и ПА, связанный с выборочным отключением силового оборудования при возникновении пожара. Рекомендуемый механизм информационного взаимодействия GOOSE-сообщения – согласно IEC 61850-8.1.

5.3.34. Система контроля доступа. Для ПС без постоянного обслуживающего персонала основное внимание должно быть уделено средствам, препятствующим проникновению на охраняемый объект и к центрам его управления. Системы контроля доступа должны выполняться для нескольких зон (внешний периметр, вход в здание, вход в помещение). Системы должны иметь автономное питание, постоянную связь с централизованными охранными организациями и МЧС.

Рекомендуется обеспечить информационное взаимодействие системы контроля доступа с системой охранного видеонаблюдения в части одновременной видеорегистрации факта доступа на ТП.

5.3.35. Охранное видеонаблюдение. Режим функционирования системы охранного видеонаблюдения – без постоянного наблюдения. Цели создания охранного видеонаблюдения: регистрация нарушений, верификация сигналов охранно-пожарной сигнализации.

Рекомендуется использование IP-видеокамер. Передача данных должна производиться по волоконно-оптическим кабелям в рамках общей коммуникационной сети ЦПС.

При проектировании схем прокладки волоконно-оптических кабелей рекомендуется закладывать дополнительные оптические волокна для целей охранного и технологического видеонаблюдения.

Функционирование камер охранного видеонаблюдения не должно зависеть от работоспособности системы освещения. В связи с этим рекомендуется использовать видеокамеры с автоматическим переключением на «ночной» режим (использование светочувствительных камер или камер со встроенными ИК-прожекторами). При проектировании системы охранного видеонаблюдения следует принять меры по защите от засветки видеокамер системой освещения, фарами автомобилей (размещение, АРД и т.д.).

Зона видеонаблюдения охранных видеокамер должна охватывать весь периметр энергообъекта. При проектировании необходимо учесть расположение зданий и лесопосадок для исключения появления мертвых зон. Особое внимание обратить на места санкционированного проникновения на территорию подстанции (калитки, ворота).

При проектировании необходимо предусмотреть математическое обеспечение в части расчетов МРД (минимальное различие детали) по Р 78.36.008-99. Для видеокамер, контролирующих периметр, следует обеспечить МРД по горизонтали не менее 15 (функциональная задача «различение»), для видеокамер, контролирующих места санкционированного проникновения на территорию подстанции, МРД не менее 2 (функциональная задача «идентификация»).

Для видеосервера ЦПС рекомендуется предусмотреть выполнение автоматизированной функции формирования видеоархивов юридически ценной информации. В рамках выполнения данной функции для массивов видеoinформации, имеющих юридическую или административную ценность, следует обеспечить достоверность и целостность данных, используя механизм формирования контрольной суммы и подпись ЭЦП.

Для охранного видеонаблюдения рекомендуется использование одностороннего аудиоканала (от камеры к серверу).

5.3.36. Технологическое видеонаблюдение. Режим функционирования системы технологического видеонаблюдения – без постоянного наблюдения.

Цели создания технологического видеонаблюдения: визуальное подтверждение состояния коммутационных аппаратов, удаленный видеоконтроль работы выездных бригад, визуальная диагностика силового оборудования и контактных соединений (при тепловизионном контроле).

Требования к видеокамерам общего технологического видеонаблюдения аналогично требованиям к видеокамерам охранного видеонаблюдения.

Для сокращения количества оборудования рекомендуется использовать управляемые поворотные системы для видеокamer.

Технологическое видеонаблюдение должно обеспечивать удаленный контроль положения разъединителей.

Рекомендуется предусмотреть тепловизионное видеонаблюдение основных силовых аппаратов и наиболее важных контактных соединений (например, в части высшего напряжения).

В рамках технологического видеонаблюдения рекомендуется использовать использование двухстороннего аудиоканала.

В рамках тепловизионного наблюдения рекомендуется предусмотреть автоматизированную функцию сигнализации, основанную на алгоритмах распознавания видеосигнала.

5.3.37. Система освещения. Для подстанций без постоянного присутствия персонала следует предусмотреть минимальный объем постоянного освещения в ночное время суток. Объем определяется исходя из требований ГО. Прочее освещение рекомендуется выполнять удаленно управляемым с возможностью локального управления и локальной блокировки удаленного управления.

В рамках системы уличного освещения рекомендуется использование светодиодных осветительных приборов.

5.3.38. Вспомогательные системы. Результаты работы вспомогательных систем должны быть интегрированы в общее информационное пространство ЦПС посредством протокола IEC 61850.

В рамках ЦПС рекомендуется создание не менее двух точек контроля состояния окружающей среды (температура, влажность и т.д.): в ОРУ и ОПУ. Данные измерения данной системы должны быть доступны в рамках IED с поддержкой логических узлов MMET, MENV, MNYD (согласно IEC 61805-7-4). Полнота поддержки данных логических узлов определяется требованиями системы к объему данного вида неоперативной технологической информации.

В состав ЦПС должна быть включена подсистема контроля работоспособности системы отопления и вентиляции. Данная функция должна быть реализована в виде логического узла CCGR (согласно IEC 61805-7-4). При размещении оборудования в телекоммуникационных стойках (в ОПУ) рекомендуется обеспечить контроль работоспособности локальной системы охлаждения. Для интеллектуальных устройств, размещаемых в ОРУ, рекомендуется обеспечить контроль условий эксплуатации (в части температуры и работоспособности вспомогательных подсистем охлаждения и обогрева).

Итак, можно отметить, что сферой действия данной методологии являются электрические подстанции ЕНЭС, как правило, с напряжением 220 кВ и выше, при создании или комплексной реконструкции и

техническом перевооружении которых предполагается внедрение ЦПС. Однако данная концепция актуальна и для подстанций других классов напряжения с микропроцессорными устройствами, напрямую работающими на базе протоколов ИЕС 61850-8.1 и 61850-9.2, и прежде всего в тех случаях, когда речь идет о внедрении на этих подстанциях полноценных программно-аппаратных комплексов.

Выводы

1. Инфраструктура передачи информации – кибернетический архитектурный элемент ЦСП – с физической структурой из различных компонентов (структурированные кабельные системы, активное оборудование и др.) и логической структурой, включающей терминальные (передатчики и приемники данных) и сетевые элементы (станционную и технологическую шины и др.).

2. Общее (системное) программное обеспечение на основе средств организации внутрисистемных, внесистемных коммуникаций и операционных систем реального времени обеспечивает функционирование АСУ ТП в целом, а технологическое (специальное) ПО с совокупностью отдельных программных компонентов (модулей или их комплексов), резидентных в устройствах разных уровней ПТК, решает задачи обработки информации и контроля, анализа, диагностики и управления.

3. Информационное обеспечение ЦПС на основе общей информационной модели СИМ при взаимодействии с центрами управления позволяет создать единую информационную модель физического объекта (подстанции) в общей интегрированной среде большой системы – АСТУ ОАО «ФСК ЕЭС».

4. Метрологическое обеспечение ЦПС на основе структуры с измерительными, вычислительными и связующими компонентами, а также набора базисных принципов (вертикальная дифференциация и горизонтальная интеграция) позволяет организовать методы и способы, которыми достигаются единство и высокая точность измерений в измерительной системе.

5. Надежность ЦПС обеспечивается разработкой единой программы и определяется соответственно: надежностью компонентов; применением самодиагностики и функциональной диагностики оборудования; резервированием компонентов; регламентами проведения работ по техническому обслуживанию и ремонтам оборудования программно-аппаратного комплекса, эффективность адаптивной диагностики микропроцессорных средств ЦПС которых определяет информационная технология творчества, рассмотренная в шестой главе.

6. ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТВОРЧЕСТВА

Проанализированы стандарты проектирования и оценок жестких структур преобразователей и приборов ЦПС ЭЭС (тестеров) для их оптимизации в информационную технологию творчества в виде интеграла технологий проектирования и идентификации универсального математического обеспечения и адаптивных метрологических средств компьютерных анализаторов. Высокоэффективные метрологические средства с а priori оптимальными характеристиками и параметрами, нормируемыми мерами границ диапазона и адаптивными эквивалентами автоматического контроля, простыми алгоритмами и моделями в явной форме, согласованные с компонентами компьютерных анализаторов – длительный процесс совершенствования жесткой структуры и аппаратных алгоритмов узкоспециализированных тестеров с регламентированными принципами функционирования и стандартной оценкой результатов *post factum*. В информационной технологии творчества, в отличие от итерационного анализа псевдоноваций, которые подгоняют под ответ методами проб и ошибок по произвольным характеристикам и эфемерным мерам из-за отсутствия эквивалентов и закономерностей, служат эквиваленты по известным закономерностям для создания инновации по целенаправленным правилам оптимизации прототипа.

6.1. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОЦЕНОК

С позиций мировоззрения творчества рассмотрено развитие синтеза от итерационного анализа тестеров с жесткой структурой, регламентированной правилами ГОСТ, до микропроцессорных измерительных средств с гибкой архитектурой инновации, организованной из прототипа по закономерностям тождественности эквивалентам, для их систематизации в информационные технологии проектирования и идентификации компьютерных анализаторов.

Эффективность, как отношение исследуемой величины к желаемому эквиваленту, наглядно отражает сходство и отличие результатов синтеза инноваций методами итерационного анализа, получаемых после субъективного сравнения множества случайных переменных (*post factum*), и тождественности эквивалентам по объективным закономерностям – оптимальным условиям соответствия случайных признаков нормированным мерам (*a priori*) [21 – 28]. Оценка эффективности результатов после эксперимента (*post factum*) регламентирована стандартами (ГОСТ, ИСО) для средств с жесткой структурой, реализующей

фиксированный алгоритм узкоспециализированного тестера в ограниченных нелинейностью преобразования диапазонах. Интеллектуальные микропроцессорные приборы и компьютерные анализаторы предполагают высокоэффективные метрологические средства а priori с адаптивным диапазоном и регламентируемой точностью, заданным программным управлением образцовых мер границ поддиапазонов, что обусловлено ассоциативной структурой матричной архитектуры с универсальным математическим обеспечением.

Априорная эффективность диктует теоретические знания науки и практические навыки техники, закономерности технологии творчества и меры воспитания культуры, как неделимой совокупности мировоззрения изобретателя инноваций. Воспитание инженера ЦПС ЭЭС – сложный и длительный процесс интеграции обучения науке и образования техники при дифференциации созидания искусства и воспитания культуры. Поступательный процесс эволюции: от простого к сложному – творческий синтез, заменяют итерационным анализом с развитым математическим аппаратом вычисления. Итерационный анализ преобразует исследуемую функцию к иррациональному решению последовательным приближением за счет статистического перебора случайных переменных разнородных признаков по произвольным правилам и ненормированным мерам в неопределенном адресном пространстве с нерегламентируемой оценкой. Итерационный анализ платит за незнание закономерностей мировоззрения творчества нерегламентированными оценками нерациональных решений постфактум [21, 22, 24, 27].

Классическими примерами служат стандартная метрология тестеров и стихийная экономика общества, беспринципная политика государства и беспредельное право бюрократии, непроизводительная технология хозяйства и несбалансированные сферы мировоззрения, расщепленная экология природы и дискомфортная эргономика человека.

Актуальной задачей является изучение закономерностей повышения эффективности на примере сопоставительного анализа оценок результатов до (a priori) и после (post factum) эксперимента.

С этой целью решаются следующие задачи:

1. Рассмотреть эволюцию мировоззрения творчества.
2. Проанализировать историю формирования структур аппаратных средств.
3. Проследить интеграцию архитектуры программного обеспечения.
4. Выяснить становление алгоритмов в математическое обеспечение.
5. Выявить дифференциацию оценок в метрологические средства.
6. Систематизировать интеграцию технологий проектирования МИС.

6.1.1. Мироззрение творчества. Исторические предпосылки развития оценок результатов исследований определены эволюцией становления субъективного созерцания в объективное мироззрение творчества за счет непрерывной интеграции науки и техники при дифференциации искусства и культуры. Эволюцию сфер мироззрения развивают процессы познания по вектору: обучение – образование – созидание – воспитание. Информационная концепция [23, с. 125 – 129] основана на диалектическом развитии процесса познания на базе интеграции обучения теоретическим знаниям науки в образование практических навыков техники, через созидание творческой технологии искусства к воспитанию нормированных оценок культуры. Интеграция процесса познания неразрывно связана с дифференциацией компонент и признаков сфер мироззрения.

Например, компоненты науки делят [24, с. 17 – 21] на естественные, технические и гуманитарные, а признаками математического обеспечения служат в адресном пространстве функций $F(\Phi)$ модели и методы, способы и алгоритмы. Компоненты технических средств объединяют схемо- и мнемотехнику аппаратных средств и программного обеспечения с признаками в пространственных координатах $F(R)$ структур и связей устройств, а во временных $F(T)$ координатах операторы и адреса программ способов. В континууме адресов $F(R, T, \Phi)$ искусства различают [24, с. 28 – 30] технические решения на уровне устройств $F(R)$ и способов $F(T)$, веществ $F(\Phi)$ и штаммов $F(\varepsilon)$, которые дифференцируют на критерии Φ и признаки R , цели ε и задачи T [24, с. 57 – 60]. Вектор развития сферы культуры направлен [24, с. 75 – 79] от метрологии и технологии через экономику к экологии и эргономике по интегральной оценке $\varepsilon(\Phi, R, T)$ сфер мироззрения с дифференциацией признаков в системе координат Φ, R, T на функциональные $\varepsilon(\Phi)$ математического обеспечения, пространственные $\varepsilon(R)$ технических средств и временные $\varepsilon(T)$ технологии творчества меры оценки, а также правила и критерии оценки тождественности исследуемых результатов эксперимента эквивалентам – известным образцам с желаемыми характеристиками и закономерными условиями, адекватными физике эксперимента.

Оценка метрологической эффективности (точности, оперативности и надежности) – первостепенная задача проекта и макета, лабораторного и серийного изделия, которые определяют соответствие метрологических характеристик разработчика техническим требованиям заказчика и стандартам унификации производства. История микроэлектроники, согласно информационной концепции [24, с. 125 – 129],

интегрирует аппаратные средства и программное обеспечение в базы ПП-ИС-СИС-БИС через математическое обеспечение персональных компьютеров к информационному обеспечению микропроцессорных систем.

6.1.2. Аппаратные средства. Аппаратные средства микроэлектроники знаменуются изобретением полупроводниковых приборов (ПП) (1949 – 1982 гг.) для реализации принципиальных схем [22, с. 12 – 15] на варисторах, диодах и транзисторах за счет интегральной технологии сопротивлений и проводников, конденсаторов и индуктивностей. Функциональные схемы реализуют интегральные схемы (ИС) (1963 – 1986 гг.) при их дифференциации на аналоговые, импульсные и временные преобразователи благодаря планарной технологии ПП. Интеграцию до уровня структурных схем организуют средние интегральные схемы (СИС) (1970 – 1989 гг.) посредством дифференциации их по координатам управления на пространственные $F(R)$, временные $F(T)$ и функциональные $F(\Phi)$ преобразователи.

Следовательно, аппаратные средства формируются 40 лет от ПП и ИС к СИС благодаря совершенствованию интегральной и планарной технологий в функциональную, с увеличением крутизны роста по экспоненте и сокращением сроков развития базисных структур микроэлектроники с 32 до 19 лет.

Комбинаторные интегральные схемы аппаратных средств копируют по аналогии принципы действия неуправляемых алгоритмов обмена, преобразования и управления информационных процессов [23, с. 120 – 125] фиксированными аппаратными соединениями жесткой структуры с узкоспециализированной функцией тестера. К достоинствам приборов с жесткой структурой относятся высокая надежность и оперативность, простота конструкции и низкая стоимость. Недостатками тестеров являются узкая специализация и метрологические оценки после (post factum) эксперимента, широкая номенклатура и низкая технологичность производства.

6.1.3. Программное обеспечение. По законам развития технических систем [24, с. 108 – 119] гибкость аппаратных средств динамизирует топологию схем от комбинаторной (бессистемной) и релейной (с систематизированной комбинаторикой) к матричной логике (упорядоченной по адресам) [25, с. 16 – 20] за счет интеграции компонент структур и дифференциации аппаратных связей в систематизированное адресное пространство синтеза алгоритмов принципа действия. Матричная логика интегрирует аппаратные средства с программным обеспечением в гибкую архитектуру больших интегральных схем

(БИС) при совершенствовании программного обеспечения (1975 – 1991 гг.) за счет матричной технологии схемо- и мнемотехники. Гибкость алгоритмов повышается по законам динамики мнемотехники от кодов и структурных формул ИС через специализированные языки программирования БИС к формализованным программам персональных компьютеров (ПК).

Следовательно, пятнадцатилетняя революция программного обеспечения инициирована полувекковой эволюцией топологии схем аппаратных средств для их интеграции в гибкую архитектуру технических средств, логически завершая этап электрификации НТР для начала отсчета эры информатизации.

Матричные схемы БИС дифференцируют по функциям программно управляемого преобразования (программирования) архитектуры на микропроцессоры для реализации алгоритмов за счет подстановок и сравнения кодов, интерфейсы ввода-вывода для сопряжения микропроцессора с субъектами и объектами, а также интерфейсы памяти для систематизации в адресном пространстве данных и программ различного иерархического уровня. БИС отличаются от жесткой структуры аппаратных средств гибкая архитектура и функциональная специализация технических средств, обусловленные программным обеспечением в систематизированном адресном континууме, но высокая интеграция требует единой платформы со стандартными операторами программирования разработчиков БИС и создания универсальных блоков эквивалентов программ с открытой архитектурой при использовании БИС разработчиками ПК для синтеза универсального математического обеспечения в адресном пространстве матричной топологии.

6.1.4. Математическое обеспечение. Математическое обеспечение персональных компьютеров интенсивно внедряется в сверхбольшие интегральные схемы (СБИС или ПК) до 1992 г. после изобретения микропроцессора в 1980 г., с дифференциацией вычислителей на микрокалькуляторы, микро- и мини-ЭВМ [22, с. 12–13]. Революция математического обеспечения подготовлена тысячелетиями эволюции науки и техники от геометрии и логики до электрификации и информатизации [25, с. 7 – 15]. Выросшая в недрах микроэлектроники информатизация, как неделимая совокупность компьютеров и информации, привела к компьютерным технологиям, основанным на закономерностях математического обеспечения науки. Универсальное математическое обеспечение выкристаллизовалось из жестких алгоритмов специализированных тестеров до ассоциативных математических моделей матричной логики для согласования с гибкой архитектурой персональных компьютеров.

Следовательно, десятилетняя революция математического обеспечения – результат многовековой эволюции механизации, автоматизации и электрификации на этапе информатизации компьютерных технологий.

Компьютерные технологии организуют на единой платформе со стандартными операторами программирования БИС универсальные блоки эквивалентов программ ПК для реализации гибкой ассоциативной архитектуры с помощью универсального математического обеспечения. К недостаткам ПК следует отнести низкую оперативность, невысокую надежность и ненормированную точность автоматизации из диалогового режима с оператором.

6.1.5. Метрологические средства. Повышает метрологические характеристики автоматизации интеграция вычислительной и измерительной техники в базе микропроцессорных измерительных средств (МИС) (1982 – 1993 гг.) при их дифференциации по оценкам качества, количества и количественно-качественного анализа на микроконтроллеры, микропроцессорные измерительные приборы и компьютерные анализаторы. Это обусловлено развитием математического обеспечения в метрологические средства, которые дифференцировались по информационным закономерностям измерительно-вычислительных технологий.

Математическое обеспечение МИС оперирует с функциональными алгоритмами в явной форме вычисления информативных параметров математических моделей с оптимальными режимами для автоматизации регулирования, включающего следящую последовательность: преобразование и измерение, контроль и управление. Метрологические средства рождены из постфактумной оценки стандартной метрологии узкоспециализированных тестеров с градуировочными характеристиками множества случайных переменных среднестатистических измерений и развились до априорной эффективности интеллектуальной технологии аналитического контроля. Технологии контроля учитывают информационные закономерности [23, с. 129 – 141] линейного преобразования без дрейфа по нормируемым мерам с гальванической развязкой за счет выполнения условий оптимизации: избыточности усиления, равновесия моста и виртуальной земли. Высокоэффективные метрологические средства согласованы с универсальным математическим обеспечением гибкой архитектуры, реализуют МИС с адаптивным диапазоном и регламентированной точностью, заданных программным управлением образцовых мер границ аналитического контроля.

6.1.6. Анализ и синтез. Развитие оценок от пострасчетной стандартной метрологии тестеров с жесткой структурой до априорной эффективности метрологических средств МИС, согласованных с универсальным математическим обеспечением гибкой архитектуры – длительный закономерный процесс интеграции микроэлектроники с измерительной техникой, обусловленный компьютерными технологиями информатизации. Информатизация – закономерный результат электрификации при интеграции базисов микроэлектроники в информационное обеспечение с согласованными признаками в координатах адресации метрологических и аппаратных средств, математического и программного обеспечения.

Информатизация базисов микроэлектроники организована развитием от ПП к СИС аппаратных средств в БИС с программным обеспечением гибкой архитектуры для создания универсального математического обеспечения ПК и высокоэффективных метрологических средств с априори оптимальными характеристиками МИС, дифференцированными по оценкам качества, количества и анализа на микроконтроллеры, микропроцессорные измерительные приборы и компьютерные анализаторы. Априорная эффективность метрологических средств диктует теоретические знания науки и практические навыки техники, закономерности технологии творчества и меры воспитания культуры, как неделимой совокупности мировоззрения изобретателя инноваций.

Анализ (от греч. analysis – разложение) – расчленение (мысленное или реальное) объекта на элементы. Анализ неразрывно связан с синтезом (от греч. synthesis – соединение) – соединением элементов в единое целое (систему) [30, с. 53, 1212]. Бесцельное деление целого на части приводит к хаосу и разрухе, свалке и нагромождению. Поэтому анализ – целенаправленная последовательность действий для решения поставленной задачи, что в технике соответствует определению способов, которые развиваются от операторов и алгоритмов к методам и технологиям.

Из определения следует, что решение – конечный результат анализа, как предварительной последовательности действий. В простейшем случае анализ сводится к делению целого на части a priori и получению решения после (post factum). В отличие от тривиального операторного анализа, результатом информационных технологий служит синтез нового решения. Например, при анализе структурных схем или формул методом единиц и нулей в результате информационной технологии синтезируют таблицу истинности или состояния, алгоритм программы или временные диаграммы [25, с. 14–15]. Приведенный пример лишь подтверждает развитие анализа к синтезу от простых операторов к сложным алгоритмам, от стандартных методов к информаци-

онным технологиям. Следовательно, тривиальный операторный анализ вначале (a priori) делит целое на части для получения в конце деления (post factum) банка данных из несистематизированных элементов (компонент или признаков) для их систематизации или синтеза.

Операторный и алгоритмический анализ по регламентированным правилам дифференцирует функцию на формы представления за счет мощного математического аппарата электротехники (алгебраические и тригонометрические исчисления, комплексные переменные и операторные методы). Электротехников и энергетиков удовлетворяют результаты анализа post factum в процессе эксплуатации стандартного электрооборудования. Однако при проектировании новых решений анализ по жестким правилам приводит к синтезу по итерационным методам. Методический анализ сводит синтез к эвристическим поискам или последовательным переборам с результатом в виде неизвестного решения (фантома, псевдоновации) с эфемерными критериями и мерами, субъективными правилами и оценками.

В отличие от алгоритмического анализа, с желаемыми при эксплуатации результатами post factum синтез итерационным анализом не имеет смысла, так как приводит к псевдоновации, исключающей объективные решения. Если анализ предполагает мониторинг результатов эксплуатации post factum, характеристики и параметры которых стабильны или стареют, то синтез – инверсия анализа, его результат a priori лучше прототипа с желаемыми признаками и компонентами – эквивалентами, реализующими закономерности творчества. Синтез – это создание инновации по оптимальному плану, интегралу известных закономерностей с оценками по дифференциалу эквивалентов. Синтез – это целенаправленная последовательность создания инновации из прототипа по закономерностям тождественности эквивалентам. В отличие от анализа по факту, синтез a priori включает закономерности-эквиваленты: эталонные характеристики с информативными параметрами, алгоритмы их оптимизации по нормированным мерам образцов, – для их систематизации в информационные технологии.

Тестеры с жесткой структурой, копирующие по аналогии фиксированную среднестатистическую градуировочную характеристику из-за ограниченности комбинаторных схем, анализируют измерения после эксперимента в диалоговом режиме с оператором по стандартным правилам метрологической аттестации в соответствии с ГОСТ.

МИС с гибкой архитектурой, систематизирующие в адресном континууме известные a priori закономерности благодаря избыточности топологии ПЛИС, синтезируют инновации из прототипа по закономерностям тождественности эквивалентам, в соответствии с инфор-

мационными технологиями проектирования и идентификации компьютерных анализаторов.

Как способы сравнения и оценок, анализ развивается от простых операторов через сложные алгоритмы к синтезу, а синтез по методу итерационного анализа преобразуется в синтез по закономерностям для их систематизации в информационные технологии проектирования и идентификации.

Следовательно, вектор развития анализа направлен от операторов, алгоритмов и итерационного синтеза с результатами после эксперимента (*post factum*) к синтезу по закономерностям и информационным технологиям с результатами, которые оптимизируют до эксперимента (*a priori*).

1. Эволюция мировоззрения творчества инженера-разработчика ЦПС ЭЭС основана на диалектическом развитии процесса познания при интеграции обучения теоретическим знаниям науки в образование практических навыков техники, через созидание творческой технологии искусства к воспитанию нормированных оценок культуры.

2. Аппаратные средства формируются 40 лет от ПП и ИС к СИС благодаря совершенствованию интегральной и планарной технологий в функциональную, с увеличением крутизны роста по экспоненте и сокращением сроков развития базисных структур микроэлектроники с 32 до 19 лет. Интегральные схемы аппаратных средств копируют по аналогии принципы действия неуправляемых алгоритмов обмена, преобразования и управления информационных процессов фиксированными аппаратными соединениями жесткой структуры узкоспециализированного тестера с метрологической оценкой после (*post factum*) эксперимента.

3. Пятнадцатилетняя революция программного обеспечения иницирована полувекковой эволюцией топологии схем аппаратных средств для их интеграции в гибкую архитектуру технических средств, логически завершая этап электрификации НТР для начала отсчета эры информатизации. БИС отличаются от жесткой структуры аппаратных средств гибкая архитектура и функциональная специализация технических средств, обусловленные программным обеспечением в систематизированном адресном континууме.

4. Десятилетняя революция математического обеспечения – результат многовековой эволюции механизации, автоматизации и электрификации на этапе информатизации компьютерных технологий. Компьютерные технологии организуют на единой платформе со стандартными операторами программирования БИС универсальные блоки эквивалентов программ ПК для реализации гибкой ассоциативной архитектуры с помощью универсального математического обеспечения.

5. Метрологические средства рождены из постфактумной оценки стандартной метрологии узкоспециализированных тестеров с градуировочными характеристиками множества случайных переменных среднестатистических измерений и развились до априорной эффективности интеллектуальной технологии аналитического контроля. Технологии контроля учитывают информационные закономерности линейного преобразования без дрейфа по нормируемым мерам с гальванической развязкой за счет выполнения условий оптимизации: избыточности усиления, равновесия моста и виртуальной земли.

6. Вектор развития технологий направлен от интегральной ПП и планарной ИС к функциональной СИС аппаратных средств, а через матричную технологию БИС и компьютерную СБИС математического обеспечения к интеллектуальной технологии контроля МИС с высокоэффективными метрологическими средствами эквивалентов, учитывающими объективные закономерности информатизации. Вектор развития анализа направлен от операторов, алгоритмов и итерационного синтеза с результатами после эксперимента (*post factum*) к синтезу по закономерностям и информационным технологиям с результатами, которые оптимизируют до эксперимента (*a priori*).

6.2. ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Предложена оптимальная мера оценки эффективности инноваций (способов измерения и устройств ЦПС) на примере мультипликативного и аддитивного симметричных критериев, представленных отношением среднего геометрического исследуемых оценок к среднему арифметическому эквивалентов, для повышения достоверности и объективности информационной технологии творчества.

Теория измерений для метрологической оценки приборов предлагает абсолютные и относительные погрешности случайных наблюдений относительно действительных значений [18, 21], представленных средними арифметическими (СА) и геометрическими (СГ), гармоническими и квадратическими числами [20, с. 139, 212]. Основным преимуществом известных оценок является относительно простая техника вычисления значений, но их достоверность и объективность условны из-за отсутствия оптимального эквивалента. Для автоматического поиска оптимальной меры необходима гибкая самоорганизующаяся оптимальная оценка из множества случайных значений. Соответственно, эффективность случайных оценок относительно оптимального эквивалента становится достоверной и объективной в адаптивном диапазоне с заданной точностью нормированных мер [25, 31]. Оптимальные

меры оценки эффективности рассмотрим на примере мультипликативного (МСК) и аддитивного (АСК) симметричных критериев, предложенных при оптимизации произведения и суммы случайных величин последовательности измерений ЦПС при мониторинге ЭЭС.

Цель: повысить достоверность и объективность меры оценки эффективности инноваций методом тождественности исследуемых характеристик симметричным эквивалентам.

Задачи:

1. Провести сопоставительный анализ известных мер оценок эффективности;
2. Найти оптимальный эквивалент произведения случайных величин;
3. Выявить оптимальный эквивалент суммы случайных значений;
4. Спроектировать мультипликативный и аддитивный симметричные критерии эффективности.

6.2.1. Эквивалент произведения. СА и СГ являются частными решениями дизъюнктивных и конъюнктивных кодов, а также нормальных форм и инверсных базисов. Средние оценки регламентированы комбинаторной структурой с фиксированными связями, требующими постфактум анализа точности тестеров из-за фиксированной градуировки с неопределенными мерами из случайной выборки с нелинейностью и дрейфом. Достоверность и объективность комбинаторных тестеров условны из-за отсутствия гибкого оптимального эквивалента, организующего адаптивный диапазон с заданной *a priori* точностью для создания высокоэффективных метрологических средств компьютерных анализаторов с гибкой матричной архитектурой и универсальным математическим обеспечением.

Априорные измерения в адаптивном диапазоне с заданной точностью образцовых мер диктуют автоматические оценки относительно гибкого оптимального эквивалента.

Рассмотрены три метода оптимизации оценок: индукции, производной и динамического программирования для проектирования оптимального эквивалента адаптивного диапазона.

Метод индукции на численных примерах итерационного анализа от простого (частного) к сложному (общему) выявляет алгоритмы оптимальных оценок реализации максимума произведения за счет разбиения диапазона на равные поддиапазоны со средней суммой, произведение которых служит оптимальным решением синтеза идеального эквивалента адаптивной образцовой меры для проектирования автоматического программно управляемого критерия оценки эффективности микропроцессорных измеряемых средств.

Метод производной развивает метод индукции итерационного анализа числовых последовательностей и доказывает тождественные закономерности максимума произведения равных частей со средней суммой для синтеза оптимального эквивалента, но более просто и строго, оперативно и технологично в виде целенаправленной последовательности однотипных операторов дифференциального исчисления экстремума функции по производной от простого к сложному решению.

Метод динамического программирования развивает метод производной за счет экстремума дифференциала произведения $(j + 1)$ -го шага по оптимальному эквиваленту экстремума первообразной j -го шага согласно принципу оптимальности. Принцип оптимальности постулирует [31, с. 303 – 308], что последующее решение должно быть оптимальной стратегией по отношению к состоянию результата первого шага. Принцип оптимальности заменяет трудоемкий многошаговый процесс последовательностью однотипных операций по одному и тому же рекуррентному соотношению, принимаемому за оптимальный эквивалент. Проиллюстрируем метод динамического программирования на примере максимума произведений суммы частей диапазона.

Шаг 1 делит диапазон на две части из суммы остатка $S - x$ и переменной x , произведение которых конструирует исходную функцию:

$$\Pi_2 = (S - x)x. \quad (6.1)$$

Вычислим максимум произведения Π_2 функции (6.1) по равенству нулю дифференциала:

$$\frac{\partial \Pi_2}{\partial x} = \frac{\partial [(S - x)x]}{\partial x} = -x + (S - x) = S - 2x = 0,$$

который приводит к равенству отрезков половине суммы с максимальным решением Π_2 :

$$x = \frac{S}{2}; \quad \Pi_2 = \prod_{i=1}^2 x_i = \left(\frac{S}{2}\right)^2, \quad (6.1a)$$

подобным решением (6.1a) и принимаемому за оптимальный эквивалент следующего шага.

Шаг 2 достигает максимум произведения Π_3 эквивалента $(S - x)^2/4$ первого шага (6.1a) и неизвестной x :

$$\Pi_3 = \max \left\{ \left(\frac{S-x}{2} \right)^2 x \right\} \quad (6.1б)$$

при равенстве производной по x нулю:

$$\frac{\partial \Pi_3}{\partial x} = \left(\frac{S-x}{2} \right)^2 - \frac{2(S-x)x}{4} = \frac{S-x}{4} (S-3x) = 0 ,$$

с равными тремя отрезками и максимумом Π_3

$$x = \frac{S}{3} ; \quad \Pi_3 = \prod_{i=1}^3 x_i = \left(\frac{S}{3} \right)^3 . \quad (6.1в)$$

Решение (6.1в) подобно результату (6.1а), принимаемому за эквивалент j -го шага.

Шаг j доставляет максимум произведения эквивалента $\left(\frac{S-x}{j-1} \right)^{j-1}$

и переменной x :

$$\Pi_j = \max_x \left\{ \left(\frac{S-x}{j-1} \right)^{j-1} x \right\} \quad (6.1г)$$

при нулевой производной

$$\frac{\partial \Pi}{\partial x} = \left(\frac{S-x}{j-1} \right)^{j-1} - \frac{j-1}{j-1} \left(\frac{S-x}{j-1} \right)^{j-2} x = 0 ,$$

соответствующей уравнению

$$\left(\frac{S-x}{j-1} \right)^{j-2} \left(\frac{S-x-jx+x}{j-1} \right) = 0 .$$

Из последнего уравнения находим оптимальные алгоритмы с равными j -ми поддиапазонами и максимальным произведением Π_j

$$x = \frac{S}{j} ; \quad \Pi_j = \prod_{i=1}^j x_i = \left(\frac{S}{j} \right)^j , \quad (6.1д)$$

аналогичными алгоритмам (6.1а, в), служащим эквивалентом n -го шага.

Шаг n подобен решению j -го шага при замене числа j на n для максимума Π_n

$$\Pi_n = \max_x \left\{ \left(\frac{S-x}{n-1} \right)^{n-1} x \right\} \quad (6.1e)$$

при обнулении производной

$$\frac{\partial \Pi}{\partial x} = \left(\frac{(S-x)^{n-2}}{(n-1)^{n-1}} \right) [S-x - (n-1)x] = 0$$

с закономерностями рекуррентного алгоритма

$$x = \frac{S}{n}; \quad \Pi_n = \prod_{i=1}^n x_i = \left(\frac{S}{n} \right)^n. \quad (6.1ж)$$

Рекуррентный алгоритм (6.1ж) подобен (6.1д) и отражает закономерности метода производной, но получен более оперативно и просто по информационной технологии проектирования максимума произведения относительно оптимального эквивалента экстремума первого шага согласно принципа оптимальности.

Анализ методов оптимизации показывает их вектор развития от индукции через метод производной к динамическому программированию с тождественными закономерностями максимума произведений равных поддиапазонов со средней суммой для синтеза рекуррентного алгоритма оптимального пошагового эквивалента, в частности, и от оптимального эквивалента оценки эффективности по гибким образцовым мерам, в общем. Синтез и анализ закономерностей систематизируют методы оптимизации в информационную технологию проектирования оптимального эквивалента автоматизации эффективных метрологических средств коммуникабельных компьютерных анализаторов состава и свойств веществ в адаптивном диапазоне с заданной точностью образованных мер.

6.2.2. Симметричные критерии. Спроектированы симметричные критерии в виде отношения исследуемой последовательности случайных значений к оптимальному эквиваленту для объективной оценки эффективности инноваций. Создание эффективных метрологических средств компьютерных анализаторов с адаптивным диапазоном контроля невозможно по случайным ненормированным оценкам, требующим постфактум подтверждения среднестатистической точности из-за нелинейности и дрейфа преобразований. Основой гибких метрологи-

ческих средств должны быть оптимальные образцовые меры с автоматической подстройкой на адаптивный диапазон с заданной точностью. Выше рассмотрены оптимальные эквиваленты оценок с симметричными мерами, которые могут служить нормированными программно управляемыми мерами асимметрии исследуемых последовательностей в виде их разницы или отношения для абсолютных или относительных критериев оценки эффективности. Ниже представлены мультипликативные (МСК) и аддитивные (АСК) симметричные критерии эффективности.

Мультипликативные оценки синтезируют сравнением с максимальными произведениями сумм исследуемых произведений последовательностей.

Мультипликативный симметричный критерий (МСК) целесообразно представить отношением произведения $q = \prod_{i=1}^n x_i$ случайных величин x_i к оптимальному эквиваленту q_0 симметричных мер $x_{0i} = x_{0i+1}$:

$$Q = \frac{q}{q_0} = \frac{\prod_{i=1}^n x_i}{\prod_{i=1}^n x_{0i}}.$$

Эквивалентом оптимизации произведения $q = \prod_{i=1}^n x_i$ согласно алгоритмам (6.1ж) служит максимальное произведение $q_0 = \max q = \Pi_n$, сформированное произведением средней суммы:

$$Q = \frac{q}{q_0} = \frac{\prod_{i=1}^n x_i}{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i\right)^n}. \quad (6.2)$$

Диапазон произведений q случайных величин может изменяться от 0 до q_0 , поэтому интервал МСК варьируется от 0 до 1 и достигает максимальной оценки $Q_0 = 1$ в пределе приближения x_i к симметричной мере x_{0i} . Это соответствует закономерностям

$$\begin{cases} \text{opt} Q = Q_0 = 1; \\ \text{opt} x_i = x_{0i} \text{ при } x_i \rightarrow x_{i+1}. \end{cases} \quad (6.2a)$$

МСК (6.2) служит объективным критерием эффективности с автоматической регулировкой эквивалента q_0 к адаптивному диапазону в интервале $0,1$ с высокой точностью, определяемой погрешностью симметричной меры x_0 поддиапазона. МСК (6.2) является степенным критерием прецизионной оценки, а для производственных испытаний на практике с достаточной погрешностью справедлив средний МСК.

Средний МСК синтезируют из критерия (6.2) понижением степени в n раз за счет извлечения корня:

$$Q_c = \sqrt[n]{Q} = \frac{\sqrt[n]{\prod_{i=1}^n x_i}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i}. \quad (6.2б)$$

Закономерности среднего критерия Q_c тождественны закономерностям (6.2а) прецизионного МСК, но с закругленной погрешностью среднего арифметического числа n поддиапазонов меры x_{0i} . Анализ среднего МСК (6.2б) показывает тождественность его структуры алгоритму отношения среднего геометрического X_{cr} к среднему арифметическому X_{ca} :

$$Q_c = \frac{\sqrt[n]{\prod_{i=1}^n x_i}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i} = \frac{X_{cr}}{X_{ca}}, \quad (6.2в)$$

что упрощает запоминание и повышает удобство оценки за счет проектирования алгоритма из стандартных мер точности.

Относительная погрешность МСК логично вытекает из его сравнения с единичным эквивалентом за счет вычитания

$$\varepsilon_Q = 1 - Q_c = \frac{X_{ca} - X_{cr}}{X_{ca}}, \quad (6.2г)$$

где числитель формулы (6.2г) тождественен абсолютной погрешности исследуемой оценки X_{cr} относительно максимального эквивалента X_{ca} . Интервал изменения относительной погрешности ε_Q регламентирован границами диапазона $\overline{0, 1}$, так как абсолютная погрешность варьируется от нуля до оптимального эквивалента X_{ca} . Доли интервала преобразуют в проценты стандартным образом перемножением на 100 %.

Аддитивные симметричные критерии (АСК) формируют аналогично МСК через сравнение исследуемых сумм последовательностей

$$q = \sum_{i=1}^n x_i \text{ с максимумом сумм произведений } q_3 \text{ симметричных мер}$$

$$x_{0i} = x_{0i+1}:$$

$$W_c = \frac{q}{q_3} = \frac{\sum_{j=1}^n \prod_{i=1}^n x_{ij}}{\sum_{j=1}^n \prod_{i=1}^n x_{0ij}}.$$

Эквивалентом оптимизации сумм последовательности q случайных величин служит максимальная сумма $q_3 = \max q = S_n$ в виде n средних арифметических X_{ca} :

$$W = \frac{q}{q_3} = \frac{\sum_{j=1}^n \prod_{i=1}^n x_{ij}}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij} \right)^n}. \quad (6.3)$$

Диапазон сумм произведений случайных величин x_{ij} варьируется от 0 до q_3 , поэтому АСК изменяется в интервале $\overline{0, 1}$ с максимальной оценкой $W_0 = 1$ через приближение x_{ij} в пределе к симметричной мере x_{0i} . Закономерности АСК подобны МСК системы (6.2a):

$$\begin{cases} \text{opt} W = W_0 = 1; \\ \text{opt} x_{ij} = x_{0i} \text{ при } x_{ij} \rightarrow x_{i+1, j}. \end{cases} \quad (6.3a)$$

Аналогично МСК (6.2) предлагаемый АСК (6.3) отражает объективный критерий эффективности, но по интегралу произведений дифференцированных величин x_{0j} j -х поддиапазонов. Число позиций сумм и произведений должно быть тождественно $i = j$ с максимальным числом разбиений $n = \sqrt{N}$ диапазона из N чисел. Число поддиапазонов n может быть любым, но на практике минимальная погрешность при $n \leq 5$, которая увеличивается за счет погрешности вычислений для $n > 5$. Критерий (6.3) служит прецизионной оценкой эффективности, а при извлечении корня n -й степени по поддиапазонам справедлив с достаточной для практики точности средней АСК.

Средний АСК организуют при понижении степени по поддиапазону оценки (6.3)

$$W = \frac{\sum_{j=1}^n \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n x_{ij}}}{\sum_{j=1}^n X_{jcr}} = \frac{\sum_{j=1}^n X_{jca}}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij} \right)^n}. \quad (6.3б)$$

Средний АСК с погрешностью симметричной меры x_{0i} объективно оценивает эффективность средств за счет автоматической регулировки эквивалента q_3 с высокой точностью. Структура среднего АСК подобна структуре МСК (6.2б) с тождественной для них точностью, определяемой адаптивными симметричными мерами. Как и другие симметричные оценки, адаптивные критерии служат объективными мерами относительных и абсолютных погрешностей (6.2г):

$$\varepsilon_W = 1 - W_c = \sum_{j=1}^n \frac{X_{jca} - X_{jcr}}{X_{jca}} \quad (6.3в)$$

за счет сравнения исследуемой оценки X_{cr} с максимальным эквивалентом X_{ca} .

Следовательно, спроектированы мультипликативные и аддитивные симметричные критерии в виде отношения исследуемой последовательности случайных значений к оптимальному эквиваленту симметричных мер. Оценки сумм произведений и произведения сумм соответствуют стандартам среднему арифметическому и среднему геометрическому с критерием эффективности, достаточной для практики точностью, а также с прецизионной погрешностью симметричных мер средних критериев со степенными отношениями стандартных оценок. Отношения несимметричных оценок к симметричным оптимальным эквивалентам отражают объективные критерии эффективности в относительном интервале $\overline{0, 1}$ с оптимальным единичным эквивалентом за счет автоматического регулирования в адаптивном диапазоне для создания высокоэффективных программно-управляемых метрологических средств компьютерных анализаторов.

Таким образом, предложены оптимальные меры оценки эффективности на примере мультипликативных и аддитивных симметричных критериев из отношений среднего арифметического и среднего геометрического для систематизации выявленных закономерностей в информационную технологию проектирования коммуникативных микропроцессорных средств и систем ЦПС ЭЭС.

1. Анализ известных оценок эффективности показывает, что среднее арифметическое и среднее геометрическое – результаты частных решений нормальных форм инверсных базисов, дизъюнктивных и конъюнктивных кодов. Достоверность и объективность средних оценок условна из-за произвольных вероятностных несимметричных выборок без учета гибкого оптимального эквивалента комбинаторных структур с фиксированными связями тестеров и регламентируемой градуировкой, инициирующими постфактум анализ точности по неопределенным мерам случайной нелинейной последовательности, включающими автоматизацию контроля.

2. Анализ методов оптимизации точности показывает вектор развития от итерационной индукции через метод экстремума производной к динамическому программированию с тождественными закономерностями максимума произведений равных поддиапазонов со средней суммой для синтеза рекуррентного алгоритма оптимального пошагового эквивалента, в частности, и оптимального эквивалента оценки эффективности по гибким образцовым мерам, в общем.

3. Доказана тождественность оптимальных эквивалентов суммы произведений и произведения сумм, отражающих максимально предельную оценку в виде гибкой меры объективного критерия эффективности автоматического контроля адаптивного диапазона с заданной точностью симметричных образцов. Для симметричных мер среднее арифметическое эквивалентно среднему геометрическому, которые априори больше среднего арифметического и среднего геометрического произвольных вероятностных оценок несимметричных значений.

4. Спроектированы мультипликативные и аддитивные симметричные критерии в виде отношения исследуемой последовательности случайных значений к оптимальному эквиваленту симметричных мер. Оценки сумм произведений и произведения сумм соответствуют стандартам: среднему арифметическому и среднему геометрическому с критерием эффективности, достаточной для практики точностью, а также прецизионной погрешностью симметричных мер средних критериев со степенными отношениями стандартных оценок. Отношения несимметричных оценок к симметричным оптимальным эквивалентам отражают объективные критерии эффективности в относительном интервале $\overline{0,1}$ с оптимальным единичным эквивалентом, систематизирующие выявленные закономерности анализа и синтеза метрологических средств в информационную технологию проектирования коммуникативных микропроцессорных систем и сетей для автоматического регулирования в адаптивном диапазоне с заданной точностью образцовых мер.

6.3. ЭФФЕКТИВНОСТЬ АМПЛИТУДНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Проведена оценка эффективности характеристик амплитудного преобразователя ЦПС по эквивалентам и относительно пассивного делителя для выявления закономерностей развития линейных интегральных схем от жесткой структуры тестеров до гибкой архитектуры микропроцессорных измерительных средств. Методы идеального конечного результата (ИКР) определяют закономерности линейного преобразования [23 – 27] за счет тождественности исследуемых характеристик желаемому нормированному эквиваленту – предельному значению нелинейности (или линейности) в виде константы единичного уровня с минимальной погрешностью нулевой меры. Относительные и абсолютные оценки эффективности организуют сопоставлением исследуемых характеристик с нелинейностью относительно эквивалента линейного преобразования для мониторинга и прогнозирования уровня инновации технических решений по нормированным мерам эквивалентов.

Цель: повысить метрологическую эффективность интегральных преобразователей ЦПС и методов оптимизации ИКР.

Задачи:

1. Рассчитать характеристики исследуемого преобразователя.
2. Определить оптимальные характеристики линейного преобразования и оценки эффективности.
3. Выявить закономерности оптимизации методами ИКР.
4. Провести анализ эффективности пассивного делителя и амплитудного преобразователя.

6.3.1. Исследуемые характеристики. Синтезируем исследуемые характеристики амплитудного преобразователя на примере инверсного операционного усилителя с отрицательной обратной связью на делителе напряжения последовательного соединения резисторов сопротив-

лениями R_1 , R_2 и проводимостью $Y_i = \frac{1}{R_i}$ для $i = 1, 2$ (см. рис. 6.1),

усиливающего входное напряжение U_1 до выходного уровня U_2 за счет избыточного усиления $\beta \rightarrow \infty$ операционного усилителя. Расчет инвертора проведем методом узловых потенциалов по схеме замещения (рис. 6.1, б) на сигнальных графах по первому для узла e и второму для потенциала U_2 правилам Кирхгофа. Математическая модель инвертора напряжения включает систему из двух уравнений, соответственно для токов и напряжений:

$$\begin{cases} e(Y_1 + Y_2) = U_1 Y_1 + U_2 Y_2; \\ U_2 = -\beta e. \end{cases} \quad (6.4)$$

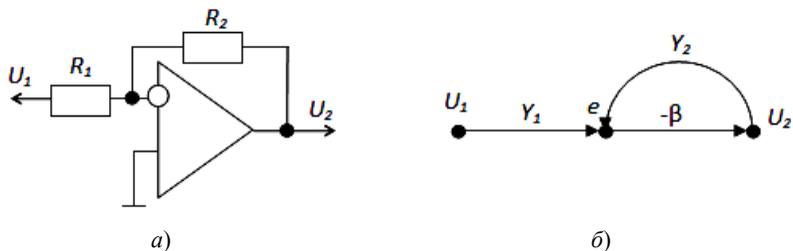


Рис. 6.1. Электрические схемы инвертора напряжения:
a – принципиальная; *б* – на сигнальных графах

Выразим неизвестный потенциал e из второго уравнения системы (6.4):

$$e = -\frac{U_2}{\beta} \quad (6.4a)$$

и подставим его в первое уравнение

$$-\frac{U_2(Y_1 + Y_2)}{\beta} = U_1 Y_1 + U_2 Y_2. \quad (6.4b)$$

Из уравнения (6.4б) после приведения подобных членов следуют переходная статическая характеристика $U_2(U_1)$

$$U_2 = -\frac{U_1 Y_1}{Y_2 + \frac{Y_1 + Y_2}{\beta}} \quad (6.5)$$

и характеристика коэффициента усиления

$$k = -\frac{U_2}{U_1} = \frac{Y_1}{Y_2 + \frac{Y_1 + Y_2}{\beta}} \quad (6.5a)$$

а с учетом нормированного эквивалента

$$k_0 = \frac{Y_1}{Y_2} = \frac{R_2}{R_1} \quad (6.5b)$$

находим нормированную характеристику

$$k = \frac{k_0}{1 + \frac{k_0}{\beta}}. \quad (6.5b)$$

Уникальность характеристики (6.5в) обусловлена зависимостью исследуемого коэффициента k с ИКР нормированного k_0 (6.5б) линейного усиления, желаемой характеристикой – принимаемой за эквивалент. Характеристики (6.5а – в) позволяют оценить эффективность исследуемого инвертора с заведомо нелинейным усилением (ненормированной оценкой, дрейфом, т.е. «гадкого утенка») относительно желаемого ИКР (6.5б) с линейным преобразованием (без дрейфа, с гальванической развязкой, т.е. «белого лебедя»). При этом эффективность, как неопределенная дефиниция [30, с. 1569] итерационного анализа, представляется в информационной технологии проектирования [24 – 29] нормированной мерой оценки результата действия (эффекта), т.е. уровня научно-технического решения. Эффективность служит количественной оценкой качества инноваций (уровня новизны и творчества, производительности и рентабельности, комфорта и гармонии и т.д.) относительно эквивалентов метрологии (точности, оперативности и надежности) и производной от нее иерархии эффективности: технологичности и экономичности, экологичности и эргономичности [см. 24, с. 74 – 79].

Метод тождественности эквивалентам ИКР [23, 24] позволяет из нормированной характеристики (6.5в) усиления определить характеристики нелинейности η и погрешности δ , для этого составим систему из уравнений (6.5б) и (6.5в)

$$\begin{cases} k_0 = \frac{R_2}{R_1}; \\ k = \frac{k_0}{1 + \delta}, \end{cases} \quad (6.6)$$

где погрешность δ является дробью знаменателя характеристики (6.5в):

$$\delta = \frac{1 + k_0}{\beta}. \quad (6.6a)$$

Представим тождество (6.6) произведением линейного эквивалента k_0 на нелинейность:

$$k = \frac{k_0}{1 + \delta} = k_0 \eta, \quad (6.6б)$$

из которого следует характеристика нелинейности, как система отношений

$$\begin{cases} \eta = \frac{1}{1 + \delta}; \\ \eta = \frac{k}{k_0}. \end{cases} \quad (6.7)$$

Качественный анализ выражения (6.6б) методом эквивалентов [27] показывает тождественность исследуемого коэффициента k эквиваленту k_0 :

$$\operatorname{opt}_{\eta \rightarrow 1} k = k_0, \quad (6.8)$$

когда нелинейная функция η (6.7) в пределе представлена нормированной константой единичной меры при оптимальной закономерности

$$\operatorname{opt}_{\delta \rightarrow 0} \eta = \eta_0 = 1. \quad (6.8a)$$

Закономерности (6.8) справедливы, если погрешность δ (6.6a) будет нормирована пределом δ_0 нулевого уровня:

$$\operatorname{opt}_{\beta \rightarrow \infty} \delta = \delta_0 = 0, \quad (6.8б)$$

что обусловлено избыточностью усиления

$$\operatorname{opt}_{e \rightarrow 0} \beta = \infty \quad (6.8в)$$

и нормированием нулевой мерой потенциала e (6.4a)

$$\operatorname{opt}_{\beta \rightarrow \infty} e = 0 \quad (6.8г)$$

до бесплатного эталона земли.

Закономерности (6.8) являются оптимальными условиями линейного преобразования инвертора напряжения, что очевидно при их подстановке в характеристики (6.4) – (6.7). Знания теории линейности преобразования, систематизированные закономерными условиями (6.8), значительно сокращают решение системы (6.4). При этом левая часть первого уравнения системы (6.4) обнулена потенциалом земли $e = 0$ (6.4a):

$$0 = U_1 Y_1 + U_2 Y_2, \quad (6.9)$$

откуда следует линейное решение

$$k = \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_2}{R_1} = k_0, \quad (6.10)$$

тождественное эквиваленту (6.6) при условиях (6.8).

Следовательно, приведен алгоритм расчета статических характеристик инвертора напряжения, связывающих исследуемый коэффициент усиления с нормируемым эквивалентом ИКР, как меры оценки метрологической эффективности. Метод эквивалентов при выполнении условий закономерности значительно сокращает алгоритм преобразования линейного решения.

6.3.2. Оценка эффективности. Приведены оценки эффективности по линейности и нелинейности, относительной и абсолютной погрешности, коэффициентам преобразования и потенциалам отсчета амплитудных преобразователей для доказательства линейности инвертора относительно нормированных эквивалентов и делителя напряжения.

Нелинейность коэффициентов преобразования $\eta = \frac{k}{k_0}$ инвертора

η_1 и делителя η_2 напряжения по методу тождественности эквивалентов соответствует системе уравнений

$$\begin{cases} \eta_1 = \frac{1}{1 + \frac{1+k_0}{\beta}}; \\ \eta_2 = \frac{1}{1+k_0}. \end{cases} \quad (6.11)$$

Оценим эффективность η_η нелинейностей, поделив уравнения системы (6.11):

$$\eta_\eta = \frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{1+k_0}{1 + \frac{1+k_0}{\beta}} = \beta \quad (6.11a)$$

при условии, что $1+k_0 \gg 1$, это соответствует

$$\eta_2 = \frac{\eta_1}{\beta}. \quad (6.11b)$$

Для линейного эквивалента $\eta_1 = 1$ (см. (6.8a)), при этом погрешность операционного усилителя близка к нулю из-за избыточности усиления $\beta \rightarrow \infty$. Следовательно, для линейного эквивалента инвертора напряжения справедлива закономерность

$$\text{opt}_{\delta_1 \rightarrow 0} \eta_1 = \eta_0 = 1, \quad (6.12)$$

так как выполняются условия (6.8), а именно:

$$\text{opt}_{\eta_1 \rightarrow 1} k_1 = k_0 \quad \text{и} \quad \text{opt}_{\beta \rightarrow \infty} \delta_1 = \delta_0 = 0. \quad (6.12a)$$

Для нелинейного преобразования пассивного делителя из соотношения (6.11b) следует

$$\operatorname{opt}_{\beta \rightarrow \infty} \eta_2 = \frac{\eta_0}{\beta} = 0, \quad (6.13)$$

а коэффициент деления k_1 стремится к нулю, так как эффективность нелинейностей $\eta_\eta = \beta = \infty$ равна избыточности.

Анализ эффективности нелинейностей показывает невозможность линейного преобразования пассивным делителем, а линейный эквивалент тождественен нормированной единичной мере при избыточности усиления, что достигают средствами микроэлектроники в базе линейных интегральных схем.

Абсолютные погрешности инвертора δ_1 и делителя δ_2 по методу тождественности эквивалентов определяются системой уравнений

$$\begin{cases} \delta_1 = \frac{1+k_0}{\beta}; \\ \delta_2 = k_0. \end{cases} \quad (6.14)$$

Оценим эффективность η_δ погрешностей, представив первое выражение системы (6.14) тождеством через второе:

$$\delta_1 = \delta_2 \eta_\delta = k_0 \frac{\frac{1}{\beta} + 1}{\beta}, \quad (6.14a)$$

из которого выразим эффективность абсолютных погрешностей

$$\eta_\delta = \frac{\delta_1}{\delta_2} = \frac{1}{\beta}, \quad (6.14б)$$

с учетом, что эквивалент линейности $k_0 \gg 1$, так как она выражена алгоритмом

$$\eta_\delta = \frac{\frac{1}{\beta} + 1}{\beta}. \quad (6.14в)$$

Из оценки (6.14б) следует, что погрешность амплитудного преобразователя в β раз меньше абсолютной погрешности пассивного делителя. Аналогичный результат получаем для эффективности η_δ , представленной относительными погрешностями

$$\begin{cases} \delta_1 = k_0 \varepsilon_1 = k_0(1 - \eta_1) = k_0 \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{k_0 + 1}{\beta}} \right); \\ \delta_2 = k_0 \varepsilon_2 = k_0(1 - \eta_2) = k_0 \left(1 - \frac{1}{1 + k_0} \right), \end{cases} \quad (6.15)$$

так как при условии $(1 + k_0) \approx k_0$ система (6.15) имеет вид

$$\begin{cases} \delta_1 = k_0 \frac{1}{\frac{\beta}{k_0 + 1} + 1}; \\ \delta_2 = k_0, \end{cases} \quad (6.15a)$$

а эффективность погрешностей определяется отношением

$$\eta_\delta = \frac{\delta_1}{\delta_2} = \frac{1}{\frac{\beta}{k_0 + 1} + 1}. \quad (6.15б)$$

Из отношения (6.15б) при условиях избыточности усиления $\beta \rightarrow \infty$ и стремления к нулю эквивалента k_0 пассивного делителя находим эффективность η_δ погрешностей, тождественную алгоритму (6.14б).

Относительные погрешности инвертора ε_1 и делителя ε_2 по методу тождественности эквивалентов соответствуют системе уравнений, аналогичной системе (6.15a):

$$\begin{cases} \varepsilon_1 = \frac{\delta_1}{k_0} = \frac{1}{\frac{\beta}{k_0 + 1}}; \\ \varepsilon_2 = \frac{\delta_2}{k_0} = 1. \end{cases} \quad (6.16)$$

При условии избыточности находим из системы (6.16) оценку эффективности относительных погрешностей:

$$\eta_\varepsilon = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{1}{\beta}, \quad (6.16a)$$

тождественную алгоритму (6.14б) эффективности η_δ абсолютных погрешностей.

Из алгоритмов (6.14б) и (6.16а) очевидны тождественности эффективности погрешностей

$$\eta_{\varepsilon} = \eta_{\delta}, \quad (6.17)$$

а также, что относительная погрешность амплитудного преобразователя, как и абсолютная, в β раз меньше аналогичных погрешностей пассивного делителя.

Тождественную алгоритму (6.16а) получают эффективность относительных погрешностей из системы (6.14) абсолютных погрешностей. Действительно из (6.14) справедлива система уравнений

$$\begin{cases} \varepsilon_1 = \frac{\delta_1}{k_0} = \frac{1+k_0}{k_0\beta} = \frac{1}{\beta}; \\ \varepsilon_2 = \frac{\delta_2}{k_0} = \frac{k_0}{k_0} = 1. \end{cases} \quad (6.18)$$

Находим эффективность η_{ε} относительных погрешностей в процессе деления уравнений системы (6.18):

$$\eta_{\varepsilon} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{1}{\beta}, \quad (6.18a)$$

тождественную зависимости (6.16а) с аналогичными условиями тождественности эквивалентов по закономерностям (6.8).

Линейность коэффициентов преобразования амплитудного усилителя Ψ_1 и пассивного делителя Ψ_2 находят из системы уравнений

$$\begin{cases} \Psi_1 = 1 + \frac{1+k_0}{\beta}; \\ \Psi_2 = 1 + k_0. \end{cases} \quad (6.19)$$

Эффективность линейностей η_{Ψ}

$$\eta_{\Psi} = \frac{\Psi_1}{\Psi_2} = \frac{1}{1+k_0} + \frac{1}{\beta} = \frac{1}{\beta} \quad (6.19a)$$

при $k_0 \gg 1$, откуда следует

$$\Psi_2 = \Psi_1\beta. \quad (6.19б)$$

Для линейного эквивалента $\Psi_2 = 1$, при этом линейность делителя в β раз ниже нормы инвертора напряжения за счет линейности.

Диапазон D_1 усилителя в β раз шире диапазона D_2 пассивного делителя, как при фиксированных абсолютных $\delta_1 = \delta_2$, так и относительных $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$ погрешностях:

$$D_1 = \frac{D_2}{\beta}. \quad (6.20)$$

Соотношение (6.20) обусловлено системой уравнений

$$\begin{cases} D_1 = \frac{\delta_1}{\varepsilon_1}; \\ D_2 = \frac{\delta_2}{\varepsilon_2} \end{cases} \quad (6.20a)$$

в процессе их деления для оценки эффективности диапазонов $\eta_D = \frac{D_1}{D_2}$. Из системы (6.20a) также следует для фиксированных диапазонов $D_1 = D_2$ снижение в β раз погрешности линейного эквивалента ε_1 относительно нелинейного делителя:

$$\begin{cases} \varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_2}{\beta}; \\ \delta_1 = \frac{\delta_2}{\beta}, \end{cases} \quad (6.20б)$$

что подтверждает тождественность абсолютных (6.14б) и относительных (6.16a) погрешностей, полученных при оценке нелинейности η (6.11).

Следовательно, оценка эффективности линейностей доказывает повышение точности и диапазона амплитудного преобразователя в β раз за счет снижения нелинейности и погрешности пассивного делителя. Метрологическая оценка показывает тождественность условий эффективностей пассивных преобразователей относительно эквивалентов линейности и нелинейности, погрешности и диапазона для нормированной оценки эффективностей инвертора и делителя.

6.3.3. Закономерности оптимизации. Показана адекватность предельных условий метода эквивалентов качественного анализа закономерностям линейных эквивалентов количественного анализа по методу экстремума производных.

Нелинейность инвертора напряжения определяется характеристиками (6.5) – (6.7) относительного линейного эквивалента k_0 .

Выявим относительный эквивалент $\text{opt} k = k^*$ амплитудного преобразователя по экстремуму производной $\frac{dk}{dk_0} = 0$ характеристики усиления k инвертора (см. 6.5в):

$$\frac{dk}{dk_0} = \frac{\frac{dk_0}{1 + \frac{1+k_0}{\beta}}}{dk_0} = \frac{1}{1 + \frac{1+k_0}{\beta}} - \frac{\frac{k_0}{\beta}}{\left(1 + \frac{1+k_0}{\beta}\right)^2}. \quad (6.21)$$

Вынесем за скобку в выражении (6.21) первое слагаемое и на основании зависимости (6.5в) запишем:

$$\frac{1}{1 + \frac{1+k_0}{\beta}} \left(1 - \frac{\frac{k_0}{\beta}}{1 + \frac{1+k_0}{\beta}} \right) = \eta \left(1 - \frac{k^*}{\beta} \right) = 0,$$

откуда следует закономерность (6.8) тождественности исследуемого коэффициента k эквиваленту $k_0 = k^*$:

$$\text{opt}_{\eta \rightarrow 1} k = k_0, \quad (6.22)$$

которую регламентирует избыточность β коэффициента усиления операционного усилителя

$$\text{opt}_{k \rightarrow k_0} k_0 = \beta. \quad (6.22a)$$

Условие (6.22a) конкретизирует закономерность (6.22) и показывает максимальное усиление инвертора, стремящегося к избыточности $\beta \rightarrow \infty$ в отличие от пассивного делителя с эквивалентом k_0 , приближающегося к нулю из-за k не превышающего единицы. По аналогии с (6.22) и (6.22a) можно выявить предельные условия увеличения k по отношению к коэффициенту усиления β :

$$\frac{dk}{d\beta} = \frac{\frac{d\beta}{\beta + 1 + k_0}}{d\beta} = \frac{1}{\beta + 1 + k_0} - \frac{\beta}{(\beta + 1 + k_0)^2},$$

откуда находим равенство с учетом (6.5в)

$$\frac{1}{\beta + 1 + k_0} \left(1 - \frac{\beta}{\beta + 1 + k_0} \right) = \frac{k}{\beta} (1 - k^*) = 0$$

и закономерное требование линейности

$$\text{opt}_{\beta \rightarrow \infty} k = k^* = k_0, \quad (6.22б)$$

что также уточняет качественную оценку (6.8).

Оценим предел нелинейности η инвертора относительно абсолютной погрешности δ по алгоритму (6.7) при замене $\Delta = \frac{1}{\delta}$, отражающей стандартный прием инверсии:

$$\frac{d\eta}{d\delta} = \frac{d\eta}{d\Delta} = \frac{d\Delta}{d\Delta} = \frac{1}{1 + \Delta} - \frac{\Delta}{(1 + \Delta)^2}.$$

Это соответствует согласно алгоритму (6.7) выражению

$$\frac{1}{1 + \Delta} \left(1 - \frac{\Delta}{1 + \Delta} \right) = \frac{\eta}{\Delta} (1 - \eta_0) = \eta \delta (1 - \eta_0) = 0$$

и закономерности

$$\text{opt}_{\delta \rightarrow 0} \eta = \eta_0 = 1, \quad (6.22в)$$

тождественной условию (6.8а) с инверсным требованием

$$\text{opt}_{\Delta \rightarrow \infty} \eta = \eta_0 = 1. \quad (6.22г)$$

Абсолютная погрешность δ вычисляется по алгоритму (6.6а) и ее оптимум выявляют для избыточности β и эквивалента k_0 :

$$d\delta = \left(\frac{1 + k_0}{\beta} \right)' = \frac{1}{\beta} \partial k_0 - \frac{1 + k_0}{\beta^2} \partial \beta.$$

После преобразования и с учетом (6.6а) следует уравнение

$$\frac{1}{\beta} \left(\partial k_0 - \frac{1 + k_0}{\beta} \partial \beta \right) = \frac{1}{\beta} (\partial k_0 - \delta_0 \partial \beta) = 0,$$

приводящее к закономерности

$$\text{opt}_{\beta \rightarrow \infty} \delta = \delta_0 = \frac{\partial k_0}{\partial \beta} = 0, \quad (6.22д)$$

тождественной условию (6.8б).

Относительная погрешность ε инвертора является отношением $\frac{\delta}{k_0}$, где $\delta = k - k_0$, поэтому экстремум погрешности ε находят как относительно приращения δk , так и частной производной ∂k_0 :

$$\partial \varepsilon = \left(\frac{k - k_0}{k_0} \right)' = \frac{1}{k_0} \partial k - \left(\frac{1}{k_0} + \frac{k - k_0}{k_0^2} \right) \partial k_0.$$

В предположении тождественности $\partial k = \partial k_0$, сокращаются первое и второе слагаемые и справедливо выражение

$$\frac{d\varepsilon}{dk_0} = \frac{k - k_0}{k_0} = \varepsilon_0 = 0,$$

при условии оптимальности

$$\text{opt}_{k \rightarrow k_0} \varepsilon = \varepsilon_0 = 0, \quad (6.22\text{е})$$

предваряющем закономерность (6.22).

Потенциал e является отношением (6.4а), а его экстремум ищут по приращениям напряжения ∂U и избыточности $\partial \beta$:

$$de = \left(\frac{U}{\beta} \right)' = \frac{1}{\beta} \partial U - \frac{U}{\beta^2} \partial \beta = 0,$$

что соответствует уравнению

$$\frac{1}{\beta} (\partial U - e_0 \partial \beta) = 0$$

и алгоритму нормирования потенциала нулевой мерой (6.8г) при избыточности усиления

$$\text{opt}_{\beta \rightarrow \infty} e = e_0 = \frac{\partial U}{\partial \beta} = 0. \quad (6.22\text{ж})$$

Линейность Ψ амплитудного преобразователя является инверсией нелинейности (6.7) с погрешностью (6.6а). Важной характеристикой инвертора служит чувствительность линейности $d\Psi$ относительно изменения усиления $d\beta$, что соответствует экстремуму производной

$$\frac{d\Psi}{d\beta} = \frac{\frac{d(\beta + 1 + k_0)}{\beta}}{d\beta} = \frac{1}{\beta} - \frac{\beta + 1 + k_0}{\beta^2}.$$

С учетом выражения линейности (6.7) находим

$$\frac{1}{\beta} \left(1 - \frac{\beta + 1 + k_0}{\beta} \right) = \frac{1}{\beta} (1 - \psi_0) = 0,$$

откуда следует закономерность линейности

$$\lim_{\beta \rightarrow \infty} \psi = \psi_0 = 1, \quad (6.22з)$$

как тождественного эквивалента с единичной нормой.

Анализ закономерностей оптимизации характеристик инвертора методами ИКР показывает адекватность результатов количественной оценки методом экстремума качественной оценке методом эквивалентов нелинейности и погрешности с предельными нормами единичного и нулевого уровня.

6.3.4. Анализ эффективности. Приведен сопоставительный анализ метрологической эффективности исследуемых пассивного делителя и инвертора напряжения относительно их предельных эквивалентов ИКР для доказательства линейного преобразования амплитудного усилителя за счет избыточности усиления относительно нелинейности делителя с коэффициентом преобразования меньше единицы.

Методы ИКР отождествляют исследуемую функцию «гадкого утенка» желаемому идеальному образу «белого лебедя» – эквиваленту линейного преобразования с нормированной мерой без параметрического дрейфа для выявления оптимальных условий – необходимых закономерностей ИКР.

Расчет исследуемых характеристик приведен на примере инвертора напряжения с избыточным усилением методом узловых потенциалов по схеме замещения на сигнальных графах по правилам Кирхгофа.

Выявлена уникальность характеристики инвертора, обусловленная зависимостью нелинейного коэффициента исследуемого усилителя («гадкого утенка») с ИКР коэффициента («белого лебедя») нормированного линейного преобразования, желаемой характеристикой, принимаемой за нормированный эквивалент, что позволяет оценить эффективность линейного преобразования (без дрейфа, с гальванической развязкой по нормированному уровню земли виртуального потенциала) с нелинейностью исследуемого инвертора (дрейфом и ненормированными мерами).

Эффективности, как неопределенные дефиниции итерационного анализа, представляются в информационной технологии проектирования как нормированные меры оценок результатов действия (эффектов), т.е. уровня творчества инноваций.

Расчет статических характеристик связывает исследуемые коэффициенты преобразования пассивного делителя и амплитудного усилителя с нормированными эквивалентами ИКР, как мерами оценок метрологической эффективности, для сопоставительного анализа технологичности и экономичности, экологичности и эргономичности.

Приведены оценки эффективностей нелинейности и линейности, погрешности и диапазона, чувствительности по усилению и гальванической развязке методами оптимизации ИКР, доказывающие повышение эффективности линейного преобразования инвертора напряжения в β раз относительно нормированного эквивалента пассивного делителя.

Методы оптимизации ИКР показывают тождественность исследуемых коэффициентов в пределе эквивалентам активного и пассивного преобразователей, когда характеристики нелинейности и линейности нормированы единичной константой, при нормировании погрешностей эквивалентами нулевого уровня.

Сопоставительный анализ тождественных условий и закономерностей, методов оптимизации ИКР и оценок эффективностей показывает повышение метрологической эффективности линейного преобразования инвертора амплитуды в β раз при избыточности усиления $\beta \rightarrow \infty$ относительно нормированного эквивалента пассивного делителя.

1. Рассчитаны статистические характеристики амплитудного усилителя на примере инвертора напряжения, связывающие исследуемый коэффициент преобразования с нормированными эквивалентами ИКР линейности и погрешности, чувствительности и диапазона, как мерами оценок метрологической эффективности относительно пассивного делителя для сопоставительного анализа технологичности и экономичности, экологичности и эргономичности.

2. Выведены оценки эффективностей нелинейности и линейности, погрешности и диапазона, чувствительности по усилению и гальванической развязке амплитудного усилителя и делителя напряжения, показывающие тождественность алгоритмов оптимизации методами ИКР и нормируемых линейных эквивалентов, соответствующих единичным и нулевым мерам.

3. Выявлены закономерности оптимизации методами ИКР, доказывающие качественно и количественно повышение метрологической эффективности линейного преобразования инвертора напряжения в β раз избыточности усиления относительно нормированных эквивалентов ИКР преобразователей амплитуды.

4. Проведен сопоставительный анализ тождественных условий и закономерностей, методов оптимизации ИКР и оценок эффективно-

стей, отражающий вектор развития по избыточности усиления взаимозаменяемых линейных эквивалентов нормируемых мер и оценок метрологической эффективности мониторинга и прогноза новизны и творчества, производительности и рентабельности инноваций.

6.4. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Показана тождественность динамических характеристик в основных формах схемотехники, математики и физики для систематизации анализа и синтеза в информационную технологию проектирования инноваций.

Электрификация и информатизация, автоматизация и механизация создают инновации по тождественным принципам аналогии и эквивалентности, инверсии и симметрии различных сфер науки и техники, искусства и культуры [23 – 29]. Наиболее ярко выражена аналогия и тождественность электричества и гидравлики, операторов счисления и исчисления, информационных и биофизических процессов, и как следствие, методов проектирования аппаратных и метрологических средств, программного и математического обеспечения микропроцессорных средств и компьютерных анализаторов энергосбережения и биомедицинской техники, телеавтоматики и технологических процессов [15 – 19, 21, 24]. В математике доказано, что исследуемую функцию можно смоделировать с заданной точностью любым оператором исчисления за счет тождественности математических преобразований. Это позволяет по принципам микроэлектроники [23] развивать ассоциативную структуру схем и гибкость программных связей архитектуры за счет расширения универсальности математического обеспечения и повышения эффективности метрологических средств для создания коммуникабельных интеллектуальных приборов и комплексов, систем и сетей. Для создания согласованных схем и программ, моделей и алгоритмов, способов анализа и мер оценок необходимо научиться синтезу и анализу динамических характеристик на примере моделирования пассивного и активного интегратора.

Цель работы: изучить анализ и синтез динамических характеристик в основных формах науки и техники на примере интегратора.

Задачи:

1. Представить схемотехнику интегратора в формах электрической схемы и ее замещение на сигнальных графах.
2. Синтезировать по схемам замещения интегратора математические модели на проводимостях и токах, в дифференциальной и интегральной формах.

3. Промоделировать дифференциальные и интегральные характеристики интегратора методами итерационного анализа и тождественности эквивалентам, операторами Лапласа и комплексных переменных.

4. Проанализировать графики переходных и временных диаграмм напряжения, амплитудно- (АЧХ) и фазочастотных (ФЧХ) характеристик.

6.4.1. Динамические схемы. Динамические схемы преобразуют электрический сигнал во времени за счет накопления электромагнитной энергии поля приемником от источника. Накопителями электрического заряда и магнитного потока служат реактивные элементы, соответственно конденсаторы емкостью C и катушки индуктивностью L . Схемы строят методами аналогии [22 – 28] с физическими явлениями (по временным диаграммам и физическим моделям) или информационными процессами, архитектурой схем или программ (структурные, функциональные, принципиальные и т.д.), математическими или метрологическими образами (по методам и способам, моделям и алгоритмам).

По обмену энергией полупроводниковые схемы классифицируют [22 – 26] на пассивные делители и активные усилители, а по форме преобразования сигнала интегральные схемы делят на аналоговые, импульсные и цифровые. В микроэлектронике индуктивности по возможности не применяют для исключения пробоя интегральных схем при резонансе в момент переключения, поэтому динамические схемы реализуют на электрических накопителях заряда и напряжения за счет управления диффузионной емкостью p - n -перехода микроструктур.

Последовательное, параллельное и смешанное соединение элементов [23, 27] организуют пассивные делители, соответственно, напряжения, тока и мощности, тождественные между собой по методам эквивалентов электроники. Для исследования наиболее простыми схемами являются делители напряжения на RC -цепочках [23 – 27], включающих последовательное соединение резистора сопротивлением R и проводимостью $Y = 1/R$, а также конденсатора емкостью C и проводимостью $Y_c = PC$, где $P = j\omega$ – оператор Лапласа в виде произведения комплексной единицы $j = \sqrt{-1}$ и циклической частоты ω .

Операции интегрирования и дифференцирования в физике и математике, соответственно, в мнemo- и схемотехнике, инверсные [19 – 29]. Поэтому пассивный делитель на RC -цепочке служит интегратором или дифференциатором, соответственно, при емкостной C или резистивной R нагрузке. Наглядным для анализа является схема

интегратора на пассивном делителе напряжения, электрическая схема которого состоит из последовательного соединения резистора R и конденсатора C , подключенных к источнику напряжения амплитудой E (см. табл. 6.1).

Электрические схемы интегратора (там же, 1а) и дифференциатора (CR -цепь) синтезируют из RC -цепочек методами схемотехники по аналогии с образами физики и математики, иерархией схем и программ, на основе принципов аналогии и эквивалентности, инверсии и симметрии [27].

Качественный анализ этой схемы проведем методом аналогии при синтезе переходной характеристики $U(E, t)$, как отклика на ступенчатый сигнал E в момент включения интегратора. В исходном состоянии на входе сигнал $E = 0$ отсутствует и конденсатор C обнулен $U = 0$ (табл. 6.1, 1в, E). После подключения к схеме напряжения E конденсатор C заряжается током через резистор R по нелинейной зависимости до амплитуды E за счет изменения его реактивного сопротивления от нуля в момент включения до бесконечности. Вид переходной характеристики соответствует интегральной функции, а анализируемая RC -цепочка тождественна схеме интегратора.

Активный интегратор на усилителях синтезируют методами аналогии на основе RC -цепочек, включаемых в обратную связь усилителя. Усилители организуют на полупроводниковых каскадах последовательного, параллельного и смешанного действия, которые на уровне интегральных схем реализуют в виде дифференциальных и операционных усилителей с избыточным усилением и линейным преобразованием без дрейфа (температурного, временного, параметрического с нормируемой мерой отсчета) [23]. В базисах СИС и БИС линейные интегральные схемы развиваются от аналого-цифровых преобразователей до автоматических интерфейсов ввода – вывода. Наглядным примером активного интегратора служит линейная интегральная схема на операционном усилителе (табл. 6.1, 2) с глубокой отрицательной обратной связью между выходом U и инверсным «о» входом операционного усилителя [23, 27].

Пассивная RC -цепочка (там же, 1а) к инверсному и прямому «+» входам операционного усилителя (там же, 2а) включается стандартно по аналогии с пассивным интегратором. Входной сигнал U_1 через RC делитель с общего узла e соединения резистора R и конденсатора C , тождественного выходу U пассивной схемы, подключают эквивалентно ко входам усилителя. В инверторе второй выход конденсатора C соединяют с выходом U для обеспечения линейного преобразования за счет глубины отрицательной обратной связи. В повторителе

(табл. 6.1, 2а) второй выход конденсатора C , как и в пассивном делителе (там же, 1а) объединяют с нулевым потенциалом, а отрицательную обратную связь организуют стандартно по аналогии с инвертором (там же, 2а) через резистивный делитель. Неиспользуемый при этом вход резистора R_1 нормируют нулевым потенциалом [23, 27].

При подключении второго выхода конденсатора C к выходу U создает положительную обратную связь, приводящую к спонтанному переключению усилителя в режим насыщения $U = E$, который используют в компараторах и амплитудно-импульсных генераторах. Линейное преобразование амплитуды обеспечивает только глубокая отрицательная обратная связь в линейных режимах A и B операционного усилителя, а насыщение инициирует режимы переключения C и D для создания импульсных и цифровых интегральных схем [23].

Качественный анализ активного интегратора (там же, 2а) на постоянный сигнал $U_1 = \text{const}$ (там же, 2в, U_1) показывает заряд конденсатора C по линейному закону (там же, 2в, U) током выходного напряжения U за счет глубокой отрицательной обратной связи, регламентируемой избыточностью усиления. Из физики и математики известно [19 – 25], что постоянный сигнал в линейный по времени организует переходная характеристика с оператором интегрирования, это доказывает эквивалентность исследуемой схемы – интегратору с инверсией (там же, 2а) и повторителю. Схема интегратора на инверторе в два раза проще повторителя, поэтому целесообразно анализировать схему (там же, 2а) для повышения наглядности исследований.

Следовательно, синтез и анализ схем пассивного и активного интегратора (или дифференциатора) определяют принципы микросхемотехники по аналогии с физикой явления и информационных процессов за счет тождественности математических операторов вычисления с регламентируемой метрологической эффективностью. Качественный анализ схем интеграторов доказывает линейное преобразование интегральных схем с избыточным усилением относительно нелинейности пассивного делителя на RC -цепочке [23 – 27].

Количественно оценить эффективность схем позволяет [27] физическое и математическое моделирование интеграторов в основных формах представления микросхемотехники. Математическому моделированию предшествует физическое – на уровне схем замещения по законам Ома или Кирхгофа стандартными методами электротехники итерационного анализа или методами оптимизации ИКР по сигнальным графам и тождественным эквивалентам с выявлением закономерных условий линейного преобразования [23, 27].

Схемы замещения синтезируют по аналогии топологию электрических схем [23] различного уровня иерархии (структурные и принципиальные, функциональные и адресные, монтажные и кинематические) к нормированным функциональным образам в виде сигнальных электрических графов, мнемосхем, тождественным прохождению исследуемого сигнала по функциональным узлам на переменном (или постоянном) токе. Электрической схеме ставят в соответствие схему замещения по нормам ЕСКД и правилам ГОСТ схмотехники. На электрической схеме выделяют узлы с известными потенциалами E , U_1 , 0 (см. табл. 6.1, 1а, сверху и 2а, сверху) и исследуемыми U , e и по стандартам известные узлы располагают слева, а исследуемые – справа для чтения функции слева направо (см. табл. 6.1, 1а, внизу и 2а, внизу).

Узлы соединяют направленными сигнальными графами тождественно прохождению сигнала слева направо и обратной связью в электрической схеме (табл. 6.1, 1а, сверху и 2а, сверху). Веса графов RC -цепочки нормируют [27] проводимостями Y и Y_c , обратными сопротивлениям резистора R и конденсатора C (табл. 6.1, 1а, внизу и 2а, внизу), для анализа схем методами комплексных переменных или операторами Лапласа. При моделировании характеристик интегродифференциальными методами сигнальным графам реактивных элементов сопоставляют направленный ток I_c вместо проводимостей Y_c . Вес графа усилителя (табл. 6.1, 2а, внизу) определяет коэффициент усиления (по току, напряжению или мощности) согласно трем схемам включения транзисторов (α – с общей базой, β – с общим эмиттером, γ – с общим коллектором). Для операционного усилителя (там же, 2а, сверху) ставят в соответствие прямому «+» и инверсному «о» входам избыточный коэффициент усиления $+\beta$ и $-\beta$ (см. там же, 2а, внизу).

Следовательно, схемы замещения тождественны топологии электрических схем, отражают по стандартным правилам схмотехники нормированный функциональный образ для математического моделирования линейных динамических характеристик.

6.4.2. Математические модели. Математическое моделирование преобразует топологию $F(R)$ схем пространственных координат в функциональные образы $F(\Phi)$ математического пространства операторами счисления и исчисления для создания последовательности: математические модели – исследуемые характеристики, линейные эквиваленты и закономерные условия для физического моделирования амплитудных диаграмм и частотных характеристик, подтверждающих адекватность моделирования эксперименту [15 – 25].

Математические модели создают [23, 27] по схемам замещения, тождественным правилам Кирхгофа для узловых потенциалов (сумма токов в узле равна нулю по закону непрерывности тока) и контуров тока (сумма напряжений по контуру равна нулю по закону сохранения энергии). Для пассивного интегратора (табл. 6.1, 1а) для исследуемого узла U по первому правилу Кирхгофа справедливо тождество [27] исходящего из узла тока I сумме входящих в него токов $I_1 + I_2$ от узлов E и 0 . Методами комплексных переменных и операторов Лапласа реактивный ток $I_c = I_2$ представляют через проводимость Y_c , а в исходящем токе учитывают суммарную проводимость $Y + Y_c$. Тождество токов узла U с учетом проводимостей резистора $Y = 1/R$ и конденсатора $Z_c = 1/Y_c$ соответствует уравнению

$$U(Y + Y_c) = EY + 0 \cdot Y_c, \quad (6.23)$$

которое для комплексных преобразований ($Y_c = j\omega C$) имеет вид

$$U(Y + j\omega C) = EY, \quad (6.23a)$$

а в операторной форме ($P = j\omega$) запишется как

$$U(Y + PC) = EY. \quad (6.23б)$$

Тождественность математических моделей (6.23; 6.23а; 6.23б) подтверждает тождественное преобразование физических образов схемы $F(R)$ в математические эквиваленты $F(\Phi)$ по первому правилу Кирхгофа.

Интегро-дифференциальные методы учитывают проводимость Y_c в неявном виде тока I_c , поэтому исходящий ток I является произведением UY , а математическая модель $F(\Phi)$ с током $I_c = I_2$ представляется видом

$$UY = EY + I_c \quad (6.24)$$

с тождественными математическими преобразованиями тока

$$I_c = C \frac{dU}{dt} = j\omega CU_m e^{j\omega t} = \frac{E}{R} e^{-t/T},$$

соответственно в дифференциальной, комплексной и интегральной формах. Из образа $F(\Phi)$ (6.24) составляют дифференциальную модель $U(t)$

$$T \frac{dU}{dt} + U = E \quad (6.24a)$$

с информативными параметрами: $T = RC$ – постоянной времени и E – установившимся потенциалом, однозначно определяющими вид переходной динамической характеристики. С учетом комплексных преобразований тока I_c из выражения (6.24а) следует модель в комплексных переменных

$$U(j\omega/\omega_0 + 1) = E \quad (6.24б)$$

при замене постоянной времени T циклической частотой $\omega_0 = 1/T$. Для экспоненциального представления тока I_c выражение (6.24) тождественно интегральной математической модели

$$U = E(1 - e^{-t/T}) \quad (6.24в)$$

отклика на ступенчатое входное воздействие E (см. табл. 6.1, 1б).

Тождественность моделей (6.24) следует из тождественности операторов исчисления, что очевидно доказывает анализ исследуемых образов по их тождественности эквивалентам. Приведем доказательство на примере анализа интегральной модели (6.24в) относительно тождественности эквиваленту дифференциальной модели (6.24а). Для этого функции напряжения U и производной от (6.24в) тока I_c тождественно преобразованиям (6.24) подставим в дифференциальное уравнение (6.24а), из чего следует

$$\frac{TE}{T} e^{-t/T} + E(1 - e^{-t/T}) = E \quad (6.25)$$

после сокращения подобных экспоненциальных членов. При замене в интегральной модели (6.24в) экспоненциального тока I_c дифференциальным тождеством (6.24) получим соотношение

$$U = E(1 - e^{-t/T}) = E - RC \frac{dU}{dt}, \quad (6.25а)$$

из которого следует выражение, тождественное модели (6.24а) в дифференциальной форме.

Приведенные примеры анализа методом эквивалентов доказывают тождественность математических моделей в интегральном (6.24в) и дифференциальном (6.24а) представлениях в частности, а также тождественность математических образов (6.24) в целом.

Математические модели активного интегратора формируют [23 – 28] тождественными операторами исчисления по схеме замещения (табл. 6.1, 2а) в сигнальных графах для исследуемых узлов

с потенциалами e и U соответственно первому и второму правилам Кирхгофа. Графам, нормированным проводимостями резистора Y и конденсатора Y_c , соответствует [27] для узла e исходящий ток $I = e(Y + Y_c)$, равный сумме входящих токов $I_1 = U_1 Y$ от узла U_1 и $I_2 = U Y_c$ от выходного потенциала U :

$$e(Y + Y_c) = U_1 Y + U Y_c. \quad (6.26)$$

Используя тождественные представления проводимости

$$Y_c = j \omega C = PC,$$

синтезируем уравнение (6.26) в образах комплексных переменных

$$e(Y + j \omega C) = U_1 Y + U j \omega C, \quad (6.26a)$$

а также операторов Лапласа

$$e(1 + PT) = U_1 + PTU \quad (6.26b)$$

при тождественной замене $C/Y = T$.

Первое уравнение (6.26) относительно тока I_c преобразуется к виду

$$eY = U_1 Y + I_c \quad (6.27)$$

с тождественными для тока I_c математическими преобразованиями (6.24). Следует учитывать емкостной характер тока I_c , отстающего в комплексной плоскости от резистивного тока на 90° , что отражают знаком « $-$ » минус при его замене операторами (6.24), по аналогии с моделями (6.24a – в) пассивного интегратора. Уравнение (6.27) в дифференциальной форме получают следующим образом:

$$eY = U_1 Y - C \frac{dU}{dt}, \quad (6.27a)$$

в комплексных переменных представляют как

$$eY = U_1 Y + j \omega CU, \quad (6.27b)$$

а в операторной области приводят к виду

$$e = U_1 + PU. \quad (6.27b)$$

Очевидно, уравнения (6.27 – 6.27b) эквивалентны благодаря тождественным математическим преобразованиям (6.24) и (6.26).

Второе уравнение математических моделей (6.26), (6.27) активного интегратора [23, 27] сопоставляют потенциалу U контура U - e - U схемы замещения (см. табл. 6.1, 2а) согласно второму правилу Кирхгофа с учетом избыточности усиления $-\beta$ -направленного электрического графа e - U :

$$U = -\beta e, \quad (6.28)$$

вид которого одинаков для первых уравнений с проводимостями Y_c (6.26) и токами I_c (6.27). Уравнение (6.28) удобно представить условием нормы потенциала e :

$$e = -U / \beta, \quad (6.28a)$$

которое при выполнении избыточности усиления $\beta \rightarrow \infty$ соответствует закономерности

$$\text{opt}_{\beta \rightarrow \infty} e = e_0 = 0 \quad (6.28б)$$

нормированного нулю виртуального потенциала e_0 относительно «бесплатного» эталона «земли». Индуцирование нулевого виртуального потенциала относительно нулевой меры «земли» приводит к гальванической развязке по току выходного напряжения U усилителя относительно входного U_1 сигнала [23]. Системы уравнений (6.26), (6.28) и (6.27), (6.28) служат математическими моделями интегратора на усилителе с электрической схемой (табл. 6.1, 2а) и граф-схемой замещения нормированной функции в мнемонических координатах.

Условие (6.28а) подставляют в первые уравнения (6.26), (6.27), исключают неизвестный потенциал e и получают тождественные математические модели активного интегратора с мнемосхемой (табл. 6.1, 2а). Уравнениям (6.26а) и (6.26б) соответствуют модели в комплексных переменных

$$-\frac{U}{\beta}(Y + j\omega C) = U_1 Y + j\omega CU \quad (6.29)$$

и в операторной области

$$-\frac{U}{\beta}(Y + PT) = U_1 PTU, \quad (6.29a)$$

тождественные между собой. По аналогии с выражениями (6.29) первые уравнения (6.27) с учетом условиями (6.28а) приводят к тождественным математическим моделям дифференциального вида из (6.27а):

$$T \frac{dU}{dt} - \frac{U}{\beta} = U_1, \quad (6.30)$$

в комплексных переменных согласно (6.27б)

$$\frac{-YU}{\beta} = YU_1 + j\omega CU, \quad (6.30a)$$

а также в операторной области в соответствии с (6.27в)

$$U(P + 1/\beta) = -U_1. \quad (6.30б)$$

Математические модели (6.29) и (6.30) нелинейны из-за отсутствия закономерности (6.28б) избыточности усиления, при выполнении которой эти модели тождественны линейным образам дифференциального уравнения, следующего из зависимости (6.29)

$$T \frac{dU}{dt} = U_1, \quad (6.31)$$

в комплексных переменных согласно (6.29а) и (6.30а)

$$0 = YU_1 + j\omega CU, \quad (6.31a)$$

а также в операторной форме согласно (6.29б) и (6.30б)

$$0 = U_1 + PTU. \quad (6.31б)$$

Модели (6.31 – 6.31б) реализуют простую структуру и приводят к линейным преобразованиям амплитуды. Математические модели служат основой создания исследуемых динамических характеристик и линейных эквивалентов при конкретизации границ диапазона и выполнении закономерных условий.

6.4.3. Динамические характеристики. Динамические характеристики классифицируют [23 – 27] на дифференциальные и интегральные по операторам исчисления, а также амплитудные и нормированные по их счислению в абсолютных значениях амплитуды и относительных коэффициентах преобразования в нормированном диапазоне $\{0, 1\}$. Динамические характеристики преобразуют математические образы $F(\Phi)$ в метрологические $F(\varepsilon)$ для оценки их эффективности и наглядного представления эквивалентами диаграмм.

Дифференциальные характеристики пассивного интегратора (табл. 6.1, 1а) синтезируют [23, 27] в процессе анализа математических моделей (6.23), (6.24) операторами вычисления по стандартным правилам схемотехники с представлением зависимости $U(E, t)$ выходного U сигнала от входного E слева направо. Переходная характеристика является результатом решения математической модели (6.23) при делении правой части уравнения на скобку левой части:

$$U = E \frac{Y}{Y + Y_c} . \quad (6.32)$$

Нормированную переходную характеристику формируют из выражения (6.32) при делении числителя и знаменателя на проводимость Y_c для организации линейного эквивалента ИКР $k_0 = Y / Y_c$:

$$U = E \frac{k_0}{1 + k_0} . \quad (6.32a)$$

Переходные характеристики в комплексной (для $Y_c = j \omega C$) форме

$$U = E \frac{Y}{Y + j \omega C} \quad (6.32б)$$

и операторном пространстве, с учетом замены $T = C/Y$ и оператора Лапласа $P = j \omega$, в виде

$$U = E \frac{1}{1 + PT} \quad (6.32в)$$

находят из исходной характеристики (6.32). Характеристики (6.32) представляют амплитуду сигнала в абсолютной форме единиц измерения (напряжения и тока, сопротивления и проводимости) для оценки исследуемой амплитуды относительно абсолютных мер. Для сопоставительного анализа различных форм сигнала служат относительные характеристики – коэффициенты преобразования k , например, по напряжению $k = U/E$, нормирующие исследуемый сигнал преобразования U относительно входного эквивалента E в единичном диапазоне $\{0, 1\}$. Коэффициент преобразования меньше единицы называют коэффициентом деления (ослабления), а больше единицы – коэффициентом усиления (умножения) [23 – 27].

Характеристики коэффициента деления пассивного интегратора организуют из переходных характеристик (6.32) за счет деления амплитуд:

$$k = U/E = \frac{Y}{Y + Y_c} . \quad (6.33)$$

Нормированный коэффициент деления k позволяет оценить эффективность преобразования сигнала относительно линейного эквивалента ИКР $k_0 = Y / Y_c$, его получают из характеристики (6.32a):

$$k = \frac{k_0}{1 + k_0} . \quad (6.33a)$$

Анализ выражения (6.33а) показывает нелинейность коэффициента k относительно линейного эквивалента k_0 и его ослабление (деление), так как знаменатель всегда больше числителя. Тожественность исследуемого нелинейного коэффициента k оптимальному эквиваленту k_0 , как показывает качественная оценка (6.33а), выполняется [23, 27] при условии единичного значения знаменателя, отражающего линейность $\Psi = 1 + k_0$, что соответствует закономерности

$$\text{opt}_{\Psi \rightarrow 1} k = k_0, \quad (6.33б)$$

и следует при условии

$$\text{opt}_{k_0 \rightarrow 0} \Psi = \Psi_0 = 1. \quad (6.33в)$$

Нормирование линейности (6.33в) единичной мере эквивалента Ψ_0 возможно при нулевом пределе k_0

$$\lim k_0 = Y/Y_c = 0, \quad (6.33г)$$

что требует условия бесконечности Y_c и обнуления Y . Это соответствует схеме пассивного делителя (см. табл. 6.1, 1а) с обрывом резистора из-за бесконечно большого сопротивления $R = 1/Y$ или короткому замыканию конденсатора с нулевым сопротивлением $Z_c = 1/Y_c$. Условие (6.33г) противоречит физике и схемотехнике, выполнимо лишь в момент ($t = 0$) включения RC -цепочки. Линейность (6.33б) регламентирует избыточность усиления, а это инверсно требованию (6.33, г).

Характеристики коэффициентов в комплексной и операторной форме организуют из тождественных математических моделей (6.23а) и (6.23б) по аналогии с преобразованиями выражения (6.23) в зависимости (6.33) и (6.33а). Аналогично делителю синтезируют характеристики коэффициента усиления $k = U/U_1$ по выражениям (6.29а) и (6.29б), (6.30а) и (6.30б).

Дифференциальные характеристики усиления активных интеграторов [27] получают в процессе преобразований тождественных моделей (6.29) и (6.30). Например, выражениям (6.29), тождественным обобщенной характеристике

$$-\frac{U}{\beta}(Y + Y_c) = U_1 Y + Y_c U,$$

соответствуют преобразования подобных членов:

$$U \left(Y + \frac{Y + Y_c}{\beta} \right) = -U_1 Y$$

и деление уравнения на выражение в скобках левой части:

$$U = -\frac{U_1 Y}{Y + (Y + Y_c)/\beta} \quad (6.34)$$

для синтеза характеристики усиления в дифференциальной форме (6.34). Нормированная характеристика следует из обобщенной (6.34) при введении линейного эквивалента $k_0 = Y/Y_c$:

$$U = -\frac{U_1 k_0}{1 + (1 + k_0)/\beta}. \quad (6.34a)$$

Тождественные выражениям (6.34) и (6.34a) передаточные характеристики в комплексных переменных и операторной форме находят по моделям (6.29а) и (6.29б).

Характеристики коэффициентов усиления получают из выражений (6.34) при замене $k = U/U_1$, тождественных им по моделям (6.30), рассчитывают коэффициент $k(\omega)$ в комплексной форме при замене $\omega_0 = Y/C$:

$$k(\omega) = -\frac{1}{(1/\beta + j\omega/\omega_0)}, \quad (6.35)$$

а также в операторах $P = j\omega$ Лапласа $k(P)$

$$k(P)U/U_1 = -(P/\omega_0 + 1/\beta)^{-1}. \quad (6.35a)$$

Математические модели в дифференциальных уравнениях делителя (6.27а) и усилителя (6.30) служат и характеристиками пассивного и активного интеграторов из-за неявной формы представления выходного сигнала U , их итерационный анализ осуществляют по рекуррентным соотношениям.

Интегральные характеристики интеграторов находят [23, 27] из решения дифференциальных уравнений (6.26) и (6.27), (6.29) и (6.30) или по характеристикам (6.32) и (6.33), 6.34) и (6.35) делителя и усилителя напряжения.

Интегральная характеристика пассивного делителя находится [27], например, из дифференциального уравнения (6.24а) после разделения переменных

$$dU = \frac{1}{T}(E - U)dt \quad (6.36)$$

и интегрирования (6.36) по частям. Пределы интегрирования определяет схема (табл. 6.1, 1а) или желаемый диапазон по времени (или

амплитуде) диаграмм характеристик. Диапазон по напряжению регламентирует разница потенциалов на обкладках конденсатора C (см. табл. 6.1, 1а), которая соответствует нулевому потенциалу земли в начале заряда конденсатора и выходному потенциалу U в момент времени t заряда. Это определяет начальные условия $\{U_0, t_0\} = \{0, 0\}$ нулевого уровня и граничные $\{U, t\}$ значения интегрирования уравнения (6.36)

$$\int_0^U dU = \frac{1}{T} \int_0^t (E - U) dt,$$

из которого следует после подстановки пределов по напряжению

$$\int_0^U dU = U|_0^U = U - 0 = U,$$

интегральная динамическая характеристика

$$U = \frac{1}{T} \int_0^t (E - U) dt. \quad (6.36a)$$

Характеристика коэффициента деления $k = U/E$ согласно выражению (6.36а) имеет нелинейный вид

$$k = \frac{1}{T} \int_0^t (1 - k) dt, \quad (6.36б)$$

из-за неявного представления k под интегралом и перед ним (см. табл. 6.1, 1в). Линейный эквивалент k_0 определяется из выражения (6.36б) для $k = 0$:

$$k_0 = \frac{1}{T} \int_0^t dt, \quad (6.36в)$$

при котором постоянному входному сигналу $E = \text{const}$ соответствует линейно нарастающий $k_0 = t/T$, а линейному Et воздействию удовлетворяет отклик параболической функции $k_0 = t^2/T$ (см. табл. 6.1, 2в).

Нормированная характеристика коэффициента k относительно эквивалента k_0 (6.36в) представляется сложной зависимостью

$$k = k_0 \left[1 - \frac{1}{Tk_0} \int_0^t (k_0 - k) dt \right], \quad (6.36\text{г})$$

где нелинейность [23 – 27] определяется выражением в квадратных скобках, ее оценке соответствуют условия (6.33б) – (6.33г), реализующие линейность преобразования пассивным интегратором. Интегральную характеристику (6.24в) экспоненциального вида находят классическим решением дифференциального уравнения (6.24а), а нормированная характеристика k относительно линейного эквивалента $k_0 = U / E$ определяется уравнением

$$k = k_0 (1 - e^{-t/T}) T / t \quad (6.36\text{д})$$

с высоким уровнем нелинейности, диктуемым закономерностями (6.33б) – (6.33г) пассивного интегратора.

Интегральная переходная характеристика исследуемого инвертора (табл. 6.1, 2а) следует из решения дифференциального уравнения (6.30) при разделении переменных интегрирования

$$dU = \frac{1}{T} (U_1 + U / \beta) dt \quad (6.37)$$

и определения начальных и граничных условий. Условия регламентируют потенциалы на обкладках конденсатора C (см. табл. 6.1, 2а), включенного в обратную связь между узлами с потенциалами $e = -U / \beta$ и U . Это определяет начальные условия $\{U_0, t_0\} = \{e, 0\}$ и граничные $\{U, t\}$ значения интегралов выражения (6.37)

$$\int_e^U dU = \frac{1}{T} \int_0^t (U_1 - U / \beta) dt$$

из которого следует после подстановки пределов по напряжению

$$\int_e^U dU = U \Big|_{U/\beta}^U = U(1 - 1/\beta)$$

интегральная динамическая характеристика

$$U = \frac{1}{T} \int_0^t \frac{U_1 - U / \beta}{1 - 1/\beta} dt. \quad (6.37\text{а})$$

Характеристика коэффициента усиления $k = U / U_1$ согласно зависимости (6.37а) нелинейна

$$k = \frac{1}{T} \int_0^t \frac{1-k/\beta}{1-1/\beta} dt \quad (6.37б)$$

из-за неявного представления k . Линейный эквивалент k_0 следует из характеристики (6.37б) при выполнении закономерности (6.28б) избыточности усиления:

$$k_0 = \frac{1}{T} \int_0^t dt, \quad (6.37в)$$

достигаемой в интегральных схемах различного уровня. Следует отметить тождественность эквиваленту (6.37в) решения линейных дифференциальных уравнений (6.31), покажем это на примере операторного выражения (6.31б). В модели (6.31б) разделим переменные

$$PTU = -U_1$$

и представим дифференциальной характеристикой

$$U = -U_1 / PT, \quad (6.38)$$

а также коэффициентом $k_0(P)$ в операторной форме

$$k(P) = -\frac{1}{PT}. \quad (6.38а)$$

Преобразование Лапласа приводит отображение (6.38а) к интегральной характеристике, тождественной линейному эквиваленту k_0 (6.37в).

6.4.4. Анализ диаграмм характеристик. Диаграммы синтезируют в метрологическом пространстве $F(\varepsilon)$ методами аналогии (см. табл. 6.1, 1в и 2в) по математическим образам $F(\Phi)$ динамических характеристик для оценки их эффективности. Электрификация и информатизация, автоматизация и механизация создают инновации по тождественным принципам аналогии и эквивалентности, инверсии и симметрии различных сфер науки и техники, искусства и культуры [23 – 28].

Моделирование динамических характеристик доказывает тождественность функций в основных формах представления схемотехники (табл. 6.1, 1а и 2а), математики (табл. 6.1, 1б и 2б) и физики (табл. 6.1, 1в и 2в) за счет принципов аналогии и эквивалентности, инверсии и симметрии в топологии схем и адресации мнем (программ),

операторах вычисления (счисления и исчисления) и процессах преобразования (обмена энергией и преобразования сигнала, управления структурой и программирования связей).

Алгоритм моделирования форм представления функций включает целенаправленную последовательность: физическое моделирование исследуемых явлений электрическими и мнемоническими схемами (табл. 6.1, 1а и 2а), моделирование по схемам замещения математических моделей (табл. 6.1, 1б и 2б) нелинейных функций и условий их линеаризации, исследуемых динамических характеристик и линейных эквивалентов, из тождественности которых выявляют закономерные условия ИКР и меры границ диапазона для моделирования экспериментальных временных (табл. 6.1, 1в и 2в) и частотных диаграмм (табл. 6.1, 1г и 2г) и метрологической оценки их адекватности динамическим характеристикам физики явления.

Синтез и анализ схем пассивного и активного интегратора (табл. 6.1, 1, 2) постулируют принципы микросхемотехники по аналогии с физикой явления и информационных процессов за счет тождественности математических операторов вычисления, регламентируемые метрологической эффективностью. Качественный анализ схем интеграторов (табл. 6.1, 1а и 2а) по тождественности моделируемых характеристик физическим эквивалентам (табл. 6.1, 1в и 2в) доказывает линейное преобразование интегральных схем с избыточным усилением относительно нелинейности пассивного RC-делителя.

Количественно оценить эффективность схем позволяет физическое и математическое моделирование динамических функций методами оптимизации ИКР по сигнальным графам и тождественным эквивалентам (табл. 6.1, 1а и 2а). Мнемосхемы сигнальных графов тождественны преобразованию исследуемого сигнала в функциональных узлах, поэтому схемы замещения синтезируют по аналогии топологии электрических схем различного уровня иерархии к нормированным функциональным образам мнемосхем.

Математические модели (табл. 6.1, 1б и 2б) создают по схемам замещения (табл. 6.1, 1а и 2а), тождественным правилам Кирхгофа для узловых потенциалов и контуров тока. Тождественность математических моделей подтверждают тождественные преобразования физических образов схем в математические эквиваленты по законам непрерывности тока и сохранения энергии в электрической цепи, согласно тождественным операторам счисления и исчисления. Примеры анализа методом эквивалентов доказывают тождественность моделей в дифференциальном и интегральном представлении в частности, а также тождественность математических образов в целом.

Исследуемые динамические характеристики и линейные эквиваленты вычисляются по математическим моделям (табл. 6.1, 1б и 2б) при конкретизации границ диапазонов и выполнении нормированных условий тождественных операторов исчисления. Доказана тождественность динамических характеристик интегральных и дифференциальных, комплексных и операторных по исчислению, а также амплитудных и нормированных по метрологической оценке в абсолютных значениях и относительных коэффициентах процессов преобразования. Динамические характеристики преобразуют математические образы в тождественные метрологические эквиваленты для оценки эффективности и наглядного представления графиками диаграмм (табл. 6.1, 1в и 2в).

Показана тождественность различных форм представления диаграмм переходных и амплитудно-временных (табл. 6.1, 1в и 2в), амплитудно- и фазочастотных (табл. 6.1, 1г и 2г) характеристик, реализованных методами оптимизации исследуемых преобразований тождественности линейных эквивалентов схемотехники, математики и физики по закономерностям анализа и синтеза для их систематизации в технологию проектирования микропроцессорных средств. Доказана адекватность физике процессов преобразования информационная технология проектирования, как целенаправленная последовательность физического моделирования электрических и мнемонических схем и тождественных им математических эквивалентов моделей и характеристик, метрологического моделирования эквивалентов диаграмм и правил оценки эффективности.

1. Представлена схемотехника пассивного и активного интегратора в топологии электрических и мнемонических схем для анализа физики процессов преобразования методами математического моделирования.

2. Синтезированы по схемам замещения интеграторов тождественные эквиваленты математических моделей на проводимостях и токах в дифференциальной и интегральной формах для моделирования динамических характеристик.

3. Промоделированы тождественные линейным эквивалентам, динамические характеристики в интегральных и дифференциальных, комплексных и операторных исчислениях для абсолютной и относительной оценки амплитудных и нормированных преобразований.

4. Проанализированы адекватные процессам преобразования графики диаграмм переходных и амплитудно-временных, амплитудно- и фазочастотных характеристик, подтверждающие тождественность закономерностей анализа и синтеза схемотехнических, математических и метрологических моделей для создания информационной технологии проектирования линейных интегральных схем.

6.5. СТАНДАРТЫ И ОПТИМИЗАЦИЯ

Проанализированы стандарты проектирования и оценок жестких структур тестеров для их оптимизации в информационную технологию творчества в виде интеграла технологий проектирования и идентификации универсального математического обеспечения и адаптивных метрологических средств компьютерных анализаторов ЦПС. Высокоэффективные метрологические средства с a priori оптимальными характеристиками и параметрами, нормируемыми мерами границ диапазона и адаптивными эквивалентами автоматического контроля, простыми алгоритмами и моделями в явной форме, согласованные с компонентами компьютерных анализаторов – длительный процесс совершенствования жесткой структуры и аппаратных алгоритмов узкоспециализированных тестеров с регламентированными принципами функционирования и стандартной оценкой результатов *post factum* [21 – 29]. Вектор развития метрологических средств обусловлен становлением эвристических методов проектирования фиксированных форм представления схемотехники, математики и физики к регламентированным оценкам *post factum* структурных схем и формул, таблиц истинности и временных диаграмм по стандартным правилам субъективной статистики для систематизации оптимальных методов анализа и синтеза в информационные технологии проектирования интегральных компонент и идентификации аппаратных и метрологических средств, математического и программного обеспечения по эквивалентам с a priori оптимальными характеристиками.

Цель: изучить закономерности систематизации анализа и синтеза форм представления функции в информационные технологии проектирования компонент компьютерных анализаторов и идентификации с оптимальной эффективностью.

Задачи:

1. Проанализировать стандартное проектирование при синтезе компонент и признаков жестких структур итерационным анализом циклических алгоритмов и оценить их эффективность;
2. Рассмотреть алгоритмы функционирования и градуировки жесткой структуры для выявления вектора развития узкоспециализированных тестеров на создание интеллектуальных МИС;
3. Сопоставить синтез жесткой структуры итерационным анализом с технологией проектирования интегральных схем;
4. Оценить эффективность результатов итерационного анализа и технологии проектирования по закономерностям;
5. Выявить и оценить закономерности высокоэффективных метрологических средств технологии идентификации;
6. Сравнить градуировку тестеров с методами повышения эффективности технических средств и научного обеспечения.

6.5.1. Стандарты проектирования (табл. 6.2). Эвристические методы синтеза форм представления схмотехники реализуют итерационный анализ исследуемой схемы (таблицы кодов, структурной формулы или градуировочной характеристики) для модернизации прототипа в техническое решение с рациональными признаками субъективных требований, не учитывающих закономерности науки и техники, технологии творчества (искусства) и объективных норм культуры.

Эвристическое проектирование организует циклический алгоритм анализа прототипа и поиск критериев, создание модернизаций и выбор наилучшей (см. табл. 6.2, 1а).

1. Анализ прототипа проводят, как правило, по одной из форм схмотехники тестеров с жесткой структурой. Чаще всего синтезируют структурную формулу или переходную характеристику фиксированного алгоритма для выявления критериев оценки комбинаторных признаков принципа действия. Формы представления прототипа, выбранного эвристически, анализируют рациональными операторами счисления и исчисления, которые составляют объективные теоретические знания микроэлектроники для эффективного применения на практике математического аппарата электротехники. Однако мощный арсенал анализа не позволяет напрямую, кратчайшим путем выявить необходимый критерий оценки, что приводит синтез модернизации к итерационному перебору случайных решений с неопределенными оценками.

2. Выявляют критерий оценки поиском разумных характеристик и параметров, мер и оценок итерационным анализом по циклическому алгоритму последовательного приближения к лучшему решению. Простота метода перебора приводит к необозримо по закону произведения факториалов $i! * j! * k! * l!$ циклическому сравнению i -х характеристик ($i = \overline{1, n}$) и j -х параметров ($j = \overline{1, m}$), k -х мер ($k = \overline{1, r}$) и l -х оценок ($l = \overline{1, s}$). Незнание объективных закономерностей проектирования и творчества создает трудоемкий хаотический (комбинаторный) выбор случайных характеристик и неинформативных параметров, ненормированных мер и субъективных оценок, инициирующих бессистемный банк псевдоноваций в виде комбинаторных образов с незначимыми компонентами и эфемерными признаками.

3. Создание банка данных значимых компонент (искомых схем и алгоритмов, способов и критериев) с рациональными признаками (структурами и связями, операторами и сигналами, составом и свойством) позволяет выявить доминирующие признаки и существенные компоненты. Банк данных расширяет номенклатуру аналогов в результате поиска и выявляет доминанты, ограничивает безрезультатные операции для систематизации модернизаций и интеграции в мастерство рутины ремесла.

6.2. Сопоставительная таблица

	1. Стандарты (post factum)	2. Оптимизация (a priori)
	1. Анализ прототипа за счет синтеза компонент R, T, Φ, ε	
а) Проектирование	<p>2. Поиск рациональных характеристик и параметров, мер и оценок итерационным анализом.</p> <p>3. Создание банка данных компонент (схем, программ) с рациональными признаками.</p> <p>4. Эвристический анализ компонент по признакам для синтеза псевдоновации</p>	<p>2. Задание эквивалентов по закономерностям.</p> <p>3. Синтез условий оптимизации при тождественности компонент и признаков прототипа эквивалентам.</p> <p>4. Синтез инновации с оптимальными эквивалентами за счет реализации закономерностей в прототипе</p>
б) Оценки	<p>1. Ранжирование post factum по признакам (класс точности, срок службы) измеренных переменных множества случайных объектов.</p> <p>2. Аппроксимация post factum градуировочной характеристики результатов измерений с информативными переменными статистическим анализом.</p> <p>3. Вычисление post factum по ГОСТ отклонения результатов экспериментальной функции от градуировочной характеристики по статистическим признакам (мерам, критериям).</p> <p>4. Сравнение оценок с регламентом для подтверждения post factum метрологической аттестации</p>	<p>1. Выбор a priori нормированных метрологических средств (методов и критериев оптимизации, характеристик и параметров, моделей и алгоритмов повышения эффективности).</p> <p>2. Калибровка a priori измеренных характеристик и регистрируемых параметров при оптимизации алгоритмов по эквивалентам с нормированными признаками.</p> <p>3. Оценка a priori метрологической эффективности калибровочной характеристики для измерений в адаптивном диапазоне по образцам границ нормоконтроля.</p> <p>4. Измерение a priori действительных значений характеристик и параметров объектов для их ранжирования по признакам (уровни защиты, время на отказ)</p>

Итерационный анализ рутинных циклов постепенно выявляет и накапливает удачные решения и творческие приемы, из которых со временем проявляются закономерности, систематизирующие анализ и синтез в технологии проектирования и творчества для создания инноваций и воспитания мастеров.

4. Эвристический анализ компонент по признакам синтезирует рутинным перебором псевдоновации и накапливает методом проб и ошибок мастерство, воспитывающее изобретателя для созидания по информационным технологиям инноваций, интегрирующих в компоненты закономерности признаков.

Следовательно, стандартное проектирование заключается в синтезе компонент и признаков жестких структур итерационным анализом циклических алгоритмов последовательного приближения прототипа к псевдоновации с множеством несогласованных форм представления с эфемерными признаками. Недостатки продиктованы жесткими структурами с фиксированными связями, копирующими по аналогии неуправляемые принципы действия незначимыми компонентами по ненормированным критериям, которым не требуются прямые методы синтеза по закономерностям и высокий уровень мастерства из-за примитивных операций ремесленничества статистического перебора множества несопоставимых аналогов по субъективным оценкам.

6.5.2. Стандарты оценок (табл. 6.2, 1б). Стандарты оценок эффективности регламентируют правила классической метрологии ГОСТ, систематизирующие требования аттестации приборов с жесткой структурой и фиксированными связями, копирующими неуправляемые принципы функционирования и проектирования узкоспециализированного тестера с уникальной градуировочной характеристикой статистического анализа множества случайных измерений, связанных по субъективным правилам аппроксимации с искомыми результатами эксперимента.

Эвристическая оценка включает ранжирование измерений и градуировку результатов, вычисление отклонений и заключение аттестации.

1. Ранжирование по признакам (класс точности, уровень безопасности, срок службы, время на отказ) измеренных переменных множества случайных объектов для их представления в информативные параметры сигналов, в соответствии с правилами ГОСТ [21, с. 77–78]. Преобразование измеренных параметров в искомые результаты осуществляют по неизвестным а priori функциональным зависимостям из-за незнания физических закономерностей. Для получения неизвестной функции статистический анализ рекомендует множество измерений

случайных величин. Однако измеренные переменные связаны между собой нелинейно по неизвестной функции, аналогично по инверсной функции зависят друг от друга информативные параметры сигналов. Поэтому незнание градуировочной функции между нелинейными измерениями и параметрами с увеличением количества циклов измерения лишь расширяет дисперсию среднестатистической зависимости, которая характеризует среднестатистический объект, не существующий в природе. Наоборот, при сокращении измерений градуировочная функция линеаризуется во множество произвольных прямых, приводящих к субъективной оценке случайного процесса.

Следовательно, количество измерений отражает неопределенный диапазон множеством случайных прямых, ограниченных возрастающей дисперсией нелинейной функции среднестатистического объекта. Поэтому ранжирование по признакам измеренных переменных и информативных параметров повышает вероятность выбора лучшей линейной функции в заданном диапазоне или соответствующих поддиапазонам прямых, регламентирующих аппаратно управляемые алгоритмы узкоспециализированных тестеров.

2. Аппроксимация нелинейной среднестатистической функции неуправляемой градуировочной характеристикой жестко связывает по аналогии фиксированными связями информативные параметры с искомыми результатами статистическим анализом. Неуправляемая градуировка обусловлена жесткой структурой тестера с фиксированными аппаратными связями, но и неизменяемая градуировочная характеристика также инициирует примитивные принципы функционирования с жесткими алгоритмами и аналогичными структурами и аппаратными связями узкоспециализированного тестера.

Следовательно, жесткие неуправляемые структуры принципиальных схем и градуировочных характеристик с фиксированными связями топологии и однозначными при копировании параметрами узкоспециализированных тестеров – неоправданная плата за незнания закономерностей науки и техники.

3. Вычисление по ГОСТ отклонения результатов экспериментальной функции от градуировочной характеристики по статистическим признакам субъективных оценок – очередная расплата за незнание закономерностей информационных технологий творчества и культуры. Жесткие структуры тестеров требуют жестких алгоритмов метрологической аттестации с примитивными расчетами статистических оценок точности. Но отсутствие нормированных мер и адаптивных критериев заменяет объективную аттестацию на субъективную поверку воспроизводимости тестирования.

Вычисляют отклонения как информативных параметров от градуировочной характеристики, так и искомым результатов. Информативными параметрами называют [21, с. 78 – 80] параметры сигнала, функционально связанные с измеряемой величиной. В тестерах с жесткой структурой и неуправляемой градуировочной характеристикой информативными параметрами служат, как правило, мгновенные значения амплитуды (напряжения или тока, сопротивления или проводимости), времени (широты или длительности, частоты или фазы), а также их числового эквивалента в коде (последовательном, параллельном или смешанном). В зависимости от способа получения результата измерения [21, с. 31–32] (прямые или косвенные, совместные или совокупные) градуировочные характеристики нормируют сигналы (аналоговые, импульсные или цифровые) или связывают информативные параметры преобразования сигнала (аналого-импульсные, импульсно-цифровые, цифроаналоговые), градуируют измеряемые значения или линеаризуют их по функциональным зависимостям с результатами измерений. Из-за жестких алгоритмов нормирования или преобразования, градуировки или линеаризации вычисляемые отклонения входных и выходных переменных от градуировочной характеристики также определяются статистическим анализом и требуют оценки результатов измерений после эксперимента (*post factum*).

Следовательно, жесткая структура, копирующая по аналогии неуправляемые алгоритмы градуировки, также требует *post factum* статистической оценки отклонений от градуировочной характеристики, как информативных параметров сигнала, так и результатов тестирования из-за незнания закономерностей.

4. Сравнение оценок с требуемым регламентом необходимо для подтверждения *post factum* точности градуировочных измерений в фиксированном диапазоне по статистическим критериям (среднему арифметическому или геометрическому, квадратическому или гармоническому), а также для метрологической аттестации воспроизводимости результатов градуировки по критериям разброса (рассеяния измерений), например, математическому ожиданию или дисперсии. Метрологическая аттестация организуется оператором после проведения единичных замеров или серии измерений. Диалоговый режим оператора с тестером снижает оперативность и приводит к субъективной оценке, что тормозит автоматизацию аналитического контроля.

Сравнение результатов с заданными нормами – основа измерения и преобразования, контроля и управления, регулирования и оценки. Алгоритм, например, контроля включает сравнение измеренной величины с требуемым условием. При выполнении условия – продолжает-

ся основной режим, а при превышении допуска – реализуется инверсный режим (выключения или стабилизации, защиты или сигнализации). В тестерах автоматизация условий трудоемка из-за жесткой структуры и неуправляемых алгоритмов, поэтому используют диалоговый режим принятия решения оператором *post factum*. Повышение эффективности оценки и контроля инициирует оператор сравнения, предлагающий гибкий алгоритм по нормированным условиям, без диалогового режима с субъектом *post factum*, а автоматически а priori, что требует создания интеллектуальных МИС.

Следовательно, неуправляемые алгоритмы функционирования и градуировки продиктованы жесткой структурой с фиксированными связями, копирующими по аналогии эти алгоритмы, исключающие их универсальность и требующие оценку результатов измерений в диалоговом режиме после проведения эксперимента из-за незнания закономерностей мировоззрения творчества. Вектор развития узкоспециализированных тестеров направлен на создание интеллектуальных МИС с автоматическими условиями контроля, которые инициирует оператор сравнения (анализа) с гибким алгоритмом по закономерным условиям автоматизации аналитического контроля а priori.

6.5.3. Оптимальное проектирование (табл. 6.2, 2а). Оптимальное проектирование реализует МИС с согласованными компонентами: упорядоченными матричными схемами и гибкими программами, инициирующими программно управляемую архитектуру по универсальным моделям и линейным алгоритмам с высокоэффективными метрологическими средствами. В основу проектирования согласованных компонент МИС положены методы оптимизации по производным и по тождественности исследований эквивалентам (см. п. 6.4).

Информационные технологии систематизируют закономерности анализа и синтеза схемотехники, естественных и гуманитарных наук, выявленные изнурительным синтезом форм представления тестеров циклическими методами проб и ошибок. Методы итерационного анализа в результате трудоемкого ремесленничества последовательным приближением приводят, как правило, к псевдоновациям за счет подгонки к фантому с эфемерными характеристиками. Существенным отличием информационных технологий служит прямой метод целенаправленного синтеза оптимального результата с желаемыми характеристиками, выбранными а priori по известным закономерностям. Например, по закономерностям избыточности, равновесия и нормирования «в лоб» синтезируют ассоциативные матричные архитектуры с линейными характеристиками и без дрейфа, с нормированными результатами и гальванической развязкой [23 – 29].

Тождественность по эквивалентам включает последовательность действий: анализ прототипа и задание эквивалентов, синтез условий и инноваций.

1. Анализ прототипа аналогичен стандартам проектирования за счет синтеза компонент R , T , Φ , ε МИС мощным математическим аппаратом электротехники с соответствующими базисам микроэлектроники операторами счисления и исчисления (см. п. 6.1). При этом математические операторы дифференцированы по способам преобразования сигналов (аналоговые, импульсные, цифровые) и управления структурами (пространство R , время T , функция Φ) для ИС и СИС, программирования связей БИС (интерфейсов памяти, ввода-вывода и микропроцессоров) и вычисления параметров ПК (микрокалькуляторы, микро- и мини-ЭВМ), измерения характеристик МИС и накопления данных МПС. В отличие от анализа комбинаторных схем прототипа-тестера по жестким формам алгоритмов преобразования, управления и вычисления методами итерации, организован прямой анализ базисных структур аппаратных средств в матричной логике по информационным принципам аналогии и эквивалентности, инверсии и симметрии [22 – 25] для их систематизации в информационные технологии проектирования и идентификации.

Результатом анализа являются интегральные схемы с реальными характеристиками исследуемого прототипа, которые оптимизируют по условиям тождественности эквивалентам.

2. Задание эквивалентов с желаемыми характеристиками организуют по закономерностям последовательных, параллельных и смешанных соединений [23, с. 129 – 149] для программного управления связями гибкой архитектуры БИС. По известным закономерностям выбирают компоненты с желаемыми оптимальными характеристиками, например, линейным преобразованием или исключением дрейфа. Характеристики с желаемыми признаками по закономерностям принимают за эквиваленты. Эквивалентами могут служить схемы и программы, модели и алгоритмы, статические и динамические характеристики, образцовые сигналы и нормированные меры, известные составы и свойства объектов или субъектов. Эквиваленты на любом уровне иерархии компонент считают идеальным конечным результатом (ИКР), соответствующим искомому решению задачи оптимизации [24, с. 112 – 116].

В технологии проектирования решениями задач оптимизации служат эквиваленты по известным закономерностям для создания инновации по целенаправленным правилам оптимизации прототипа. Результатами итерационного анализа являются псевдоинновации, которые подгоняют под ответ методами проб и ошибок по произвольным характеристикам и эффективным мерам из-за отсутствия эквивалентов и закономерностей.

Эквиваленты различного уровня компонент и признаков используют на третьем шаге алгоритма оптимизации для поиска неизвестных условий и закономерностей.

3. Синтез условий оптимизации осуществляют при тождественности компонент и признаков прототипа эквивалентам ИКР. Синтез условий позволяет проводить как качественную, так и количественную оценку оптимизации. Качественная оптимизация [23, с. 143 – 145] заключается в определении при тождественности исследуемой функции эквиваленту невязки с неизвестной зависимостью несоответствия ИКР. Качественными условиями оптимизации служат предельные значения неизвестных характеристик и оценок эффективности, например, единичные значения нелинейности или точности, нулевые меры относительной погрешности или виртуальной земли (см. п. 6.2, 6.3).

Количественная оптимизация [23, с. 145 – 148] вычисляется по строгим правилам математического анализа исследуемой характеристики по производной выбранной аргументу исследуемой переменной в соответствии с заданным критерием оценки. Производную находят как методами индукции, так и методами динамического программирования. Количественными условиями кроме качественных могут быть также бесконечности избыточной структуры топологии или ее параметров, предельные аналитические зависимости (нелинейности, погрешности) или предельные информативные параметры (критериев, мер оценки).

Выявление условий новых закономерностей по известным ранее развивает целенаправленно познание от простого к сложному для реализации ассоциативной матричной архитектуры с программно управляемым алгоритмом и явной моделью с оптимальными параметрами универсального математического обеспечения интеллектуального МИС. Исключение условий ИКР и незнание закономерностей информационных технологий проектирования МИС и творчества инноваций приводит к узкоспециализированным тестерам с жесткой структурой, копирующей по аналогии неуправляемые алгоритмы преобразования и градуировки.

4. Синтез инновации с оптимальными эквивалентами за счет реализации закономерностей в прототипе – заключительный этап информационной технологии оптимального проектирования интеллектуальных МИС. Задача сводится к интеграции дифференциальных компонент и признаков ИКР – оптимальных эквивалентов схемотехники, математики и физики, нормированных правил и мер (п. 6.4).

В отличие от итерационного анализа узкоспециализированного тестера с жесткой структурой комбинаторной логики, информационная технология соответствует созданию новой идеальной архитектуры

по целенаправленным правилам складывания оптимальных эквивалентов-кубиков по запланированному проекту в образе ИКР.

6.5.4. Оптимизация оценок (табл. 6.2, 2б). Рассмотрена оптимизация метрологических оценок за счет тождественности характеристик и мер нормированным эквивалентам для создания высокоэффективных метрологических средств МИС (см. п. 6.1 – 6.3).

Информационные процессы развивают жесткую структуру, копирующую аппаратно на комбинаторных схемах алгоритм градуировки тестера в гибкую матричную архитектуру с программно управляемыми связями систематизированного адресного пространства с нормированными алгоритмами коррекции, калибровки и идентификации МИС. Матричная архитектура за счет избыточности организует линейное преобразование в процессе структурной и параметрической оптимизации алгоритмов расчета информативных параметров калибровочных характеристик в адаптивном диапазоне по образцам с нормируемыми мерами границ аналитического контроля (см. п. 6.3).

Условиями эффективных метрологических средств служат адекватные физике контроля аналитические модели в явном виде с информативными параметрами, калибровочные характеристики и алгоритмы оптимизации параметров, программно управляемые критерии оценки и нормированные меры границ адаптивного диапазона. Закономерностями повышения эффективности являются постоянные единичного уровня нелинейность и точность, тождественность нулю погрешности и потенциала виртуальной земли, избыточность архитектуры и линейность преобразования, гальваническая развязка и согласованность компонент МИС. Стандартные правила и методы статистической оценки точности фиксированной градуировочной характеристики не учитывают закономерности повышения эффективности, и их применение приводит программно управляемую архитектуру с гибкими алгоритмами универсального математического обеспечения к уровню жесткой структуры узкоспециализированного тестера. Для измерения действительных результатов эксперимента рассмотрим объективную аппроксимацию калибровочной характеристики с оптимальной оценкой эффективности по нормированным мерам.

Оптимизационная оценка а ргіоі включает выбор нормированных средств и калибровку характеристик, подтверждение метрологической эффективности и измерение действительных значений.

1. Выбор а ргіоі нормированных метрологических средств предполагает создание методов и критериев оптимизации, нахождение нормированных характеристик и параметров границ адаптивного диапазона, проектирование моделей и алгоритмов повышения эффектив-

ности. Нормированные метрологические средства на всех уровнях иерархии принимают за желаемые эквиваленты с нормированными признаками. В отличие от статистических измерений множества нелинейных случайных объектов выбирают целенаправленные методы калибровки по двум измерениям, систематизированным по признакам известных объектов с нормированными характеристиками границ диапазона. За информативные параметры принимают предельные значения амплитуд (напряжений или токов, сопротивлений или проводимостей), так как их вектор развития направлен от мгновенных значений к удельным и через диффузионные к предельным нормам, которые отражают максимальные эквиваленты (см. 6.1.1). Предельные параметры однозначно характеризуют исследуемые физические величины, а нормированные по оптимальным закономерностям критерии автоматически адаптируются к изменяемым границам диапазона (см. п. 6.2.2). Подобие физических явлений предлагает математические модели в экспоненциальной форме с двумя информативными параметрами, однозначно определяющими вольтамперные и динамические характеристики, которые с искомыми величинами связаны через коррекцию и нормировку, калибровку и идентификацию соответствующими характеристиками по двум эквивалентам с нормированными мерами.

Следовательно, нормированными эквивалентами высокоэффективных метрологических средств служат экспоненциальные математические модели и нормированные характеристики, предельные параметры и нормируемые меры, оптимальные критерии и оценки эффективности.

2. Калибровка измеренных характеристик и регистрируемых параметров возможна при оптимизации алгоритмов по эквивалентам с нормированными признаками. Алгоритмы оптимизации информативных параметров находят из решения системы из двух уравнений, связывающих по нормированной характеристике измеренные и известные значения верхней и нижней границ диапазона [27, с. 87 – 134]. Это основное отличие калибровки от статистического анализа с многомерной системой n уравнений с множеством n случайных переменных, где находят приближенное решение n коэффициентов градуировочной характеристики методом наименьших квадратов.

Закономерные тождественности измерений эквивалентам упрощают и сокращают на порядки, до минимума качественную и количественную оптимизацию алгоритмов расчета только двух информативных параметров по измеренным и нормированным значениям границ диапазона.

3. Оценка метрологической эффективности калибровочной характеристики относительно эталонного эквивалента с нормированными параметрами осуществляется а priori для измерений в адаптивном

диапазоне по образцам границ нормоконтроля. Калибровочную характеристику отождествляют с эталонным эквивалентом при калибровке и действительной измеренной характеристикой эксперимента, нормированной относительно эквивалента при нормировке действительных значений. Метрологическую эффективность оценивают по относительной погрешности на нижней и верхней границах адаптивного диапазона для двух известных образцов с нормированными признаками.

В отличие от статистической градуировки по множеству нелинейных переменных с не перекрывающимися измерениями на аппаратно переключаемых поддиапазонах, программно управляемая калибровка по двум измерениям и нормируемым значениям образцов границ адаптивного диапазона на несколько порядков повышает точность и линейность диапазона контроля (см. п. 6.1).

4. Измерение а priori действительных значений характеристик и параметров объектов выполняют по нормированной характеристике с оптимальными информативными параметрами для их ранжирования по признакам (уровней защиты и риска). Калибровочная характеристика автоматически настраивается на действительную функцию при измерении адаптивного диапазона или параметрического и временного дрейфа за счет оптимизации информативных параметров по известным образцам с нормированными признаками. В отличие от усредненной градуировочной характеристики, оценивающей с неопределенной дисперсией среднестатистического объекта, оптимальная оценка дифференцирует калибровочную функцию на измерение действительных значений конкретного субъекта в адаптивном диапазоне с компенсацией параметрического, временного и температурного дрейфа (см. п. 6.3).

Очевидно, что высокоэффективные метрологические средства обусловлены структурной или параметрической избыточностью схем и программ, алгоритмов и характеристик архитектуры технических средств и континуума научного обеспечения.

6.5.5. Закономерности компонент МИС. Компоненты МИС по законам динамики [24, с. 116 – 119] интегрируются от структуры аппаратных средств в архитектуру программного обеспечения техники, от математического обеспечения – в метрологические средства науки. По закону динамизации жесткие структуры и фиксированные связи схем и программ техники, алгоритмов и характеристик науки развиваются по гибкости в программно управляемую архитектуру технических средств и систематизируемый по адресам континуум научного обеспечения. Законы динамики – неделимая совокупность законов динамизации (гибкости), интеграции (синтеза) и дифференциации (анализа), поэтому последний дифференцирует структуры и связи

компонент от комбинаторной и релейной логики к матричной, соответственно от фиксируемых неуправляемых и аппаратно управляемых соединений структур – к программно управляемым. При этом структуры и связи интегрируются в систематизированный по адресам континуум, который дифференцируется от последовательной и произвольной выборки данных по адресам – к ассоциативной выборке адресов по признакам эквивалентов.

Жесткая структура и фиксированные связи схем и алгоритмов, по аналогии копирующих среднестатистические градуировочные характеристики узкоспециализированных тестеров, по законам динамики интегрируются в гибкую программно управляемую архитектуру технических средств с избыточным континуумом научного обеспечения, дифференцированного к ассоциативной выборке адресов по признакам эквивалентов.

Способы аналитического контроля определяют математическое (МО) обеспечение МИС. Математические модели МО реализуются архитектурой МИС в виде программно управляемых алгоритмов, настраивающих гибкую структуру программируемых логических матриц БИС, за счет избыточных связей, на выполнение заданного способа контроля [29, с. 31–32]. Для реализации в полном объеме универсальности и многофункциональности архитектуры МИС необходимо проектирование программно управляемых сенсоров, которые используют гибкие алгоритмы и модели МО, отражающие перспективные способы определения состава и свойств веществ.

Сенсоры с программным управлением параметрами ПИП за счет адаптации к процессу контроля позволяют использовать инженерные математические модели с алгоритмами в явном виде, что соответствует нахождению МО в координатах метрологической симметрии, в которых процесс динамических измерений стационарен [29, с. 35]. При метрологической симметрии искомые параметры линейно связаны с управляющими воздействиями и измерительными величинами за счет виртуальных компенсационных измерений, организуемых оптимизацией информативных параметров к нормированным эквивалентам желаемой характеристики. Вектор развития методов физико-химического контроля направлен:

- от унитарных до универсальных алгоритмов контроля комплекса характеристик электрофизического, теплофизического и электрохимического анализа;

- от сложных соотношений в явном виде до линейных выражений в явной форме для математических моделей регулирования в адаптивном диапазоне [29, с. 36];

– от структуры аппаратных средств в архитектуру программного обеспечения техники, от математического обеспечения – в метрологические средства науки;

– от фиксируемых неуправляемых и аппаратно управляемых соединений структур – к программно управляемым за счет преобразования от комбинаторной и релейной логики к матричной, соответственно;

– от последовательной и произвольной выборки данных по адресам – к ассоциативной выборке адресов по признакам эквивалентов;

– от мгновенных значений к удельным параметрам и через диффузионные к предельным нормам, которые отражают максимальные эквиваленты;

– от несогласованных преобразований к виртуальным компенсационным измерениям, организуемым оптимизацией информативных параметров к нормированным эквивалентам желаемой характеристики;

– от стандартных оценок постфактум неуправляемых градуировочных характеристик с дисперсией среднестатистического объекта до оптимальной априори оценки измерения действительных значений конкретного субъекта в адаптивном диапазоне с компенсацией параметрического, временного и температурного дрейфа.

Для тестеров с жесткой структурой решается задача оценки погрешности результатов измерения после проведения эксперимента (post factum) по гостированным регламентам. В компьютерных анализаторах при проектировании метрологических средств а priori решается задача идентификации (тождественности) искомых параметров в выбранном по программе диапазоне с точностью, определяемой погрешностью образцов с нормированными характеристиками (эквивалентами). Модель идентификации метрологических средств корректирует модели физико-химического контроля ПИП и информационных преобразований интерфейсов МИС посредством калибровки алгоритмов измерения и управления математическим обеспечением и архитектуры компьютерного анализатора так, что физико-химический контроль осуществляется в координатах метрологической симметрии. При симметрии искомые параметры линейны и представлены в явной форме, как при гальванической развязке в режиме компенсации.

Следовательно, информационная технология проектирования МИС и оценки эффективности метрологических средств позволяет создавать компьютерные анализаторы с адаптивным диапазоном и заданной точностью контроля нормируемых эквивалентов границ калибровки. Это обусловлено синтезом коммуникабельного информационного обеспечения, организованного эффективными метрологическими средствами с универсальным математическим обеспечением и

гибкой архитектурой избыточного программного обеспечения и ассоциативных аппаратных средств.

Метрологическая эффективность метрологических средств определяется адаптивной математической моделью идентификации и алгоритмами калибровки информативных параметров нормированным эквивалентам калибровочных характеристик для измерения действительных искомым параметров в адаптивном диапазоне с заданной точностью, регламентируемой нормированными мерами образцов.

1. Стандартное проектирование заключается в синтезе компонент и признаков жестких структур итерационным анализом циклических алгоритмов последовательного приближения прототипа к псевдоновации с множеством несогласованных форм представления с эфемерными признаками. Недостатки продиктованы жесткими структурами с фиксированными связями, копирующими по аналогии неуправляемые принципы действия незначимыми компонентами по ненормированным критериям, которым не требуются прямые методы синтеза по закономерностям и высокий уровень мастерства из-за примитивных операций ремесленничества статистического перебора множества несопоставимых аналогов по субъективным оценкам.

2. Неуправляемые алгоритмы функционирования и градуировки продиктованы жесткой структурой с фиксированными связями, копирующими по аналогии эти алгоритмы, исключают их универсальность и требующие оценки результатов измерений в диалоговом режиме после проведения эксперимента из-за незнания закономерностей мировоззрения творчества. Вектор развития узкоспециализированных тестеров направлен на создание интеллектуальных МИС с автоматическими условиями контроля, которые инициирует оператор сравнения (анализа) с гибким алгоритмом по закономерным условиям автоматизации аналитического контроля a priori.

3. В отличие от анализа комбинаторных схем прототипа-тестера по жестким формам алгоритмов преобразования, управления и вычисления методами итерации, результатами технологии проектирования являются интегральные схемы с реальными характеристиками исследуемого прототипа, которые оптимизируют по условиям тождественности эквивалентам.

4. В технологии проектирования, в отличие от итерационного анализа псевдоноваций, которые подгоняют под ответ методами проб и ошибок по произвольным характеристикам и эфемерным мерам из-за отсутствия эквивалентов и закономерностей, служат эквиваленты по известным закономерностям для создания инновации по целенаправленным правилам оптимизации прототипа.

5. Нормированными эквивалентами высокоэффективных метрологических средств служат экспоненциальные математические модели и нормированные характеристики, предельные параметры и нормируемые меры, оптимальные критерии и оценки эффективности. Закономерные тождественности измерений эквивалентам упрощают и сокращают на порядки до минимума качественную и количественную оптимизацию алгоритмов расчета только двух информативных параметров по измеренным и нормированным значениям границ диапазона.

6. В отличие от статистической градуировки по множеству нелинейных переменных с не перекрывающимися измерениями на аппаратно переключаемых поддиапазонах, программно управляемая калибровка по двум измерениям и нормируемым значениям образцов границ адаптивного диапазона на несколько порядков повышает точность и линейность диапазона контроля, благодаря структурной или параметрической избыточности схем и программ, алгоритмов и характеристик архитектуры технических средств и континуума научного обеспечения.

Выводы

1. С позиций мировоззрения творчества рассмотрено развитие синтеза ЦПС ЭЭС от итерационного анализа тестеров с жесткой структурой, регламентированной правилами ГОСТ, до микропроцессорных измерительных средств с гибкой архитектурой инновации, организованной из прототипа по закономерностям тождественности эквивалентам, для их систематизации в информационные технологии проектирования и идентификации компьютерных анализаторов.

2. Предложена оптимальная мера оценки эффективности инноваций ЦПС на примере мультипликативного и аддитивного симметричных критериев, представленных отношением среднего геометрического исследуемых оценок к среднему арифметическому эквивалентов, для повышения достоверности и объективности информационной технологии творчества.

3. Проведена оценка эффективности характеристик амплитудно-преобразователя по эквивалентам и относительно пассивного делителя для выявления закономерностей развития линейных интегральных схем от жесткой структуры тестеров до гибкой архитектуры микропроцессорных измерительных средств ЦПС. Выявлена уникальность характеристики инвертора, обусловленная зависимостью нелинейного коэффициента исследуемого усилителя («гадкого утенка») с ИКР коэффициента («белого лебедя») нормированного линейного преобразо-

вания, желаемой характеристикой, принимаемой за нормированный эквивалент, что позволяет оценить эффективность линейного преобразования (без дрейфа, с гальванической развязкой по нормированному уровню земли виртуального потенциала) и нелинейность исследуемого инвертора (с дрейфом и ненормированными мерами).

Эффективности, как неопределенные дефиниции итерационного анализа, представляются в информационной технологии проектирования как нормированные меры оценок результатов действия (эффектов), т.е. уровня творчества инноваций. Выведены оценки эффективностей нелинейности и линейности, погрешности и диапазона, чувствительности по усилению и гальванической развязке амплитудного усилителя и делителя напряжения, показывающие тождественность алгоритмов оптимизации методами ИКР и нормируемых линейных эквивалентов, соответствующих единичным и нулевым мерам.

4. Проанализированы адекватные процессам преобразования графики диаграмм переходных и амплитудно-временных, амплитудно- и фазочастотных характеристик пассивных и активных интеграторов, подтверждающие тождественность закономерностей анализа и синтеза схемо- и мнемотехнических, математических и метрологических моделей для создания информационной технологии проектирования инноваций ЦПС ЭЭС.

5. Проанализированы стандарты проектирования и оценок жестких структур тестеров для их оптимизации в информационную технологию творчества в виде интеграла технологий проектирования и идентификации универсального математического обеспечения и адаптивных метрологических средств компьютерных анализаторов ЦПС. Высокоэффективные метрологические средства ЦПС с a priori оптимальными характеристиками и параметрами, нормируемыми мерами границ диапазона и адаптивными эквивалентами автоматического контроля, простыми алгоритмами и моделями в явной форме, согласованные с компонентами компьютерных анализаторов – длительный процесс совершенствования жесткой структуры и аппаратных алгоритмов узкоспециализированных тестеров с регламентированными принципами функционирования и стандартной оценкой результатов post factum. В информационной технологии творчества, в отличие от итерационного анализа псевдоноваций, которые подгоняют под ответ методами проб и ошибок по произвольным характеристикам и эфемерным мерам из-за отсутствия эквивалентов и закономерностей, служат эквиваленты по известным закономерностям для создания инновации по целенаправленным правилам оптимизации прототипа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На современном этапе развития электроэнергетики России методология проектирования цифровой подстанции определяет экономические и эксплуатационные цели, задачи унификации протоколов и взаимодействия различного оборудования, выделение трех уровней и пяти принципов: надежности, безопасности, единства измерений, унификации и сохранения инвестиций. Наряду с этим необходима декомпозиция системных задач верхнего уровня с делегированием их на уровень ЦПС, а также организация функциональной координирующей подсистемы и цифровых интерфейсов на основе протоколов МЭК для команд управления устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики. В настоящее время процесс внедрения цифрового оборудования информационного взаимодействия нового поколения имеет два периода: переходной и перспективный и требует увеличения интеллектуальной составляющей средств контроля и управления, защиты и измерений электрооборудования. Поэтому программно-аппаратный комплекс АСУ ТП на базе: открытой иерархической архитектуры; ЛВС; микропроцессорных устройств нижнего уровня; АРМ персонала подстанции верхнего уровня; системы обеспечения единого времени, – решает задачи сбора и обработки информации, контроля, учета и управления для электрооборудования переменного тока, а также функциональные задачи оперативного персонала ЦПС.

Таким образом, в формате новых технологий инфраструктура передачи информации является кибернетическим архитектурным элементом ЦПС с физической и логической структурой, системным и специальным программным обеспечением, отдельными программными компонентами, информационным обеспечением на основе информационной модели СИМ. А также метрологическим обеспечением на базе принципов вертикальной дифференциации и горизонтальной интеграции, единой программы надежности и комплексной безопасности, включающей диагностику, резервирование, техническое обслуживание и ремонт оборудования программно-аппаратного комплекса АСУ ТП.

С позиций мировоззрения творчества рассмотрено развитие синтеза от итерационного анализа преобразователей и приборов ЦПС ЭЭС (тестеров) с жесткой структурой, регламентированной правилами ГОСТ, до микропроцессорных измерительных средств с гибкой архи-

тектурой инновации, организованной из прототипа по закономерностям тождественности эквивалентам, для их систематизации в информационную технологию творчества в виде интеграла технологий проектирования и идентификации универсального математического обеспечения и адаптивных метрологических средств компьютерных анализаторов. В информационной технологии творчества, в отличие от итерационного анализа псевдоноваций, которые подгоняют под ответ методами проб и ошибок по произвольным характеристикам и эфемерным мерам из-за отсутствия эквивалентов и закономерностей, служат эквиваленты по известным закономерностям для создания инновации по целенаправленным правилам оптимизации прототипа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Автоматизация** диспетчерского управления в электроэнергетике / Ю. Н. Руденко и др.; под ред. Ю. Н. Руденко, В. А. Семенова; Московский энергетический институт. – Москва, 2000. – 648 с.
2. **Корсунов П. Ю., Моржин Ю. И., Попов С. Г.** Разработка Концепции «Цифровая подстанция». Договор № И-11-41/10 / ОАО «НТЦЭ». – Москва, 2011. – 248 с.
3. **Концепция** диагностики электротехнического оборудования подстанций и линий электропередачи электрических сетей ОАО «ФСК ЕЭС». – Москва, 2005. – 112 с.
4. **Производство**, передача и распределение электрической энергии: Электротехнический справочник. В 4 т. / В. Г. Герасимов, А. В. Дьякова и др.; под общ. ред. В. Г. Герасимова; Московский энергетический институт. – Москва, 2002. – 963 с.
5. **Правила** технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации / Министерство энергетики РФ; ЗАО «Энергосервис». – Москва, 2003. – 368 с.
6. **Об утверждении** целевой организационно-функциональной модели оперативно-диспетчерского управления ЕЭС России: Приказ РАО «ЕЭС России» № 68 от 30.01.2006 г. – Москва, 2006.
7. **О совершенствовании** деятельности ОАО «ФСК ЕЭС» по нормативно-техническому обеспечению электросетевого комплекса: Приказ ОАО «ФСК ЕЭС» № 440 от 29.12.2006 г. – Москва, 2006.
8. **О приведении** систем телемеханики и связи на генерирующих предприятиях электроэнергетики, входящих в состав холдинга ОАО РАО «ЕЭС России», в соответствие с требованиями балансирующего рынка: Приказ РАО «ЕЭС России» № 68 от 30.01.2006 г. – Москва, 2006.
9. **Об утверждении** и введении в действие нормативно-технических документов электросетевой тематики: Приказ ОАО «ФСК ЕЭС» № 176 от 25.06.2007 г. – Москва, 2007.
10. **Об изменении** организационной структуры филиалов ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС: Приказ ОАО «ФСК ЕЭС» № 381 от 16.11.2007 г. – Москва, 2007.
11. **Об утверждении** и введении в действие Единого регламента принятия технических решений при разработке проектно-сметной до-

кументации для нового строительства и технического перевооружения и реконструкции объектов электросетевого хозяйства: Приказ ОАО «ФСК ЕЭС» № 87 от 11.04.2007 г. – Москва, 2007.

12. **Об организации** взаимодействия ДЗО ОАО РАО «ЕЭС России» при создании или модернизации систем технологического управления в ЕЭС России, выполняемым в ходе нового строительства, технического перевооружения, реконструкции объектов электроэнергетики: Приказ РАО «ЕЭС России» № 57 от 11.02.2008 г. – Москва, 2008.

13. **О мерах** по реализации Программы повышения надежности и наблюдаемости ЕНЭС: Приказ ОАО «ФСК ЕЭС» № 65 от 02.03.2009 г. – Москва, 2009.

14. **Об утверждении** Единого порядка принятия технических решений при разработке проектно-сметной документации для нового строительства и реконструкции объектов ЕНЭС: Приложение к приказу ОАО «ФСК ЕЭС» № 585 / 121/1 от 10.08.2010 г. – Москва, 2010.

15. **Чичёв, С. И., Калинин В. Ф., Глинкин Е. И.** Информационно-измерительная система центра управления электрических сетей. – Москва: Машиностроение, 2009. – 176 с.

16. **Чичёв, С. И., Калинин В. Ф., Глинкин Е. И.** Система контроля и управления электротехническим оборудованием подстанций. – Москва: Издательский дом «Спектр», 2011. – 141 с.

17. **Чичёв, С. И., Калинин В. Ф., Глинкин Е. И.** Информационно-измерительная система электросетевой компании. – Москва: Издательский дом «Спектр», 2011. – 156 с.

18. **Чичёв, С. И., Калинин В. Ф., Глинкин Е. И.** Корпоративная интегрированная система управления распределительным электросетевым комплексом. – Москва: Издательский дом «Спектр», 2012. – 228 с.

19. **Чичёв, С. И., Калинин В. Ф., Глинкин Е. И.** Инфокоммуникационные сети магистральных электросетей Центра. – Москва: Издательский дом «Спектр», 2013. – 200 с.

20. **Бронштейн И. Н., Семендяев К. А.** Справочник по математике. – Москва: Наука, 1986. – 544 с.

21. **Метрология**, стандартизация и сертификация / под ред. В. В. Алексеева. – Москва: Академия, 2008. – 384 с.

22. **Герасимов Б. И., Глинкин Е. И.** Микропроцессорные аналитические приборы. – Москва: Машиностроение, 1989. – 248 с.

23. **Глинкин Е. И.** Схемотехника аналоговых интегральных схем. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 152 с.

24. **Глинкин Е. И.** Техника творчества. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2010. – 168 с.
25. **Глинкин Е. И., Глинкин М. Е.** Схемотехника микропроцессорных средств. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. – 148 с.
26. **Глинкин Е. И., Глинкин М. Е.** Схемотехника микропроцессорных измерительных средств. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2002. – 76 с.
27. **Глинкин Е. И., Глинкин М. Е.** Технология аналого-цифровых преобразователей. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2008. – 140 с.
28. **Глинкин Е. И.** Закономерности аналоговых преобразований // Вестник ТГУ. – Тамбов: ТГУ, 2012. – Т. 17, вып. 3. – С. 1000 – 1005.
29. **Глинкин Е. И.** Схемотехника микропроцессорных систем. – Тамбов: ТГТУ, 1998. – 158 с.
30. **Советский** энциклопедический словарь / гл. ред. А. М. Прохоров. – Москва: Сов. энциклопедия, 1987. – 1600 с.
31. **Ту Ю.** Современная теория управления. – Москва: Машиностроение, 1971. – 472 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	3
ВВЕДЕНИЕ	4
1. ВЕКТОР ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ	5
1.1. Особенности проектирования	5
1.2. Принципы построения	14
1.3. Информационное взаимодействие и структура	17
Выводы	31
2. ОБОРУДОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ	32
2.1. Цифровые измерительные трансформаторы	32
2.2. Полевые преобразователи (устройства и модули)	37
2.3. Основное силовое электрооборудование	39
Выводы	47
3. СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ, УПРАВЛЕНИЯ, ЗАЩИТЫ И ИЗМЕРЕНИЙ	48
3.1. Программно-технический комплекс	48
3.2. Устройства мониторинга нижнего и средства верхнего уровней	49
3.3. Система обеспечения единого времени и синхронизации ...	62
Выводы	67
4. ИНФОРМАЦИОННЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ	68
4.1. Автоматизированная система управления технологическими процессами	68
4.2. Автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учета электроэнергии	88
4.3. Система управления напряжением в электросети	90

4.4. Система сбора производственно-технологической информации	91
Выводы	93
5. АРХИТЕКТУРА ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ	94
5.1. Инфраструктура передачи информации	94
5.2. Программное, информационное и метрологическое обеспечение	99
5.3. Надежность, информационная и комплексная безопасность	118
Выводы	150
6. ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТВОРЧЕСТВА	151
6.1. Закономерности проектирования и оценок	151
6.2. Оценки эффективности	160
6.3. Эффективность амплитудного преобразователя	170
6.4. Технология проектирования динамических характеристик	184
6.5. Стандарты и оптимизация	204
Выводы	219
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	221
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	223

Научное издание

ЧИЧЁВ Сергей Иванович
КАЛИНИН Вячеслав Федорович
ГЛИНКИН Евгений Иванович

МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ В ФОРМАТЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Редактор Т. М. Глинкина
Инженер по компьютерному макетированию Т. Ю. Зотова

Сдано в набор 26.05.2014

Подписано в печать 03.09.2014. Формат 60×84/16.
Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 13,25. Уч.-изд. л. 13,00. Тираж 400 экз. Заказ № 378

ISBN 978-5-4442-0076-6



ООО «Издательский дом «Спектр»,
119048, Москва, ул. Усачева, д. 35, стр. 1
[Http://www.idspektr.ru](http://www.idspektr.ru). E-mail: idspektr@rambler.ru

Подготовлено к печати и отпечатано в Издательско-
полиграфическом центре ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14

По вопросам приобретения книги обращаться
по телефону 8(4752)63-81-08