6.1	**Введение**	**256**
6.2	**Системы релейной защиты**	**257**
6.2.1	Введение	257
6.2.2	Устройства защиты серии SIPROTEC или Reyrolle	258
6.2.3	Системы релейной защиты. ПО DIGSI 4, Конфигуратор МЭК61850 и SIGRA 4 для работы с устройствами защиты	284
6.2.4	Типовые схемы защит	290
6.2.5	Согласование защит	312
6.2.6	Руководство по вы бору реле	324
6.3	**Автоматизация подстанции**	**336**
6.3.1	Введение	336
6.3.2	Обзор и решения	336
6.3.3	SICAM PAS	342
6.3.4	SICAM Station Unit (Станционное устройство)	350
6.3.5	Примеры конфигурации	352
6.3.6	SICAM AK, TM, BC, EMIC и MIC	354
6.3.7	SICAM EMIC - один из продуктов зарекомендовавшего себя семейства SICAM	370
6.4	**Качество электроэнергии и измерения**	**372**
6.4.1	Введение	372
6.4.2	Счетчики энергии SICAM P	378
6.4.3	Преобразователь цифровых измерений SICAM T	380
6.4.4	Мониторинг и анализ качества напряжения с SICAM Q80	382
6.4.5	SIPROTEC 7KE85 - Цифровой регистратор повреждений с встроенным измерением параметров Качества Энергии (КЭ)* и измерением векторных величин (PMU)	384
6.4.6	SIGUARD PDP – Процессор обработки векторных данных (синхрофазоров)	392
6.5	**Защита и коммуникация подстанций**	**394**
6.5.1	Обзор МЭК 61850	394
6.5.2	Основные коммуникационные структуры для систем автоматизации подстанций и защит	394
6.5.3	Разнообразные коммуникационные опции SIPROTEC 5	398
6.5.4	Протоколы резервирования сети	402
6.5.5	Связь между подстанциями с использованием интерфейсов данных средств защиты	405
6.5.6	Требования для удаленной передачи данных	407

6 РЗА подстанций, качество электроэнергии и измерения

6.1 Введение

Требования к автоматизации электрических подстанций постоянно ужесточаются, что ведет к усложнению системы и появлению новых интерфейсов приема/передачи данных. Высокая надежность и безотказность работы как всей системы, так и ее отдельных элементов являются одним из основных требований системного оператора в области автоматизации энергетики.

Продукция и решения компании Siemens для автоматизации энергетики полностью удовлетворяют данному требованию. Системный и комплексный подход ко всем составляющим цепочки автоматизации, позволяет системному оператору получать все данные, касающиеся функционирования энергообьекта, начиная от стадии проектирования и заканчивая работой и эксплуатацией.

Продукция и решения по автоматизации энергетики основываются на трех основных принципах, гарантирующих безотказную работу:

- Высокая надежность и безопасность в области информационных технологий, обеспечивающаяся использованием высококлассного программного обеспечения и грамотной конфигурацией сети.
- Неограниченные возможности приема/передачи информации за счет соответствия международным стандартам и возможности функционального расширения системы.
- Квалифицированный инженерный подход ко всем компонентам системы, начиная от полевых устройств и заканчивая диспетчерскими центрами.

Решения по автоматизации в области электроэнергетики от компании Siemens являются простыми, надежными и не требуют значительных денежных вложений со стороны заказчика. Компания Siemens предлагает решения по автоматизации, которые будут развиваться в соответствии с требованиями рынка, оставаясь при этом удобными в управлении. Таким образом, данные решения от компании Siemens являются эталоном простоты реализации и эффективности использования. За все время было поставлено более 200000 устройств с поддержкой протокола МЭК 61850.

В системах автоматизации энергетических объектов от компании Siemens используется единая и универсальная технология, которая охватывает всю линейку вторичного оборудования. Результатом этого является единство конструкции, интерфейсов связи и единый принцип управления у всех устройств будь то устройства релейной защиты в генерации и сетях, измерительные и регистрирующие устройства, либо устройства для телемеханики или АСУ.

Все устройства являются компактными и обеспечивают высокий уровень помехозащищенности; подходят также для непосредственного монтажа в распредустройствах.

Рис. 6.1-1: **Продукция компании Siemens для автоматизации объектов электроэнергетики.**

Весь спектр продукции от одного производителя
Сектор энергетики компании Siemens поставляет устройства и системы для:
- Релейной защиты элементов энергетической системы (устройства серии SIPROTEC и Reyrolle).
- Управления и автоматизации подстанции (устройства серии SICAM).
- Дистанционного управления электрооборудованием (RTU).
- Измерения и регистрации значений электрических величин (устройства серии SIMEAS).

Данные устройства удовлетворяют всем предъявляемым требованиям к системам измерения, управления, автоматизации и защиты на подстанциях.

Также компания Siemens предоставляет следующие услуги:
- Консультирование.
- Планирование.
- Проектирование.
- Пуско-наладочные работы и сервисное обслуживание.

Т.к. компания Siemens предоставляет весь спектр услуг, то это позволяет сократить денежные и временные затраты на планирование, монтаж, ввод в эксплуатацию и обслуживание подстанции.

6.2 Системы релейной защиты

6.2.1 Введение

Компания Siemens является одним из мировых лидеров по поставкам устройств релейной защиты. Тысячи работающих реле производства компании Siemens обеспечивают превосходную работу систем передачи и распределения электрической энергии во всех классах напряжения, во всем мире и в любой климатической зоне. Многие годы компания Siemens оказывает существенное влияние на развитие систем релейной защиты:
- В 1976 году впервые было введено в эксплуатацию устройство релейной защиты на основе микрокомпьютера: 10 систем защиты на основе микрокомпьютера были поставлены для подстанций напряжением 110/20 кВ. Данные системы защиты продолжают успешно работать и в настоящее время.
- В 1985 году компания Siemens стала первым производителем, который начал предлагать весь спектр полностью цифровых устройств защиты со стандартизированными интерфейсами приема/передачи информации. В настоящее время компания Siemens предлагает весь спектр цифровых устройств защиты любого эксплуатирующегося на подстанции энергетического оборудования, а так же цифровые устройства защиты шин и электрических машин.

В главе 6.2.2 приводится описание различных серий устройств защиты производства компании Siemens.

В разделе 6.2.3 представлены типовые примеры использования устройств для защиты:
- Кабельных и воздушных линий.
- Трансформаторов.
- Двигателей и генераторов.
- Секций шин.

В главе 6.2.4 приведены примеры задания уставок и выбора измерительных трансформаторов для обеспечения селективной работы использующихся защит. В главе 6.2.5 приведен обзор доступных функций устройств защиты. Так же в данной главе приведено руководство по выбору устройств защиты для конкретного использования.

6.2.2 Устройства защиты серии SIPROTEC и Reyrolle

Опыт разработки устройств защиты для энергетических систем – более 100 лет

Устройства серии SIPROTEC хорошо известны на протяжении нескольких десятилетий на энергетическом рынке, как мощная и законченная серия цифровых реле защиты и контроллеров присоединений.

Устройства серии SIPROTEC производства компании Siemens могут использоваться для защиты оборудования любого класса напряжения. При использовании данных устройств диспетчеры надежно и безопасно контролируют работу всего энергетического оборудования, а также имеют базу для внедрения эффективные по цене и качеству решения для выполнения любых задач в современных «умных» энергосистемах. Пользователи могут совместно использовать устройства серии SIPROTEC различных поколений для решения разнообразных задач – т.к. серия SIPROTEC отвечает принципам преемственности и открытости.

Компания Siemens на протяжении 100 лет является законодателем в релейной защите и помогает системным операторам разрабатывать «интеллигентные», экологически безопасные, надежные и эффективные системы, а также экономично управлять ими. Как первопроходец, компания Siemens решающим образом повлияла на развитие цифровых устройств релейной защиты (рис. 6.2-4). Первые цифровые устройства защиты были введены в эксплуатацию в городе Вюртцбург, Германия в1977 г. Совмещение функций защиты с функциями автоматики в одном устройстве серии SIPROTEC было выполнено в 90-х годах. После выхода в 2004г стандарта связи МЭК 61850, компания Siemens была первым производителем в мире, который внедрил поддержку этого стандарта (МЭК 61850) в свои устройства

Какую выгоду получают системные операторы из этого опыта, накопленного компанией Siemens?

- Опробованные решения.
- Простая интеграция в имеющуюся систему.
- Высочайшее качество аппаратного и программного обеспечения.
- Дружественный интерфейс пользователя в устройствах защиты и системном программном обеспечении.
- Простой обмен данными.
- Непревзойденная согласованность между устройствами и системой АСУ в проекте.
- Простое управление.
- Компания Siemens - это надежный международный партнер.

6

SIPROTEC – это синоним устройств защиты

Более 100 лет опыта в области разработки устройств релейной защиты и автоматики подстанции говорят сами за себя. Особо высокая оценка должна быть дана отдельным историческим вехам в истории создания устройств защиты данной серии. Даже самые первые устройства серии SIPROTEC уже имели функциональные преимущества перед конкурентами. Взгляните, каком постоянное стремление к технологическому совершенствованию и использование лучших специалистов позволяет продолжать и продолжать историю успеха.

Некоторые этапы в истории создания устройств серии SIPROTEC отличались не только технологическими прорывами, но и носили фундаментальный характер. В данное время в эксплуатации находится более миллиона устройств серии SIPROTEC, поэтому компания Siemens является безоговорочным лидером в цифровой релейной защите..

1902 Schuckert & Co. (1887): Измерительное устройство постоянного тока на основе принципа Георга Хаммела

1925 Первое реле максимального тока типа RA1 и реле с выдержкой времени типа RSI

1940 Презентация нового реле максимального тока типа RA5

1970 Презентация аналоговых электронных реле

1977 Ввод в эксплуатацию первых цифровых устройств защиты в г. Вюртцбург, Германия

1980s Начало эры цифровых устройств релейной защиты

1985 Презентация цифровых реле с интегрированными функциями автоматики на базе SINAUT LSA

1998 Презентация микропроцессорных устройств серии SIPROTEC 4

Рис. 6.2-3: **Устройства защиты компании Siemens.**

Продукция многолетнего английского производителя Reyrolle по достоинству оценена во многих странах. С выходом новых цифровых устройств от Reyrolle, как части компании Siemens, становится понятно, что идет непрерывное совершенствование на благо пользователя. Компания Reyrolle широко известна как производитель и поставщик устройств релейной защиты в Великобритании и странах Содружества.

История

2004
Ввод в эксплуатацию подстанции в городе Винднау, Швейцария с релейной защитой, поддерживающей протокол МЭК61850

2006

2008
Представлены устройства серии SIPROTEC Compact

2010
Презентация микропроцессорных устройств серии SIPROTEC 5

Рис. 6.2-4: **Устройства серии SIPROTEC – всегда первые**

Устройства серии SIPROTEC эконом
Цифровые устройства максимальной токовой защиты (МТЗ) серии SIPROTEC эконом , питающиеся от цепей ТТ или источников оперативного тока, можно использовать для защиты линий или в качестве резервной защиты силового трансформатора в сетях с односторонним питанием. В этих устройствах могут использоваться МТЗ как с независимой, так и с зависимой выдержкой времени в соответствии со стандартами МЭК и ANSI. Простой способ задания уставок с помощью DIP-переключателей не требует специальных навыков или ПК.

- Двухступенчатая МТЗ.
- Экономия в потреблении по цепям оперативного тока благодаря встроенному питанию от цепей ТТ.
- Возможность использования совместно с трансформаторами тока, имеющими небольшой коэффициент трансформации.
- Действие на отключение как с помощью импульсного выхода (DC 24 В / 0.1 Вт*с), так и с помощью обычного выходного реле.
- Простая настройка с помощью расположенных на лицевой панели устройства DIP-переключателей.
- Удобный монтаж на DIN-рейку.

Рис. 6.2-5: **Устройства серии SIPROTEC эконом.**

Устройства серии SIPROTEC Компакт (600-я серия)
Цифровые устройства серии SIPROTEC Компакт (600-я серия) - это компактные цифровые устройства защиты, предназначенные для защиты сетей среднего напряжения или применения в схемах электроснабжения промышленных предприятий. Доступны следующие виды защиты: МТЗ, дифференциальная защита линий, защита от замыканий на землю, реагирующая на переходной процесс и защита сборных шин.

- Экономия места за счет компактной конструкции цифрового реле.
- Надежное подключение за счет примения прочных и мощных клеммных зажимов.
- Простая работа с осциллограммами за счет возможности ис пользования ПО SIGRA 4.
- Наличие интерфейса связи.
- Работа с ПО DIGSI 4.
- Различные типы устройств (направленные и ненаправленные защиты).

Рис. 6.2-6: **Устройство серии SIPROTEC Компакт (600-я серия).**

Устройства серии Reyrolle – альтернативное решение для защиты распределительной сети
Устройства от компании Reyrolle – это проверенное временем решение для защиты энергетического оборудования. Исторически защитные реле компании Reyrolle в оновном поставлялись для внутреннего рынка Великобритании, однако теперь они доступны потребителям по всему миру.

С момента своего основания компания Reyrolle отличается глубокой ориентированностью на потребности рынка и конкретного потребителя. Такие широко известные продукты как “Solkor” и “Argus” являются подтверждением этому. Более того: многие устройства от Reyrolle признанно являются технологическими лидерами.

Линейка продуктов от Reyrolle включает все возможные типы защиты для оборудования распределительной сети – начиная от простых реле максимального тока и закачивания сложными устройствами защиты. Компания Reyrolle является производителем таких широко известных устройств защиты как “Argus”, “Duobias”, “Solkor”, “MicroTAPP” и т.д.

Компания Reyrolle так же предлагает хорошо себя зарекомендовавшие высокотехнологичные устройства защиты: “Argus-МТЗ”, “Solkor-ДЗЛ” и “Rho –защита двигателя” для защиты сетей промышленных предприятий.

Основываясь на многолетнем накопленном опыте, компания предлагает современные цифровые устройства защиты, удовлетворяющие всем требованиям системных операторов. Все возрастающие объемы продажи данных устройств обеспечиваются следующими преимуществами:
- Простота использования как основной принцип – устройства просты в работе и обладают гибкими настройками.
- Универсальность – последнее поколение цифровых реле обладает возможностью выбора номинального тока аналоговых токовых входов – 1A/5A, а некоторые модели имеют универсальные блоки питания.
- Единые принципы управления устройствами различных версий и модификаций. Например, все устройства обладают схожим принципом конфигурирования и задания уставок.
- С помощью поставляемого ПО Reydisp Evolution осуществляется как настройка устройства, так и обработка осциллограмм аварий и получение другой информации. Данное ПО совместимо со всеми предыдущими цифровыми устройствами защиты от компании Reyrolle.

Рис. 6.2-7: **Вид спереди устройства типа Argus 7SR210**

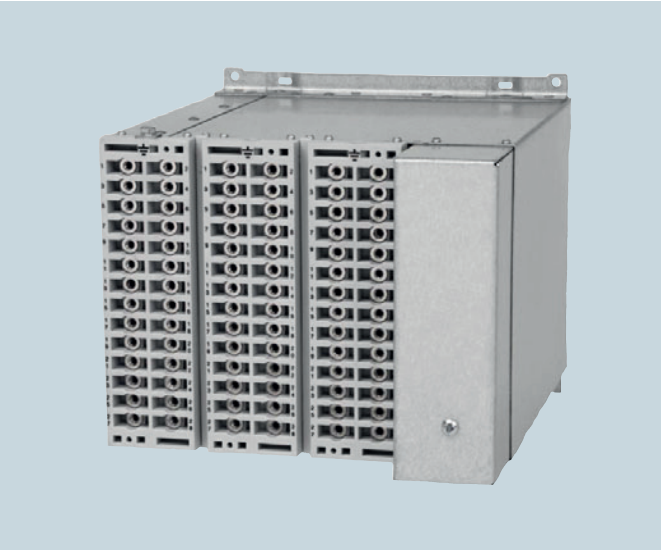


Рис. 6.2-8: **Вид сзади устройства типа Argus 7SR210**

Устройства серии SIPROTEC Компакт (800-я серия)
Великолепная защита, малые габаритные размеры и гибкие защитные функции для использования в местах с ограниченным местом для монтажа. Устройства серии SIPROTEC Компакт помещены в корпус размером 1/6 x 19“» и обладают большим набором функций. Данные устройства могут использоваться в качестве основной защиты для сетей среднего напряжения или в качестве резервной защиты для сетей высокого напряжения.

Устройства данной серии используются для защиты фидеров, двигателей или линий. Более того, данные устройства могут осуществлять следующие функции: деление системы, АЧР, ЧАПВ и защиты по напряжению и частоте.

Серия SIPROTEC Компакт разработана на основе опыта, накопленного при эксплуатации устройств SIPROTEC 4; получила дальнейшее развитие в более компактном корпусе, также в данных устройствах учтены многие пожелания пользователей. Этим и обеспечивается максимальная надежность в сочетании с непревзойденной функциональностью и гибкостью настроек.

- Легкость установки за счет применения клеммных блоков с встроенными вторичными преобразователями ТТ и ТН.
- Настраиваемые с помощью ПО пороги срабатывания дискретных входов (3 ступени гарантируют надежность приема входных сигналов).
- Переключение номинального тока токовых входов устройства (1 А/5 А) в ПО DIGSI 4.
- Быстрое управление при помощи 9 свободно программируемых функциональных клавиш.
- Понятное отображение информации на шестистрочном дисплее.
- Простое обслуживание за счет наличия на лицевой панели отсека для быстрой замены буферной батареи.
- Использование стандартных USB-кабелей, подключаемых к распложенному на лицевой панели устройства порту.
- Интеграция в локальную сеть за счет наличия 2-х дополнительных интерфейсов связи.
- Высокий коэффициент готовности за счет наличия резервирования (электрического или оптического) при обмене информацией по протоколу МЭК 61850.
- Сокращение кабельных связей между устройствами за счет возможности приема/передачи сигналов по Ethernet (МЭК 61850 GOOSE).
- Синхронизация времени (вплоть до миллисекунд) по SNTP-протоколу через сеть Ethernet для более точного анализа осциллограмм повреждений.
- Возможность расширения числа и функциональности защитных функций за счет применения так называемых “гибких защитных функций”.
- Удобное конфигурирование и анализ при помощи ПО DIGSI 4.

Рис. 6.2-9: **Устройства серии SIPROTEC Компакт (800-я серия).**

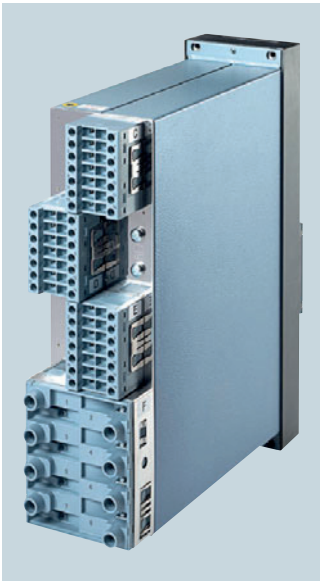


Рис. 6.2-10: **Устройства серии SIPROTEC Компакт – вид сзади.**

Рис. 6.2-11: **Реле защиты фидера типа 7SC80.**

Устройства серии SIPROTEC Компакт – функциональные возможности

Устройства защиты в распределительных сетях должны выполнять большой круг задач, при этом оставаясь простыми в настройке и с минимальными затратами времени. Например:

- Защита различного энергетического оборудования, к примеру, воздушных и кабельных линий, двигателей и систем шин.
- Деление и изолирование частей энергетической системы.
- АЧР и ЧАПВ.
- Защита по напряжению и частоте.
- Местное или дистанционное управление силовыми выключателями.
- Сбор и регистрация (запись) измеряемых величин и событий.
- Обмен данными с соседними устройствами или диспетчерским центром.

Рис. 6.2-12 демонстрирует возможные варианты использования устройств серии SIPROTEC Компакт.

Управление

Во время создания устройств серии SIPROTEC Компакт особое внимание уделялось не только наличию в данных устройствах разнообразного набора защитных функций, но и возможности простого и интуитивного их использования обслуживающим персоналом. Свободно назначаемые светодиодные индикаторы наличие шестистрочного дисплея гарантируют четкое отображение всей необходимой информации.

Возможность применения до 9 функциональных клавиш и 2-х клавиш управления облегчает работу с устройством в любой ситуации. Все это обеспечивает надежность функционирования даже в условиях возникновения аварийных ситуаций и позволяет сократить время, затрачиваемое на обучение персонала.

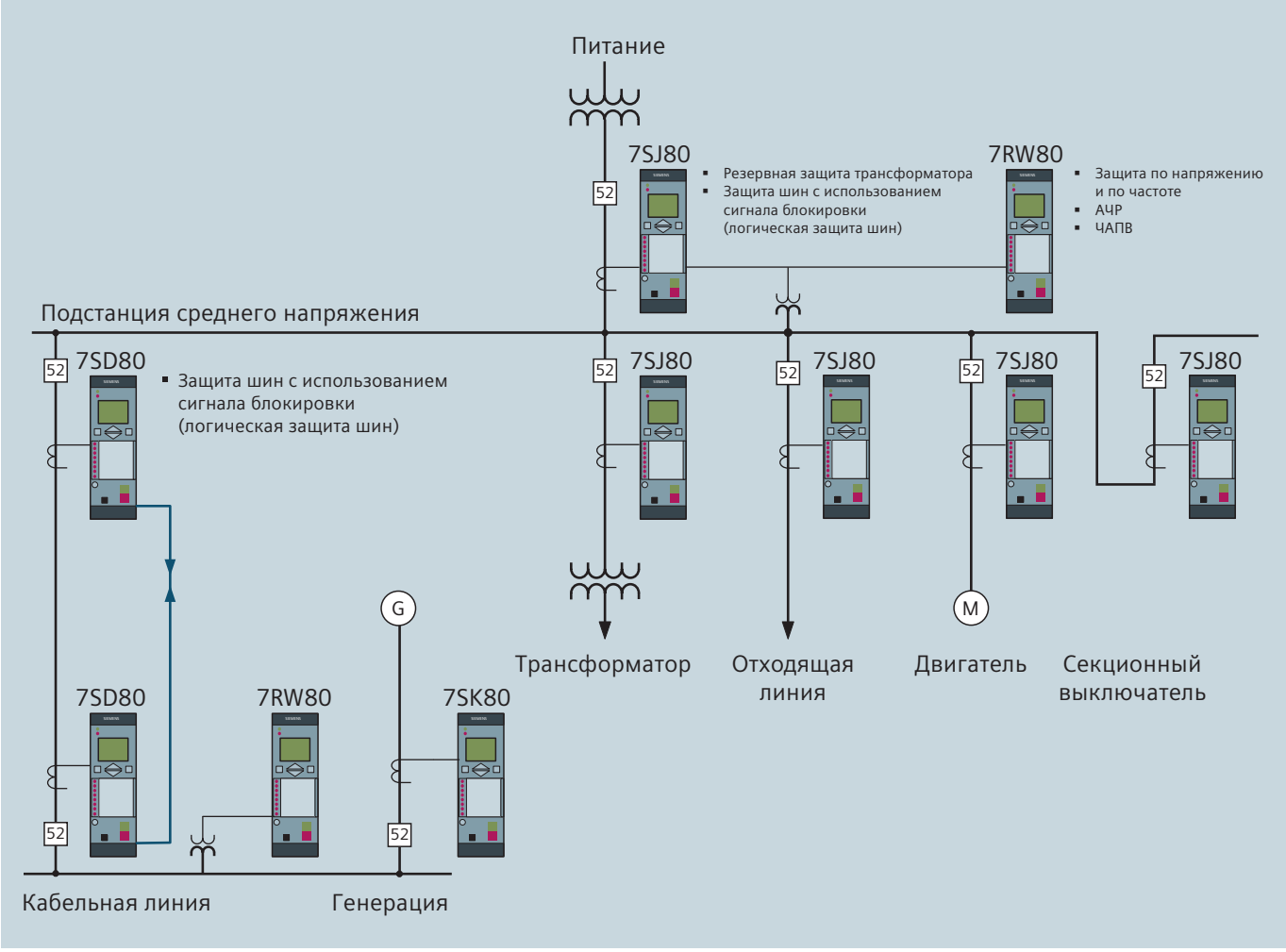


Рис. 6.2-12: **Варианты использования устройств серии SIPROTEC Компакт в сетях среднего напряжения.**

Устройство автоматизации и защиты фидера типа 7SC80 предназначено как для децентрализованного, так и для централизованного использования. Это устройство позволяет выполнять задачи по быстродействующему выявлению места повреждения, его изоляции и восстановления питания остальной части сети (система FLISR). Для этого необходимо обнаружить повреждение, отключить поврежденный участок, определить его местоположение и автоматически восстановить электроснабжение неповрежденных частей распределительной сети.

Логика АВР
Обнаружение и локализация поврежденного источника питания, а затем восстановление питания обесточенной секции при помощи АВР.

Выравнивание нагрузки
Распределение нагрузки отходящего фидера путем выбора точки деления (места секционирования фидера нормально разомкнутым контактом) вдоль последовательно включенных участков.

Восстановление
Восстановление питания фидера по нормальной схеме.

Рис. 6.2-13 типовой пример кольцевой питающей сети с воздушными линиями и пятью секциями.

Защита и автоматика каждой секции осуществляется устройством типа 7SC80

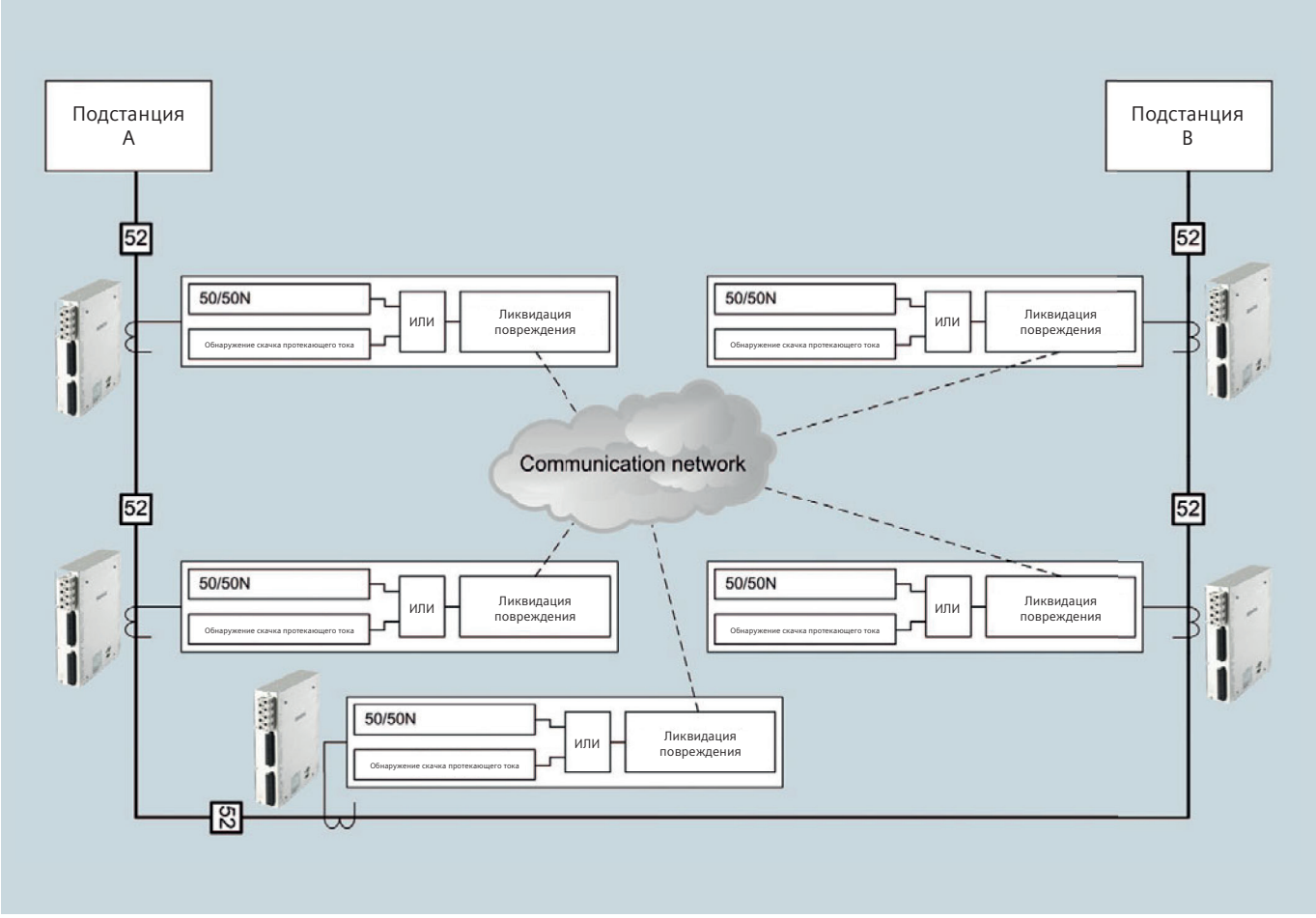


Рис. 6.2-13: **Пример использования контроллера присоединения типа 7SC80.**

«Местная» работа с устройством
Все операции и получение информации могут быть выполнены через встроенный интерфейс пользователя:

2 светодиода рабочего состояния устройства

На подсвечиваемом 6-строчном ЖК-дисплее на последовательно выпадающих листах в виде текста может отображаться информация о процессе и устройстве

4 «навигационные» клавиши

8 свободно назначемых светодиодов служат для отображения информации о процессе или из устройства. Текст возле светодиодов может меняться пользователем. Кнопка «сброс светодиодов» «сбрасывает» состояние светодиодов.

9 свободно назначаемых функциональных клавиш служат для облегчения вывода пользователем на дисплей наиболее часто повторяющихся действий (информация об измеряемых величинах, результаты функции ОМП и т.д.)

Цифровая клавиатура

Пользовательский USB-интерфейс (тип B) для возможности работы с ПО DIGSI.

Кнопки «O» и «I» прямого управления коммутационными аппаратами (объектами управления)

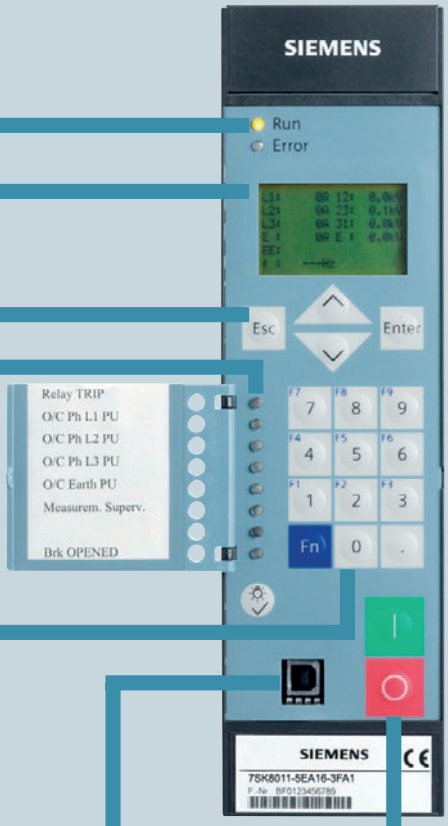


Рис. 6.2-14a: **с открытой крышкой**

Рис. 6.2-14b: **с закрытой крышкой и открытым отсеком элементом питания**

Батарейный отсек, доступный снаружи.

Конструкция и аппаратные средства

Технология подключения и вид корпуса имеют много преимуществ
За счет своих габаритных размеров (1/6 от 19”) данное реле хорошо подходит для замены устройств предыдущих модификаций. Высота устройства составляет 244 мм (9.61”).

Удобно отсоединяемые(втычные) токовые клеммы и клеммы напряжения (с встроенными в клеммы вторичные ТТ и ТН) позволяют производить предварительное подключение устройства и его замену в случае неисправности. «Закорачивание» вторичных обмоток трансформатора тока осуществляется внутри этих съемных клемм. Таким образом, размыкание вторичной обмотки трансформатора тока становится невозможным.

Все дискретные входы устройства являются независимыми, а пороги их срабатывания устанавливаются с помощью поставляемого ПО (доступно 3 напряжения срабатывания). Новой функцией поставляемого ПО является выбор номинального тока (1 А / 5 А) токовых входов устройства. До 9 свободно программируемых клавиш могут быть настроены на быстрый доступ к отдельным пунктам меню или на выполнение выбранных команды и т.д. Назначение функциональных клавиш может отображаться на экране устройстве.

Если на отходящем присоединении отсутствуют традиционные трансформаторы напряжения, то фазные напряжения можно измерить напрямую при помощи конденсаторов отбора, расположенных в распредустройствах среднего напряжения. В этом случае становится возможно использовать направленную максимальную токовую защиту, направленную токовую защиту нулевой последовательности (ANSI 67N), защиту минимального/максимального напряжения (ANSI 27/59) и защиту по частоте (ANSI 81). С устройством максимальной токовой защиты типа 7SJ81 можно подключаться к так называемым «маломощным» трансформаторам тока.

** RU = единица измерения высоты*

Рис. 6.2-15: **Устройства типа 7SK80, 7SJ80, 7SD80, вид сзади**

Рис. 6.2-16:
Клеммы напряжения

Рис. 6.2-17:
Токовые клеммы

Рис. 6.2-18: **Устройство типа 7SJ81, вид сзади**

Рис. 6.2-19: **Устройство типа 7RW80, вид сзади**

Рис. 6.2-20: **Вид спереди, корпус для навесного монтажа**

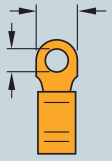


Рис. 6.2-20a:
Кабельный наконечник кольцевого типа

Токовые клеммы - кольцевые кабельные наконечники	
Подключение	Wмакс = 9,5 мм
Кольцо кабельного наконечника	d1 = 5,0 мм
Сечение проводника	2,0 – 5,2 мм² (AWG 14 - 10)
Токовые клеммы – отдельные проводники	
Сечение проводника	2,0 – 5,2 мм² (AWG 14 - 10)
Гильза под провод и изолированная часть гильзы	L = 10 мм (0,39 дюйма) или L = 12 мм (0,47 дюйма)
Длина зачищенного участка (при использовании без гильзы-оконцевателя)	15 мм (0,59 дюйма) Возможно применение только одножильного медного проводника.
Клеммы напряжения – отдельные проводники	
Сечение проводника	0,5 – 2,0 мм² (AWG 14 - 14)
Гильза под провод и изолированная часть гильзы	L = 10 мм (0,39 дюйма) или L = 12 мм (0,47 дюйма)
Длина зачищенного участка (при использовании без гильзы-оконцевателя)	12 мм (0,47 дюйма) Возможно применение только одножильного медного проводника.

Табл. 6.2-1: **Подключение цепей тока и напряжения к устройству (характеристики)**

Функции управления и автоматики

Управление
Помимо функций защиты, устройства серии SIPROTEC Компакт включают в себя все необходимые для сетей среднего и высокого напряжения функции управления, автоматики и мониторинга. Информация о состоянии первичного оборудования может быть передана в устройства посредством соответствующих блок-контактов, подключенных к дискретным входам устройства. Таким образом, возможно контролировать и отображать на экране устройства как включенное и отключенное и положения выключателя, так и неисправность или промежуточное положение выключателя или его блок-контактов.

Управление коммутационнымо оборудованием распредустройства или выключателя осуществляется с помощью:
- Встроенной панели управления.
- Дискретных входов устройства.
- Системы контроля, защиты и управления подстанции.
- Через ПО DIGSI 4.

Автоматика / определяемая пользователем логика
Пользователь при помощи встроенного редактора логических схем (CFC-логика) может задать необходимую логику работы функций автоматики. Работа данных функций активируется при нажатии соответствующих функциональных клавиш, при поступлении сигнала на соответствующий дискретный вход или через интерфейс связи.

Режим управления
Режим управления определяется настройками устройства или через интерфейс связи. Если выбран “МЕСТНЫЙ” режим управления, то коммутационные операции могут быть произведены только по месту. Доступны следующие последовательности режима управления: “МЕСТНОЕ”; ПО DIGSI, “ДИСТАНЦИОННОЕ”. Таким образом, отпадает необходимость в использовании ключа выбора режима управления, кабели от которого идут на соленоиды управления силового выключателя и на само реле. Выбор режима управления может осуществляться при нажатии на соответствующую функциональную клавишу, расположенную на лицевой панели устройства.

Обработка команд
Устройство легко интегрируется в систему SCADA или систему управления. Используются стандартные инструменты защиты передаваемых данных и доступны все функции по обработке поступающих команд. Данные функции включают в себя: обработка одиночных или двойных команд с наличием или отсутствием обратной связи, сложные алгоритмы контроля аппаратного и программного обеспечения, проверка состояния внешней обработки данных, управляющие воздействия с использованием функций, например, контроль времени выполнения команды и автоматическое прекращение ее выдачи. Ниже приведено несколько типовых вариантов использования:
- Одиночные или двойные команды, используя 1, 1 плюс 1 общий или 2 выходных контакта, действующих на отключение.
- Определяемая пользователем логика блокировки.
- Последовательность действий, объединяющая несколько операций по переключению, например, управление выключателем, разъединителем и заземляющим ножом.
- Пуск коммутационных операций, индикация или выдача аварийного сигнала с учетом анализа существующей информации.

Анализ положения блок-контактов
Положение выключателя или другого коммутационного аппарата, а так же положение РПН трансформатора контролируется с помощью организации обратной связи от блок-контактов на соответствующие дискретные входы устройства. Информация от дискретных входов устройства логически связана с соответствующими командными. Поэтому устройство способно различать по какой причине произошло изменение положения коммутационного аппарата: в результате управляемого переключения или это нежелательное спонтанное изменение состояния.

Блокировка от дребезга контактов
Функция определения дребезга контактов подсчитывает число изменений состояния дискретного входа за заданный промежуток времени и сравнивает данное число с установленным значением. Если число изменений превышает заданную величину, то на определенный период времени происходит блокировка дискретного входа, а его ложные срабатывания не отражаются в списке событий.

Отстройка от ложного срабатывания входа
Срабатывание дискретного входа может подвергаться проверке или быть задержано. Фильтрация предназначена для подавления кратковременного изменения подводимого к дискретным входам напряжения. Срабатывание дискретного входа произойдет, только если подаваемое на него напряжение будет оставаться неизменным заданный промежуток времени. Присутствует возможность установки задержки срабатывания дискретного входа на заданный промежуток времени. В этом случае срабатывание произойдет, только если по истечении заданного времени фильтрации на входе все еще будет присутствовать необходимое для этого напряжение.

Фильтрация сообщений
Пользователь самостоятельно может определять необходимый объем информации (сообщений) для передачи на вышестоящий уровень. Возможность группировки сообщений позволяет уменьшить объем передаваемой на верхний уровень или в систему SCADA информации.

Связь
Устройства отвечают всем принятым в промышленности и энергетике стандартам связи. Концепция возможности свободной замены модулей приема/передачи информации обеспечивают простое приспособление к новым стандартам и интерфейсам, например, при объединении в будущем всех устройствах в единую локально-вычислительную Ethernet-сеть.

Интерфейс USB
На передней панели всех устройств имеется USB-порт. Настройка устройства может быть осуществлена с помощью ПК с установленным ПО DIGSI. Инструменты для пуско-наладки и анализа осциллограмм входят в состав ПО DIGSI 4 и используются через этот порт.

Интерфейсы
Необходимые модули связи могут быть физически встроены в нижнюю часть корпуса устройства. Данные модули просты в установке и для их замены не требуется специальной подготовки. Интерфейсные модули поддерживают следующие применения:
- Системный/сервисный интерфейс.
  Обмен данными с системой управления осуществляется через данный интерфейс. В зависимости от выбранного интерфейса может быть принята радиальная или кольцевая топология сети. С помощью этого интерфейса можно осуществлять обмен данными между устройствами по Ethernet и протоколу МЭК 61850, а также получать доступ к данным устройствам с помощью ПО DIGSI. Как вариант, доступно подключение к системному/сервисному интерфейсу 2-х внешних устройств контроля температуры с 12-ю измерительными датчиками.
- Интерфейс Ethernet.
  Интерфейс Ethernet используется для быстрого доступа к нескольким устройствам защиты с помощью ПО DIGSI. При использовании устройства защиты двигателей типа 7SK80 существует возможность подключения к интерфейсу Ethernet 2-х внешних устройств контроля температуры с 12-ю измерительными датчиками. Для устройства дифференциальной защиты линии оптический интерфейс располагается на месте данного модуля.

Протоколы системного интерфейса (заменяемые):

- МЭК 61850
  Протокол МЭК 61850 основывается на Ethernet и является мировым стандартом для устройств защиты и систем управления в энергетическом секторе. С помощью данного протокола возможен прямой обмен информацией (отсутствие ведущего устройства) между устройствами защиты фидеров, что облегчает организацию схем взаимоблокировки в распределительных устройствах. Доступ к устройствам может быть осуществлен с помощью ПО DIGSI через шину Ethernet.
- МЭК 60870-5-103
  Протокол МЭК 60870-5-103 является международным стандартом передачи данных релейной защиты и записей данных о повреждениях. Вся информация от устройств, а так же команды управления могут быть переданы при помощи специально-разработанного и опубликованного компанией Siemens расширения для данного протокола. Опционально возможна установка резервного модуля МЭК 60870-5-103. Данный резервный модуль позволяет считывать и изменять отдельные параметры.
- Протокол PROFIBUS-DP
  Протокол PROFIBUS-DP имеет широкое распространение в промышленной автоматизации. Использование протокола PROFIBUS-DP позволяет устройствам серии SIPROTEC передавать информацию в контроллеры SIMATIC или получать команды от центрального SIMATIC-контроллера и ПЛК. Измеренные значения так же могут быть переданы к ведущему ПЛК.
- Протокол MODBUS RTU
  Данный простой, последовательный протокол в основном используется в промышленности и энергетике, и он поддерживается большим числом производителей устройств релейной защиты. Устройства серии SIPROTEC функционируют в качестве ведомых MODBUS-устройств, тем самым обеспечивается возможность приема/передачи информации от ведущего устройства. Доступен список событий с присвоенными временными метками.
- Протокол DNP 3.0
  В энергетике используется последовательный протокол DNP 3.0 (Distributed Network Protocol) для уровней станции и управления сетью. Устройства серии SIPROTEC функционируют в качестве ведомых DNP-устройств, тем самым обеспечивается возможность приема/передачи информации от ведущего устройства.

Системные решения

МЭК 60870
Устройства с интерфейсом МЭК 60870-5-103 могут быть включены в SICAM параллельно при помощи шины RS485 или радиально через оптоволокно. Через данный интерфейс в систему могут быть включены устройства других производителей.

За счет использования стандартизированных интерфейсов, устройства серии SIPROTEC могут быть интегрированы как в систему от другого производителя, так и в систему SIMATIC. Доступны как электрические интерфейсы RS485, так и оптические интерфейсы. Оптоэлектронные преобразователи позволяют выбрать оптимальную среду для приема/передачи данных. Так, внутренние связи между устройствами в шкафах можно организовать по шине RS485, а помехоустойчивое оптическое подключение к ведущему устройству можно организовать по оптике, что приведет к существенной экономии денежных затрат.

МЭК 61850
Для устройств, поддерживающих МЭК 61850, доступно простое решение по их интеграции в систему SICAM. Подключение данных устройств к станционному ПК с системой SICAM осуществляется по 100 Мбит/с Ethernet-шине. Данный интерфейс является стандартизированным, поэтому возможно прямое подключение устройств других производителей по Ethernet-шине.

С помощью МЭК 61850 устройства компании Siemens могут быть включены в систему от другого производителя.

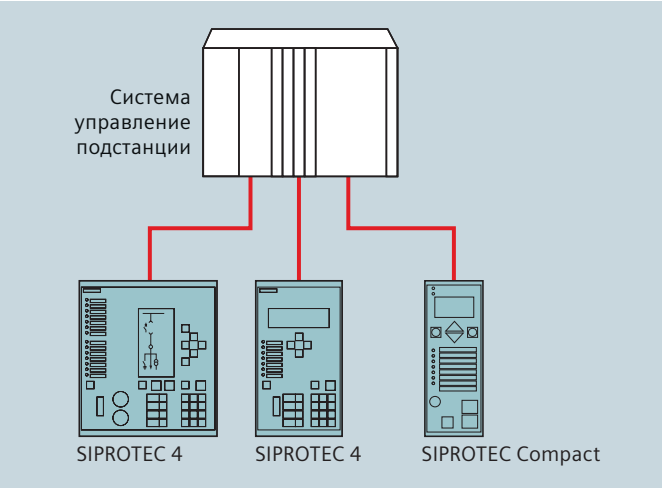


Рис. 6.2-21: **МЭК 60870-5-103 Радиальное оптоволоконное подключение с системе управления ПС**

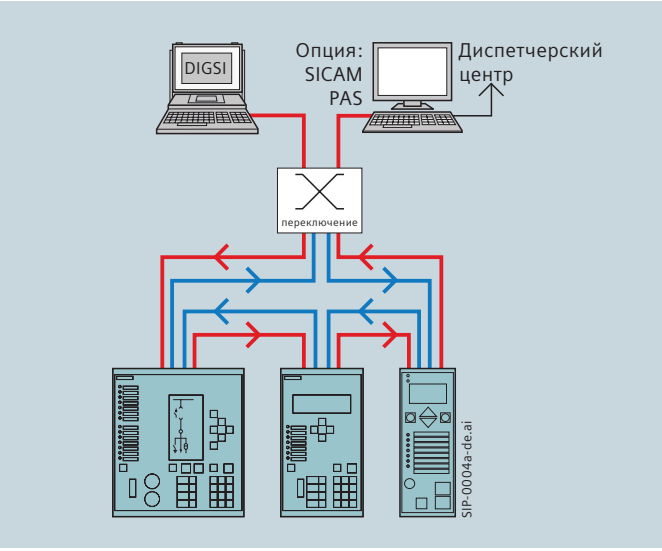


Рис. 6.2-22: **Шинная стуктура станционной шины с Ethernet МЭК61850, кольцевое оптоволоконное подключение с системе управления ПС**

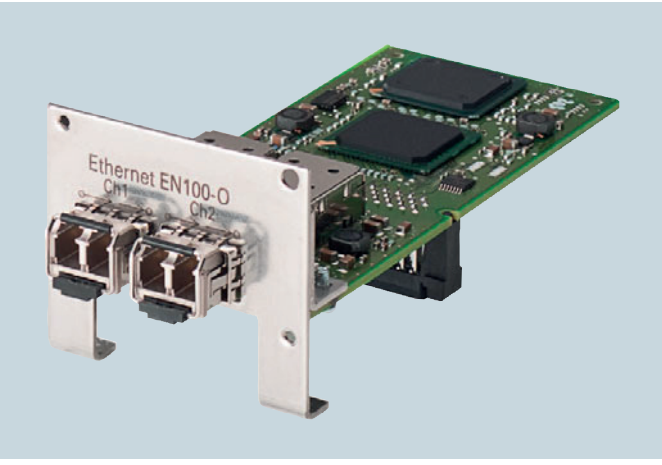


Рис. 6.2-23: **Оптический коммуникационный модуль для МЭК 61850**

Устройства серии SIPROTEC 4 – проверенные, надежные и соответствующие требованиям завтрашнего дня устройства защиты
Количество использующихся на данный момент устройств серии SIPROTEC 4 превышает отметку в 1 миллион.

За счет идентичности системной платформы, уникального ПО DIGSI 4 и огромного накопленного опыта эксплуатации, устройства серии SIPROTEC 4 получили самую высокую оценку пользователей по всему миру. На сегодняшний день устройства серии SIPROTEC 4 считаются международным стандартом в области цифровой релейной защиты.

SIPROTEC 4 предлагает устройства защиты, подходящие для использования во всех областях энергетики: от производства и передачи электроэнергии до ее распределения, а также применения в промышленности.

Устройства серии SIPROTEC 4 это веха в развитии техники релейной защиты. Все устройства серии SIPROTEC 4 объединяют в себе функции защиты, управления, измерения и автоматики. Во многих случаях все необходимые функции могут быть выполнены одним отдельным устройством. Открытая и соответствующая требованиям завтрашнего дня концепция устройств серии SIPROTEC 4 обеспечивает поддержку всеми устройствами стандарта МЭК 61850.

- Проверенные временем функции защиты обеспечивают сохранность электрического оборудования и обеспечивают безопасность обслуживающего персонала.
- Удобное конфигурирование и анализ при помощи ПО DIGSI 4.
- Простая реализация функций автоматики в пользовательской логике с помощью встроенного CFC-редактора.
- Удобная работа с устройствами и ПО за счет ориентированного на пользователя исполнения.
- Наличие мощных коммуникационных компонентов позволяет реализовывать надежные и эффективные решения.
- Накопленный по всему миру опыт эксплуатации устройств серии SIPROTEC 4 и реализация проектов на основе стандарта МЭК 61850.
- Гибкая адаптация к новым нормам и требованиям за счет возможности замены коммуникационных модулей и наличию пользовательской CFC-логики.

Рис. 6.2-24: **Устройства серии SIPROTEC 4**

Рис. 6.2-25: **Устройства серии SIPROTEC 4, вид сзади**

Рис. 6.2-26: **Использование устройств серии SIPROTEC 4 на электрических станциях**

Для обеспечения требований по резервированию функций защиты в каждом устройстве присутствуют только те функции, которые являются взаимозависимыми и непосредственно связанными друг с другом. Для организации резервной защиты необходимо дополнительно использовать одно или несколько устройств.

Все цифровые реле могут работать независимо друг от друга. Таким образом, традиционные принципы релейной защиты, предполагающие наличие основной и резервной защиты и независимость данных защит по оперативным и токовым цепям, остаются неизменными.

Принцип "один фидер, одно реле"
Принципиальные схемы аналоговой релейной защиты разрабатывались для отдельных реле, каждое из которых выполняло только свою отдельную функцию. Электрические соединения данных реле между собой и проверка работоспособности схемы производилась вручную.

Появившиеся возможности по коллективному использованию данных позволяют объединять несколько защитных и связанных с ними функций в одном отдельном цифровом реле. Таким образом, для организации защиты можно использовать всего несколько цифровых реле, которые совместно будут выполнять все необходимые функции. Это значительно снижает затраты на проектирование, сборку, электрические соединения, проверку и ввод в эксплуатацию систем релейной защиты. Это также уменьшает вероятность возникновения отказов в схеме.

Проектирование уже заключается не в создании структурных схем, а в определении и задании необходимых значений параметров. Мощная, определяемая пользователем логика устройств серии SIPROTEC 4 позволяет гибко настроить работу релейной защиты, управления и измерения.

Измерения
Для многих случаев использования класс точности релейных обмоток трансформаторов тока является достаточным для измерения текущих рабочих значений. Дополнительные измерительные обмотки трансформатора тока требовались для защиты измерительных приборов при возникновении короткого замыкания. За счет низкой термической стойкости измерительных приборов они не могли подключаться на релейные обмотки трансформатора тока. Дополнительные измерительные обмотки трансформаторов тока и отдельные измерительные приборы в настоящее время требуются только в случаях, когда необходимо обеспечить высокую точность измерений, например, для коммерческого учета.

Корректирование вместо профилактического техобслуживания
Цифровые реле защиты обладают встроенными функциями контроля исправности своего аппаратного и программного обеспечения. Исчерпывающие процедуры самоконтроля и выявления неисправности позволяют определять неисправность не только в самих устройствах цифровой защиты, но и в токовых цепях и цепях отключения.

Неисправности в цепях трансформаторов тока незамедлительно приводят к блокировке работы устройства защиты.

Таким образом, обслуживающий персонал теперь может устранить повреждение непосредственно после его возникновения, в результате чего значительно возрастает готовность к работе системы релейной защиты.

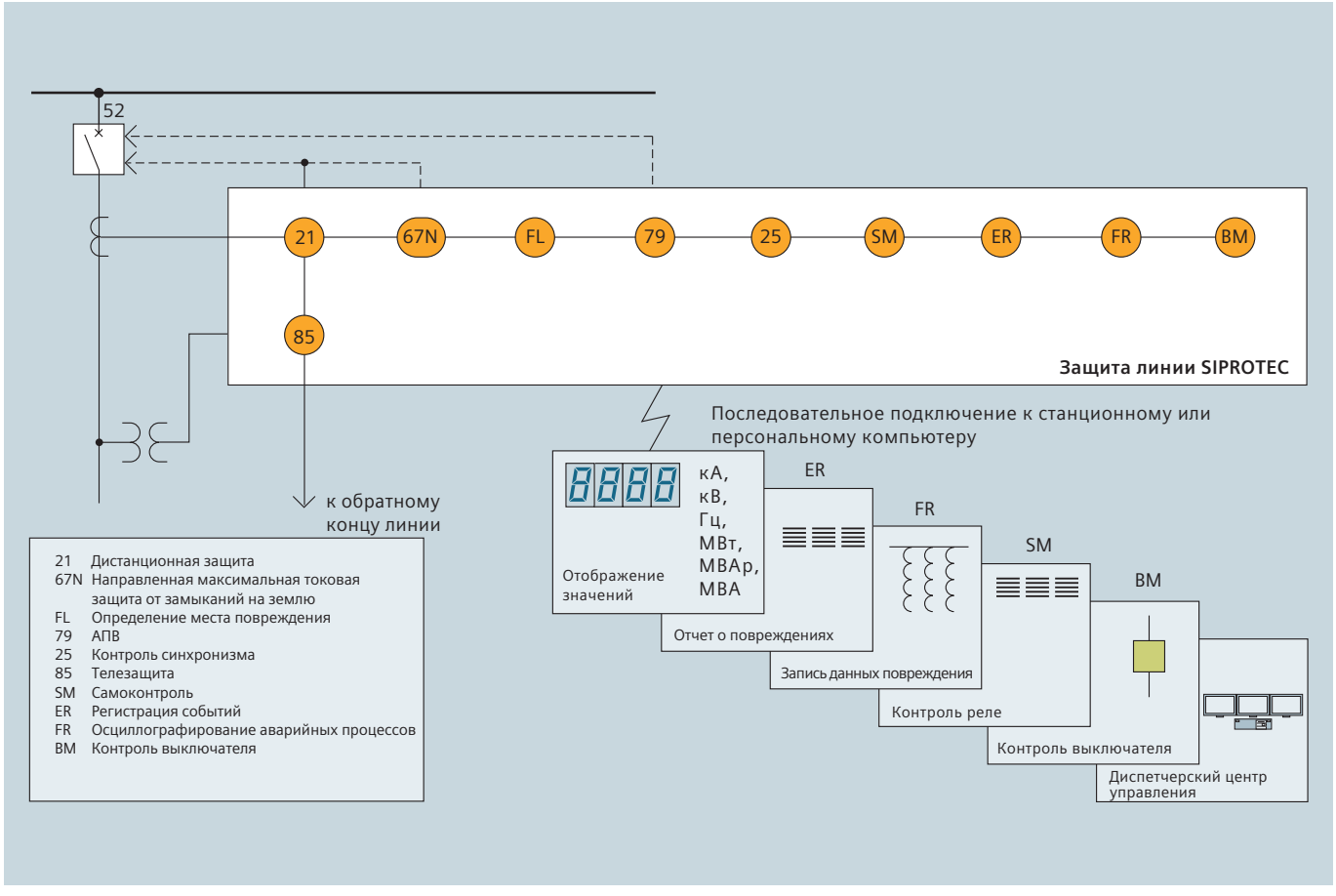


Рис. 6.2-27: **Цифровые реле позволяют расширить объем доступной информации**

Адаптивность релейной защиты
В настоящее время устройства цифровой релейной защиты обеспечивают надежную, удобную и всестороннюю адаптацию к изменяющимся режимам функционирования электрической сети. Адаптация может инициироваться как самим цифровым реле, так и по команде от других устройств. Современные цифровые реле обладают наборами параметров, правильность значений которых может быть предварительно проверена во время проведения пуско-наладочных работ. Один из наборов параметров является основным и применяется во время нормальной работы. Переключение на другой набор параметров осуществляется по факту наличия сигнала на определенном дискретном входе или по команде, поступающей по последовательному каналу передачи данных (рис. 6.2-28).

Ниже приведены некоторые случаи, для которых применение наборов параметров является целесообразным:
- Использование зависимого от напряжения срабатывания максимальной токовой защиты для предотвращения возможности уменьшения значения тока повреждения генератора ниже тока нагрузки в случае, когда автоматическое регулирование напряжения выведено.
- Для обеспечения быстрого срабатывания защиты при малых токах повреждения, например, автоматическое изменение набора параметров (уставок) при выводе в ремонт одного из трансформаторов.
- Защита от включения на повреждение. Для обеспечения быстродействия защиты при включении присоединения после его ремонта, переключение на основной набор параметров произойдет по истечении заданной выдержки времени.
- Логика АПВ. Для обеспечения мгновенной работы на первом цикле и работы с выдержкой времени после неуспешного включения.
- Для устранения проблем, возникающих при холодном пуске, связанных с протеканием в начальный момент больших токов, которые могут вызвать срабатывание защиты.
- При размыкании или включении “кольцевой сети”.

Набор функций
Реле SIPROTEC содержат в себя большой набор защитных функций (см. раздел 6.2.6). Высокая вычислительная мощность современных цифровых устройств защиты позволяет им выполнять не только защитные, но и дополнительные функции.

Однозначного ответа на вопрос о том, стоит ли совмещать защитные и дополнительные функции в одном устройстве не существует. На подстанциях передающей сети разделение выполняемых функций между несколькими отдельными устройствами до сих пор остается предпочтительным, в то же время объединение функций в одном устройстве наблюдается в устройствах защиты, использующихся на распределительном уровне. Однако, совмещение функций защиты, контроля и управления в одном устройстве наблюдается все чаще (рис. 6.2-29).

Предлагаются цифровые реле как с набором только защитных функций, так и цифровые реле с совмещением защитных функций и функций управления. Устройства серии SIPROTEC 4 включают в себя функции защиты и функции управления. Реле серии SIPROTEC 4 поддерживают принцип “одно реле, один фидер”, этим достигается значительное сокращение требуемого для монтажа места и длины кабельных связей.

Хорошо себя зарекомендовавшие устройства серии SIPROTEC 4 поддерживают как независимые, так и комплексные решения на основе отдельной программно-аппаратной платформы. Пользователь в широких пределах задавать конфигурацию функций управления и защиты, а также резервирование защитных функций (рис. 6.2-30).

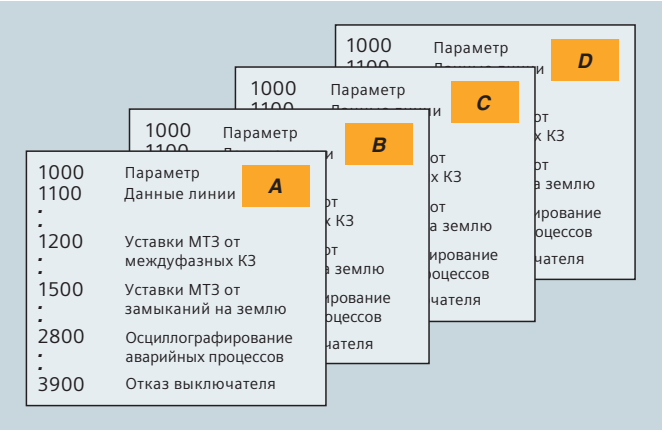


Рис. 6.2-28: **Различные группы параметров (уставок) управления ПС**

Рис. 6.2-29: **Слева: ячейка комплектно с цифровым реле (7SJ62) и с традиционной организацией функций управления; справа: ячейка комплектно с цифровым реле (7SJ64), выполняющим как защитные функции, так и функции управления**

Следующие решения доступны в рамках одной серии защитных реле:
- Отдельные устройства для выполнения защитных функций и функций управления.
- Защита фидера и дистанционное управление линейным выключателем через последовательный канал связи.
- Устройства, включающие в себя как функции защиты, так и функции управления и мониторинга.

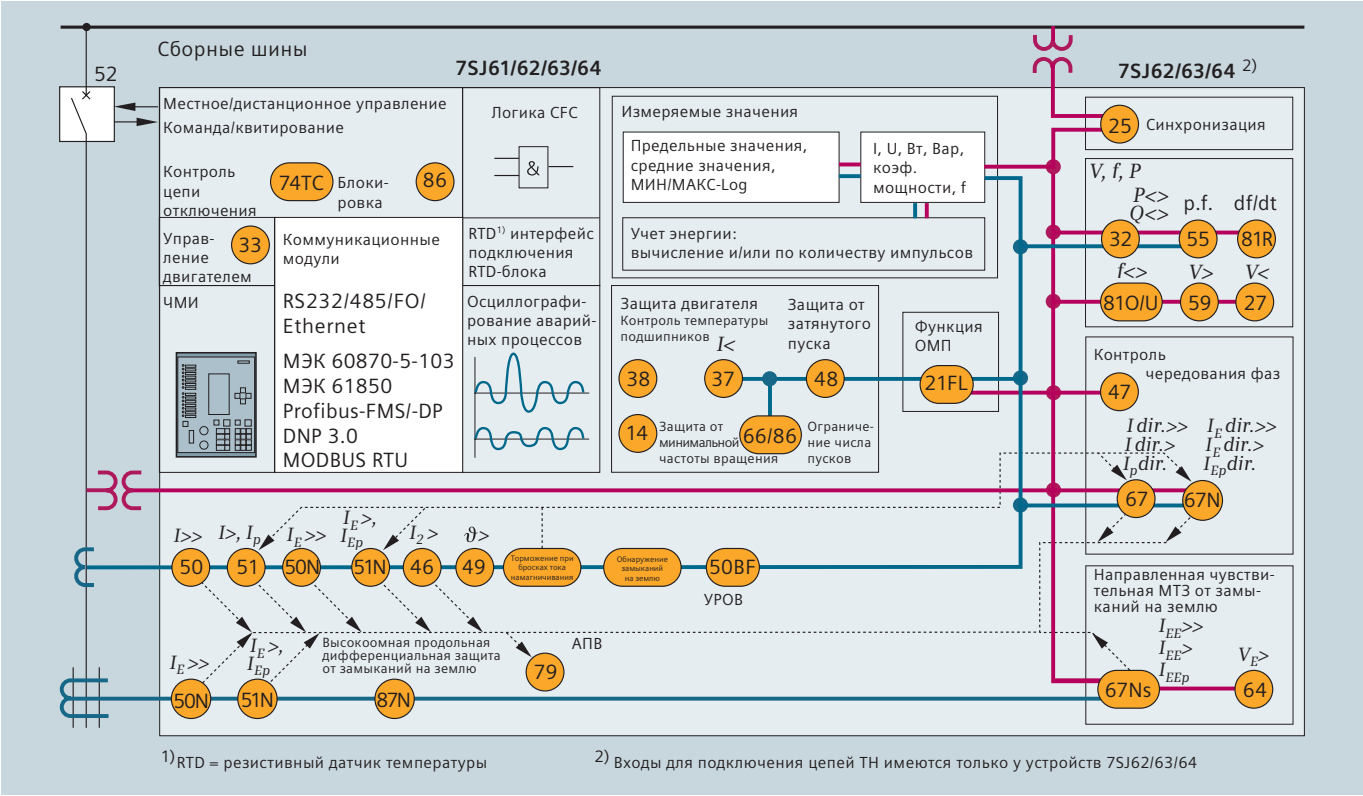


Рис. 6.2-30: **Набор функций цифровых реле 7SJ61 / 62 / 63, 64 серии SIPROTEC 4**

Клеммы: стандартная версия реле с клеммами винтового типа	
Токовые клеммы	
Соединение	Wмакс = 12 мм
Кольцо кабельного наконечника	d1 = 5,0 мм
Сечение проводника	2,7 – 4 мм² (AWG 13 - 11)
Прямое подключение	Одожильный проводник, гибкий проводник, оконцевание
Сечение проводника	2,7 – 4 мм² (AWG 13 - 11)
Клеммы напряжения	
Соединение	Wмакс = 10 мм
Кольцо кабельного наконечника	d1 = 4,0 мм
Сечение проводника	1,0 – 2,6 мм² (AWG 17 - 13)
Прямое подключение	Одожильный проводник, гибкий проводник, оконцевание
Некоторые типы реле доступны с «втычными» клеммами напряжения	
Токовые клеммы	
Под винт (см.стандартную версию)	
Клеммы напряжения	
Под два или три подключения	
Сечение проводника	0,5 – 1,0 мм²
	0,75 – 1,5 мм²
	1,0 – 2,5 мм²

Конструкция

Устройства серии SIPROTEC 4 доступны в исполнении от 1/3 до 1/1 от 19" и имеют стандартную высоту в 243 мм. Размеры данных устройств аналогичны размерам устройств других серий. Таким образом, устройства разных серий являются взаимозаменяемыми (рис. 6.2-31 – 6.2-33).

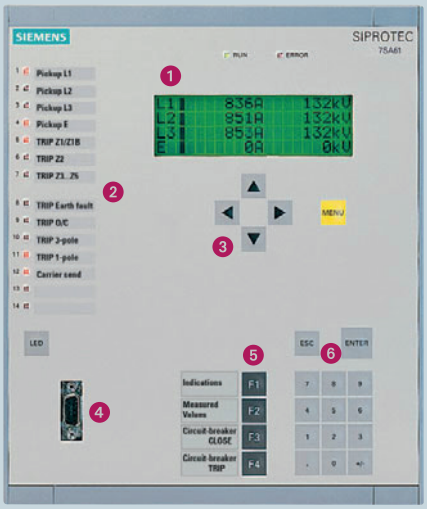
Все соединения (кабели) подключаются к задней стенке реле, как при помощи кабельного наконечника, так и без него. Доступны версии устройств со съемной лицевой панелью управления (рис. 6.2-34). Это позволяет, например, монтировать само реле в отсек низкого напряжения, а лицевую панель управления на дверь ячейки.

Рис. 6.2-31: **1/1 от 19" исполнения**

Рис. 6.2-32: **1/2 от 19" исполнения**

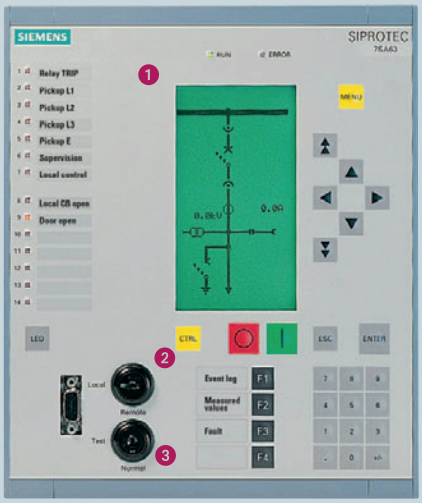
Рис. 6.2-33: **1/3 от 19" исполнения**

Рис. 6.2-34: **Устройства серии SIPROTEC 4, включающие в себя функции защиты, управления и мониторинга реле со съемной лицевой панелью управления**



❶ На ЖК-экране с подсветкой отображается текстовая информация о параметрах функционирования устройства.
❷ Свободно программируемые СИД служат для отображения информации о функционировании устройства. Пользователь может самостоятельно подписать назначение каждого СИД. Кнопка сброса индикации СИД (может использоваться при тестировании СИД)
❸ Навигационные клавиши
❹ Служебный RS232-интерфейс (для ПО DIGSI)
❺ 4 свободно программируемые функциональные клавиши предназначены для быстрого выполнения часто-повторяющихся операций
❻ Цифровая клавиатура

Рис. 6.2-35: **Местное управление: Управление устройством может осуществляться через встроенный пользовательский интерфейс. Доступны два варианта этого интерфейса.**



❶ Информация о функционировании устройства может отображаться на большом ЖК-экране как в виде графической мнемосхемы, так и в виде текстовой информации, сгруппированной в различные представления.
❷ Часто использующиеся клавиши управления присоединением расположены прямо под ЖК-экраном.
❸ Двухкнопочные переключатели обеспечивают быстрое и надежное переключение между местным и дистанционным управлением, а так же между выполнением переключений с проверкой условий блокировок и выполнением переключений без такой проверки.

Рис. 6.2-36: **Дополнительные возможности интерфейса управления с графическим дисплеем.**

Кроме функций защиты устройства серии SIPROTEC 4 обладают большим количеством дополнительных функций, которые:
- позволяют пользователю получить всю необходимую информацию для анализа аварийных ситуаций;
- позволяют адаптировать устройство для использования в различных применениях;
- облегчают контроль и управление электрическим оборудованием.

Измерение рабочих величин
Большое число измеряемых и задаваемых значений позволяет повысить качество управления энергосистемой, а так же упростить наладку.

Действующие значения вычисляются по измеренным значениям тока и напряжения; так же вычисляются значения коэффициента мощности, частоты, активной и реактивной мощности. В зависимости от типа устройства доступны следующие функции:
- Токи IA, IB, IC, IN, IEE (67Ns).
- Напряжения UA, UB, UC, UA-B,UB-C, UC-A.
- Симметричные составляющие I1, I2, 3I0; U1, U2, 3U0.
- Мощность Вт, ВАр, ВА/ P, Q, S.
- Коэффициент мощности (cos ц).
- Частота.
- Электроэнергия ± кВтч ± кВАрч, прямое и обратное протекание мощности.
- Среднее, а также минимальное и максимальное значения тока и напряжения.
- Счетчик времени нахождения устройства в работе.
- Средняя рабочая температура эксплуатации устройства.
- Контроль пороговых значений.

Контроль пороговых значений осуществляется с помощью CFC-логики. Команды могут вырабатываться исходя из факта превышения граничных значений.
- Смещение нуля.

В случаях, когда измеряемая величина очень близка к нулевому значению, она приравнивается к нулю и не учитывается.

Вычисляемые величины (некоторые виды)
Для целей внутреннего учета устройство способно вычислять значения мощностей по измеренным значениям тока и напряжения. Если имеется внешний счетчик электроэнергии с импульсным выходом, то некоторые устройства серии SIPROTEC 4 через специальный вход могут получать и обрабатывать измерительные импульсы.

Вычисленные значения могут отображаться на экране устройства, а так же могут быть переданы в диспетчерский центр. Устройство различает прямое и обратное протекание мощности, а также активную и реактивную мощность.

Рабочая информация и информация об аварийных режимах с меткой времени
Устройства серии SIPROTEC 4 обеспечивают пользователя всей необходимой информацией для анализа произошедших аварий и осуществления управления. Все информационные сообщения, перечисленные ниже, хранятся в памяти устройства даже при отсутствии питания.
- Журнал аварийных событий.
  Записи о восьми последних авариях хранятся в устройстве. Все записи в журнале аварийных событий содержат метку времени с шагом 1 мс.
- Рабочая информация.
  Все сообщения, не относящиеся к повреждениям, (например, информация о переключениях) хранятся в буфере сообщений. Шаг метки времени составляет 1 мс (рис. 6.2-37, рис. 6.2-38).

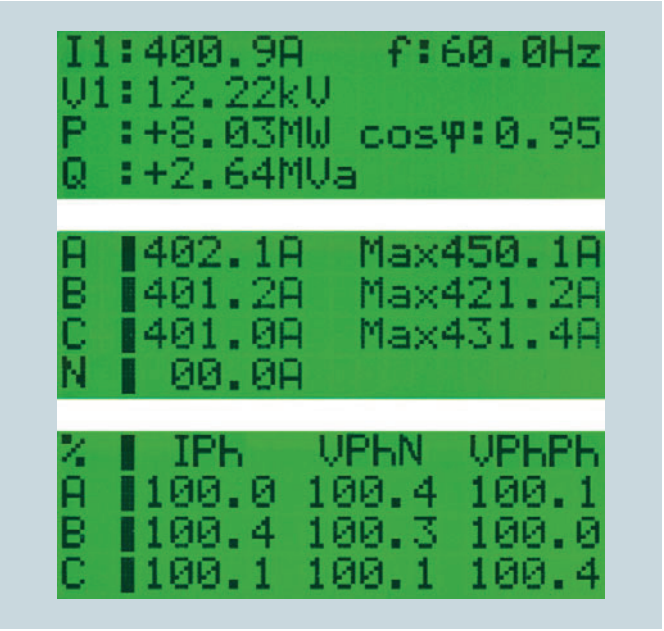


Рис. 6.2-37: **Измерение рабочих величин.**

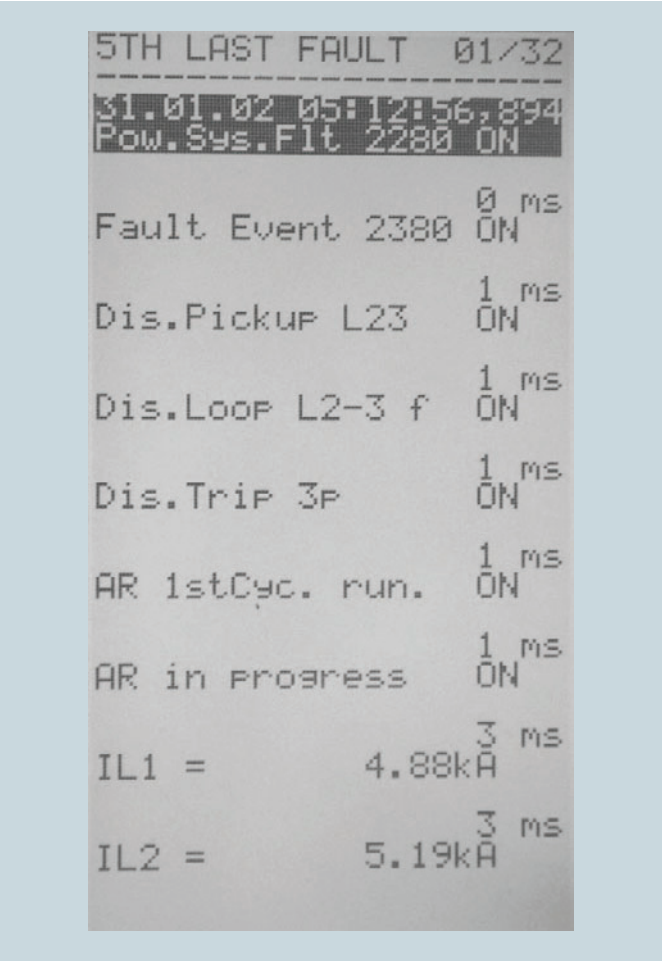


Рис. 6.2-38: Список аварийных событий, отображающийся на экране устройства.

Редактор графического дисплея
Редактор дисплея предназначен для изменения представления отображаемой информации. Наборы предустановленных символов могут быть дополнены пользователем самостоятельно. Создание графического представления однолинейной схемы не вызывает никаких затруднений. Текущие значения нагрузки (аналоговые значения) и любая текстовая или символьная информация может быть размещена в любой части экрана устройства.

Четыре независимые группы уставок
Уставки реле могут быть быстро адаптированы к изменившимся условиям эксплуатации. Реле обладает четырьмя независимыми группами уставок, которые могут быть заданы на этапе наладки, а также изменены удаленно (модемный канал) с помощью ПО DIGSI. Переключение группы уставок можно осуществить по факту активации необходимого дискретного входа, с помощью ПО DIGSI 4 (местно или дистанционно), с помощью встроенной клавиатуры или по последовательному системному интерфейсу.

Время регистрации аварийных процессов до пяти или более (несколько осциллограмм) секунд
Значения тока каждой фазы, тока замыкания на землю, тока линии и тока нулевой последовательности отображаются на осциллограммах. Запуск регистратора может быть осуществлен по факту активации соответствующего дискретного входа, при пуске защиты или при появлении команды на отключение. Максимально может быть сохранено до восьми аварийных осциллограмм. Во время наладки возможно осуществлять запуск осциллографирования с помощь ПО DIGSI 4. При заполнении памяти аварийного осциллографа самая старая запись о повреждении удаляется и на ее место записывается новая.

Для защит генератора, работающих с большой выдержкой времени, возможна регистрация действующих значений. Сохранение соответствующих вычисленных значений (U1, UE, I1, I2, IEE, P, Q, f-fn) происходит с шагом в один цикл промышленной частоты. Общее время регистрации составляет 80 с.

Синхронизация времени
Часы с буферной батареей могут быть синхронизированы сигналом синхронизации (например, DCF77, IRIG B через спутник), сигналом на дискретном входе, через системный интерфейс или через SCADA (например, SICAM). Метка с датой и временем присваивается каждому событию.

Функциональные клавиши
Четыре свободно программируемые функциональные клавиши предназначены для быстрого выполнения часто повторяющихся операций.

С помощью данных клавиш можно, например, осуществлять вывод на экран устройства список рабочих сообщений или выполнять операции по включению или отключению силового выключателя.

Непрерывная самодиагностика
Программное и аппаратное обеспечение подвергается постоянному контролю. Устройство незамедлительно сигнализирует об обнаружении неисправности. Таким образом, обеспечивается высокая степень надежности и безопасности.

Контроль батареи
Встроенный элемент питания (батарейка) предназначен для резервирования работы системных часов, хранения данных о переключениях и аварийных сообщениях, а так же для регистрации аварийных процессов в случае потери основного питания. Работоспособность элемента питания постоянно контролируется микропроцессором устройства. Если емкость батареи оказывается недостаточной, то подается предупреждающий сигнал. Таким образом, регулярной замены батареи не требуется.

Даже при неисправности элемента питания, потери настроек устройства не происходит, т.к. они сохраняются в стираемом перепрограммируемом постоянном запоминающем устройстве на основе флеш-памяти (Flash-EPROM). Устройства серии SIPROTEC 4 остаются полностью работоспособными в данном случае.

Помощь при вводе в эксплуатацию
Особое внимание уделяется вводу устройств в эксплуатацию. Работоспособность всех дискретных входов и выходных реле устройства может быть проверена в автономном режиме. Данная возможность позволяет значительно облегчить проверку правильности подключения устройства. Пользователь может инициировать передачу устройством тестовых сообщений в систему управления подстанции.

CFC: Пользовательская логика
С помощью графического инструмента CFC (Continuous Function Chart) пользователь самостоятельно может задавать логику работы устройства, комбинируя необходимые логические элементы; для выполнения данных действий не требуется дополнительной подготовки. Доступны следующие логические элементы: И, ИЛИ, триггеры и таймеры. Пользователь может создавать свои функции, а также комбинации внешних и внутренних сигналов.

Интерфейсы связи
Особое внимание в устройствах уделяется связи с устройствами, что означает использование стандартных, принятых в области автоматизации объектов энергетики, интерфейсов. Коммуникационные модули устройства являются взаимозаменяемыми, тем самым обеспечивается поддержка устройством новых интерфейсов приема/передачи данных.

Интерфейс связи с ПК
Расположенный на передней панели устройства порт связи с ПК позволяет осуществлять быстрый доступ ко всем настройкам и записям аварийного осциллографа. Во время ввода в эксплуатацию данный интерфейс позволяет использовать ПО DIGSI 4.

Модификация (ретрофит): Коммуникационные модули
Возможна поставка устройства с двумя коммуникационными модулями: сервисным интерфейсом и интерфейсом управления подстанции. Так же возможно дооснащение устройства необходимыми коммуникационными модулями позже, по мере возникновения такой необходимости. Данные модули монтируются в специальные слоты, расположенные на задней стенке устройства. По умолчанию все устройства поставляются с интерфейсом синхронизации.

Установка коммуникационных модулей возможна во все реле серии SIPROTEC 4. В зависимости от типа устройства доступны следующие протоколы: МЭК 60870-5-103, PROFIBUS DP, MODBUS RTU, DNP 3.0 и Ethernet с МЭК 61850. Применение дополнительных конверторов протоколов не требуется (рис. 6.2-39 – рис. 6.2-43).

Все устройства удовлетворяют предъявляемым в области автоматизации объектов энергетики требованиям:
- Любая информация содержит метку времени (присваивается источником), т.е. там, где она формируется.
- Система обмена данными поддерживает автоматическую передачу информации большого объема (например, записей аварийного осциллографа или файлов конфигурации). Пользователь может осуществлять данные действия, не обладая специальными знаниями в области программирования.
- Для надежного исполнения команд, поступающий сигнал в первую очередь подтверждается устройством, для которого он непосредственно предназначен. Когда команда исполнена, вырабатывается соответствующее сообщение о проверке. Текущее состояние команды проверяется на каждом шаге ее исполнения. При неудовлетворительном исполнении команды возможно осуществить ее контролируемое прерывание.

Рис. 6.2-39: **Реле защиты**

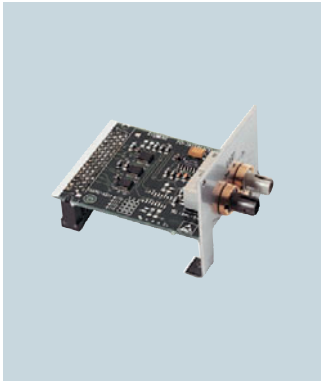


Рис. 6.2-40: **Коммуникационный модуль, оптический**

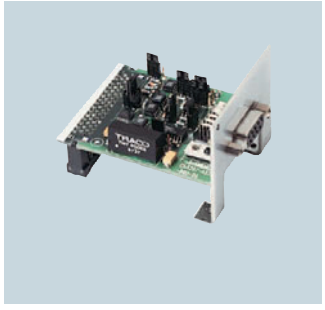
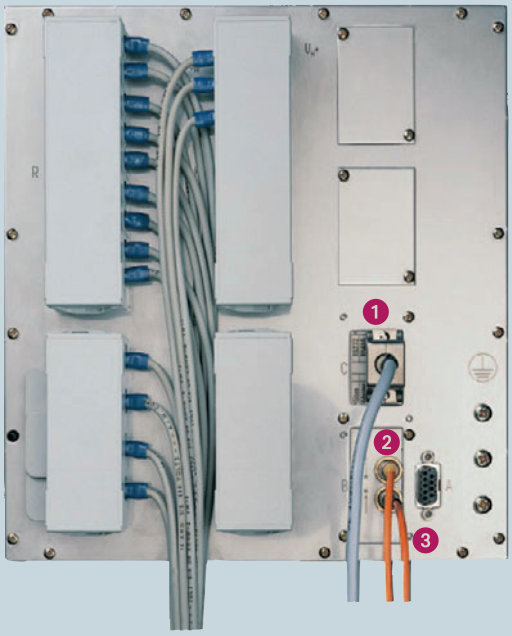


Рис. 6.2-41: **Коммуникационный модуль RS232, RS485**

Рис. 6.2-42: **Коммуникационный модуль, оптическое кольцо**



Возможно использование следующих интерфейсов:

❶ **Сервисный интерфейс (опция)**
Некоторые реле защиты могут управляться через ПО DIGSI 4, например, с помощью звездообразного разветвителя или по RS485-шине. При модемном соединении возможно осуществлять дистанционное управление. Это дает преимущество во время ликвидации повреждений, особенно на необслуживаемых электрических станциях. (Так же данный интерфейс может использоваться для подключения внешних датчиков контроля температуры.)

❷ **Системный интерфейс (опция)**
Данный интерфейс предназначен для связи с системой управления и поддерживает, в зависимости от используемого коммуникационного модуля, большое количество протоколов приема/передачи информации.

❸ **Интерфейс синхронизации времени**
Сигнал синхронизации (DCF 77, IRIG B через спутник) может подаваться на данный вход, если системный интерфейс не используется для синхронизации по времени. Это позволяет присваивать высокоточные временные метки.

Рис. 6.2-43: **Вид сзади при выполненных электрических подключениях, установленной крышкой клеммника и наличием последовательных интерфейсов.**

Надежная шинная архитектура

- Двойное оптоволоконное кольцо через Ethernet.
  Двойное оптоволоконное кольцо не подвержено влиянию электромагнитных помех. Система продолжает беспрерывное функционирование даже при повреждении соединения между двумя устройствами. Выход из строя любого устройства не оказывает влияния на работу остальной части системы (рис. 6.2-44).
- RS485-шина
  При передаче данных по медным кабелям снижение влияния электромагнитных помех достигается за счет использования витой пары. Система продолжает беспрерывное функционирование даже при повреждении устройства (рис. 6.2-45).
- Схема соединения «звезда»
  Реле подключаются к системе управления с помощью оптоволоконных кабелей по схеме «звезда». Неисправность одного реле/соединения не оказывает влияния на функционирование других устройств (рис. 6.2-46).

В зависимости от типа устройства доступны следующие протоколы:

- Протокол МЭК 61850
  Начиная с 2004 года, протокол МЭК 61850 на основе Ethernet является мировым стандартом в системах релейной защиты и управления. Компания Siemens была первым производителем, кто обеспечил поддержку данного стандарта своими устройствами. С помощью данного протокола устройства защиты присоединений могут осуществлять прямой обмен информацией между собой, что позволяет организовывать простые схемы взаимной блокировки. ПО DIGSI позволяет организовывать доступ к устройствам по Ethernet-шине.
- МЭК 60870-5-103
  МЭК 60870-5-103 является международным стандартизированным протоколом, который обеспечивает эффективную передачу данных между устройствами релейной защиты и системой управления. Имеется возможность использовать специально-разработанные и опубликованные компанией Siemens расширения для данного протокола.
- PROFIBUS DP
  Данный протокол рекомендуется использовать при подключении к ПЛК SIMATIC. Используя протокол PROFIBUS DP возможно организовать прямое подключение реле защиты к SIMATIC S5/S7. Передаваемыми данными являются: данные о повреждениях, значения измеренных величин и команды управления.

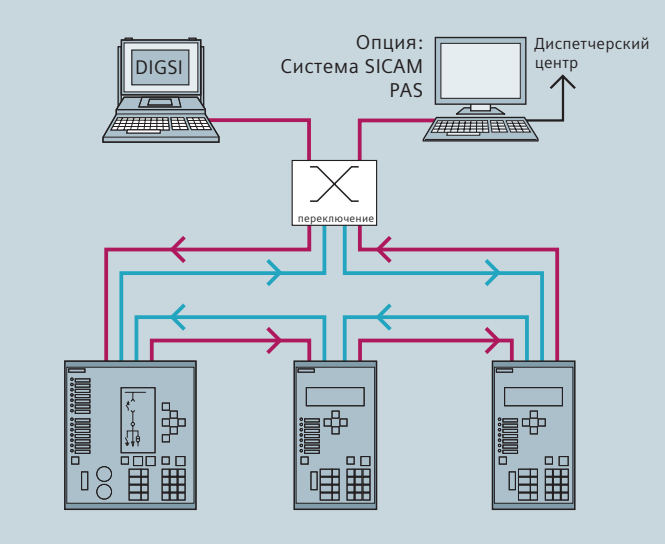


Рис. 6.2-44: **Кольцевая шинная структура станционной шины с Ethernet и МЭК 61850**

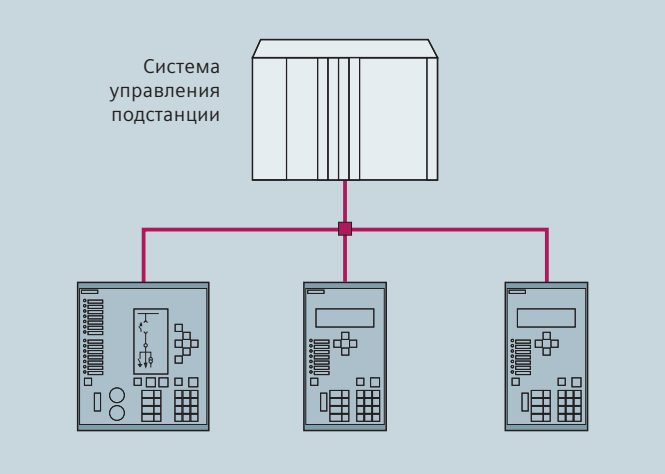


Рис. 6.2-45: **PROFIBUS: Подключение по электрическому RS485**

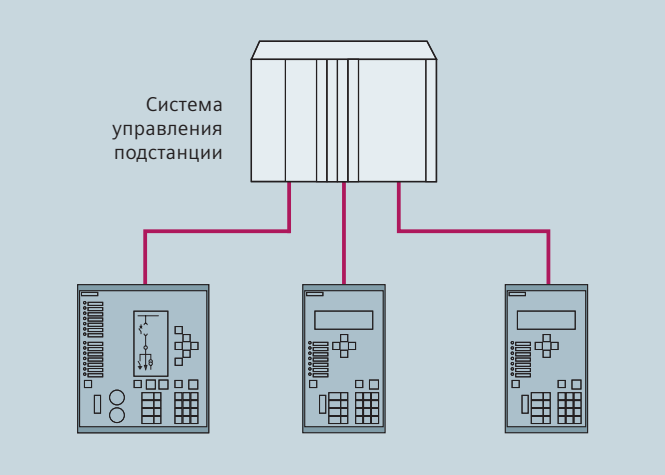


Рис. 6.2-46: **МЭК 60870-5-103: Схема соединения типа «звезда» с использованием оптоволоконных кабелей**

MODBUS RTU
MODBUS так же является широко используемым стандартом связи в области автоматизации.

DNP 3.0
Протокол DNP 3.0 (Distributed Network Protocol, версия 3) основан на обмене сообщениями. Устройства серии SIPROTEC 4 полностью совместимы с протоколом DNP 3.0 1-го и 2-го уровня, который поддерживается большим количеством цифровых реле разных производителей.

Управление
Помимо функций защиты устройства серии SIPROTEC 4 включают в себя все необходимые для сетей среднего и высокого напряжения функции управления и автоматики. Данные функции обеспечивают надежное управление переключениями и иными процессами. Информация о состоянии первичного оборудования может быть передана в устройства защиты посредством соответствующих блок-контактов, подключенных к дискретным входам цифрового реле.

Таким образом, возможно контролировать и отображать на экране устройства включенное и отключенное положение выключателя, его неисправность или промежуточное положение. Контроль распределительного устройства осуществляется с помощью:
- Встроенной панели управления.
- Дискретных входов устройства.
- Системы управления подстанции.
- При помощи ПО DIGSI 4.

Автоматика
Пользователь при помощи встроенного графического редактора (CFC-логика) может самостоятельно задавать необходимую логику работы функций автоматики. Работа данных функций активируется при нажатии соответствующих функциональных клавиш, при поступлении сигнала на соответствующий дискретный вход или через интерфейс связи.

Режим управления
Доступна следующая иерархия режима управления: МЕСТНОЕ, ПО DIGSI 4, ДИСТАНЦИОННОЕ. Режим управления определяется заданными параметрами или при помощи ПО DIGSI 4. Если выбран МЕСТНЫЙ режим управления, то коммутационные операции могут быть осуществлены только по месту. Каждая операция по переключению или изменению положения силового выключателя регистрируется с присвоением соответствующей временной метки.

Обработка команд
Цифровые реле защиты серии SIPROTEC 4 обладают всеми необходимыми функциями по обработке поступающих команд, включая обработку одиночных или двойных команд с проверкой или без проверки их выполнения, и осуществляют контроль их исполнения.

Устройства могут формировать управляющие воздействия с использованием функций, например, контроль времени выполнения команды и автоматическое прекращение ее выдачи.

Рис. 6.2-47: **Инженер-релейщик за работой**

Типовыми вариантами использования являются:
- Одиночные или двойные команды, используя 1 контакт на включение, 1контакт на отключение плюс 1 общий или 2 выходных контакта, действующих на отключение.
- Определяемая пользователем логика блокировки.
- Последовательность действий, объединяющая несколько операций по переключению, например, управление выключателем, разъединителем и заземляющим ножом.
- Пуск операций по переключению, индикация или выдача аварийного сигнала с учетом анализа существующей информации (рис. 6.2-47)).

Положение выключателя или другого коммутационного аппарата контролируется при помощи блок-контактов. Положения блок-контактов контролируются дискретными входами устройства, которые логически связаны с соответствующими командными выходами. Поэтому устройство способно различать по какой причине произошло изменение положения коммутационного аппарата: в результате управляемого переключения или в результате спонтанного изменения состояния.

Выходная информация
Последующие сообщения (или команды) могут быть сформированы на основе существующих сообщений. Так же могут быть сформированы групповые сообщения. Объем передаваемой по системному интерфейсу информации может быть сокращен, тем самым передаваться будет только самая необходимая информация.

Серия SIPROTEC 5 – новый эталон для устройств защиты, автоматики и управления
Устройства серии SIPROTEC 5 вобрали в себя весь опыт, накопленный при эксплуатации устройств РЗА предыдущих серий и были специально разработаны для удовлетворения новых требований, предъявляемым к современным системам высокого напряжения. Для этих целей устройства серии SIPROTEC 5 обладают всеми необходимыми функциями. Мощное инженерное ПО DIGSI 5 обеспечивает комплексный подход к решению поставленных задач, начиная от проектирования и заканчивая наладкой и последующим обслуживанием.

Благодаря возможности модульного расширения программного и аппаратного обеспечения, каждое устройство может быть точно приспособлено под эксплуатацию в конкретных условиях; данной возможностью так же обеспечивается и адаптация устройств к новым требованиям и стандартам в области электроэнергетики и релейной защиты.

Помимо наличия надежных и селективных функций защиты и всеобъемлющей автоматики, устройства серии SIPROTEC 5 предлагают обширную базу данных для управления и мониторинга современных энергосистем. Обеспечивается возможность использования синхронных векторных величин (PMU), данных о качестве электроэнергии и исчерпывающей технологической информации от эксплуатируемого оборудования.

- Широчайший выбор защитных функций обеспечивает сохранность электрического оборудования и обеспечивает безопасность обслуживающего персонала.
- Возможность индивидуальной конфигурации каждого цифрового реле позволяет сократить первоначальные затраты и затраты, связанные с хранением запасных частей, обслуживанием и будущей модернизации устройств.
- Удобная работа с устройствами и ПО за счет их продуманного исполнения.
- Повышение надежности и качества процесса проектирования.
- Высокая надежность эксплуатации за счет применяемых мер по обеспечению безопасности.
- Наличие мощных коммуникационных компонентов позволяет реализовывать надежные и эффективные решения.
- Полная совместимость между 1-й и 2-й редакцией МЭК 61850.
- Эффективные концепции управления благодаря возможности использования МЭК 61850 2-й редакции.
- Наличие мощных коммуникационных компонентов позволяет реализовывать надежные и эффективные решения.
- Полная совместимость между 1-й и 2-й редакцией МЭК 61850.
- Эффективные концепции управления благодаря возможности использования МЭК 61850 2-й редакции.
- Наличие обширной базы данных для осуществления мониторинга современных энергосистем.
- Оптимальная платформа для автоматизации передающей электрической сети, основанная на встроенном измерении синхронных векторов (PMU) и функциях, относящихся к определению показателей качества электроэнергии .

Рис. 6.2-48: **SIPROTEC 5 – модульная конструкция аппаратного обеспечения**

Рис. 6.2-49: **Устройства серии SIPROTEC 5 – вид сзади**

Рис. 6.2-50: **Применение в системах высокого напряжения**

Инновационная функциональность
Устройства серии SIPROTEC 5 объединяют в себе функции, надежность которых доказана многолетним опытом их использования, и новую гибкую высокопроизводительную платформу, дополненную инновационными решениями для решения текущих задач и задач будущего.

Комплексный подход к организации рабочего процесса
Инструменты комплексного проектирования, начиная от проекта и заканчивая вводом в эксплуатацию, упрощают работу на каждом этапе.

Важной особенностью устройств серии SIPROTEC 5 является простота их повседневного использования. Серии SIPROTEC 5 осуществляет поддержку пользователя на всех стадиях рабочего процесса, позволяя осуществлять детальное конфигурирование каждого устройства, что приводит к сокращению денежных и временных затраты без ущерба для качества.

Комплексный подход к организации рабочего процесса с SIPROTEC 5 означает:
- Унифицированная среда проектирования систем и устройств – от создания однолинейной схемы до параметрирования устройства.
- Простая, и интуитивно-понятная графическая связь первичного и вторичного оборудования.
- Расширяемая библиотека шаблонов для часто используемых применений устройств.
- Не привязанный к конкретному производителю инструмент для облегчения процесса разработки систем.
- Пользовательские библиотеки.
- Концепция многопользовательской параллельной работы.
- Открытые интерфейсы для эффективного интегрирования в существующую технологическую среду.
- Пользовательский интерфейс, разработанный с учетом пожеланий эксплуатирующего персонала.
- Интегрированные инструменты для выполнения тестирования на всех стадиях проектирования и ввода в эксплуатацию, а так же возможность моделирования поведения энергосистемы, например, при повреждениях и выполнении переключений.

Для системных операторов комплексный подход к организации рабочего процесса в серии SIPROTEC 5 означает следующее: инструмент для комплексной организации рабочего процесса, начиная от проекта и заканчивая вводом в эксплуатацию, позволяющий так же расширять и перекрещивать зоны ответственности – это сокращает затрачиваемое время и обеспечивает одновременно и конфиденциальность и прозрачность информации на протяжении всего времени эксплуатации системы.

Рис. 6.2-51: **Комплексные решения – от проектирования до ввода в эксплуатацию**

Универсальность
Возможность индивидуального конфигурирования каждого устройства обеспечивает реализацию экономически эффективных решений, четко отвечающим вашим требованиям.

Устройства серии SIPROTEC 5 устанавливают новые стандарты в области снижения издержек и готовности к работе, что достигается за счет легко адаптируемого под свои нужды аппаратного и программного обеспечения. Устройства серии SIPROTEC 5 идеально подходят для совместного использования с оборудованием распределительных устройств.

Универсальность устройств серии SIPROTEC 5 означает следующее:
- Модульное исполнение программного и аппаратного обеспечения гарантирует простую адаптацию устройств к вашим нуждам.
- Выполнение устройствами широкого спектра задач: защита, управление, измерение, контроль качества электроэнергии и осциллографирование аварийных процессов.
- Единые типы коммуникационных модулей и модулей расширения для всех устройств серии SIPROTEC 5.
- Использование нового типа клеммных зажимов обеспечивает простое подключение устройства и взаимозаменяемость с максимально-возможной степенью безопасности.
- Наличие одинаковых функций и согласованных интерфейсов во всех устройствах серии позволяют упростить квалификационные требования к обслуживающему персоналу и повысить безопасность использования, например, функция автоматического повторного включения (АПВ) одинакова для устройств защиты линии типа 7SD8, 7SA8, 7SL8.
- Для адаптации к предъявляемым требованиям, функции устройства могут быть индивидуально настроены.
- Возможность функционального расширения всех устройств серии.

Для системных операторов универсальность устройств серии SIPROTEC 5 означает следующее:
Возможность индивидуального конфигурирования каждого цифрового реле позволяет сократить первоначальные затраты и затраты, связанные с хранением запасных частей, обслуживанием и адаптацией к будущим потребностям системы.

Автоматизация распределительных сетей
Наличие большого числа функций, предназначенных для построения интеллектуальных сетей.

Изменение климата и истощение ископаемых видов топлива вынуждает произвести полную переоценку отрасли энергоснабжения, начиная с выработки и заканчивая распределением и потреблением электроэнергии. Это влечет за собой глобальные изменения в структуре энергосистемы и принципов ее управления.

Интеллектуальная автоматизация является основным компонентом, призванным сохранить стабильность энергосистемы и в то же время обеспечить накопление электроэнергии.

Устройства серии SIPROTEC 5 предлагают оптимальную платформу для построения интеллектуальных сетей.

Интеллектуальная автоматизация электрических сетей на основе устройств серии SIPROTEC 5 означает:
- Открытую, масштабируемую архитектуру для IT-интеграции и добавления новых функций.
- Соответствие самым новым стандартам в области передачи данных и информационной безопасности.

- «Интеллектуальные функции», например, для управления режимами энергетической системы, анализа повреждений или контроля показателей качества электроэнергии (мониторинг энергетической системы, блок управления мощностью, определение места повреждения).
- Комплексная автоматизация при помощи оптимизированных логических модулей, соответствующих стандарту МЭК 61131-3.
- Высокоточный сбор и обработка значений технологических параметров, и их передача к другим компонентом интеллектуальной сети.
- Защита, автоматика и мониторинг компонентов интеллектуальной сети.

Функциональная интеграция
Благодаря модульному построению аппаратного и программного обеспечения и наличию мощного инженерного ПО DIGSI 5, устройства серии SIPROTEC 5 идеально подходят для защиты, автоматизации, измерений и мониторинга энергетического оборудования.

Данные устройства выполняют не только функции защиты и автоматики, их производительность позволяет им обеспечивать функциональную интеграцию желаемой глубины и масштаба. Например, данные устройства могут выполнять мониторинг, векторные измерения, осциллографирование аварийных процессов и широкий спектр функций измерений; так же технические характеристики устройства поддерживают дальнейшее функциональное расширение.

Устройства серии SIPROTEC 5 обеспечивают высокоточный сбор информации и регистрацию выполнения данных функций. Функциональность устройств в сочетании с широкими возможностями приема/передачи информации позволяет использовать устройства серии SIPROTEC 5 в проектах с нестандартными требованиями; так же характеристики устройства поддерживают дальнейшее функциональное расширение, что позволяет адаптировать их к любым требованиям.

Использование устройств серии SIPROTEC 5 позволяет повысить безопасность и надежность. На рис. 6.2-52 показано возможное функциональное расширение устройств серии SIPROTEC 5.

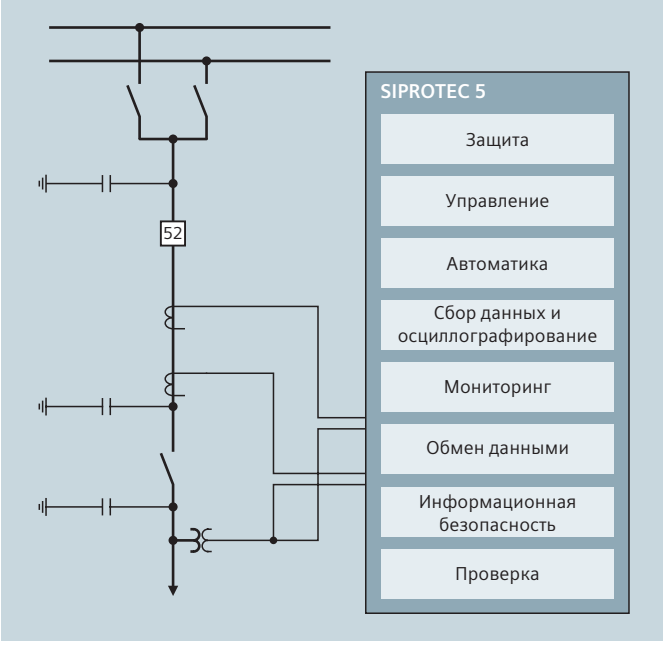


Рис. 6.2-52: **Возможное функциональное расширение устройств серии SIPROTEC 5**

Функциональная интеграция – Защита
Устройства серии SIPROTEC 5 обладают всеми необходимыми функциями для обеспечения надежной и безопасной работы энергетической системы. Серия SIPROTEC 5 подходит для использования в распределительных устройствах с несколькими системами сборных шин и в распределительных устройствах с полуторной схемой. Надежность функций подтверждена многолетним опытом их использования, а так же учтены и пожелания и требования заказчиков.

Модульное, функциональное построение устройств серии SIPROTEC 5 обеспечивает непревзойденную приспособляемость устройств к нуждам заказчиков и эксплуатирующих организаций, а также их модернизацию в будущем.

Функциональная интеграция – Управление
Устройства серии SIPROTEC 5 обладают необходимыми функциями управления и мониторинга, наличие которых требуется для эффективного управления оборудованием подстанции. Поставляемые шаблоны типового использования позволяют полностью реализовать функциональные возможности данных устройств. Функции защиты и управления построены на одинаковых логических элементах.

Новый уровень качества управления был реализован за счет поддержки устройствами стандарта МЭК 61850. Например, поступающая от полевых устройств дискретная информация и данные (к примеру, для организации взаимной блокировки) могут передаваться между устройствами. Обмен сообщениями GOOSE позволяет реализовывать эффективные решения, таким образом, происходит замена традиционных проводных цепей (контрольных кабелей) телеграммами данных. Базовые настройки всех устройств обеспечивают управление до 4 коммутационными аппаратами (силовой выключатели, разъединители, заземляющие ножи). Возможно активировать управление дополнительными коммутационными аппаратами и блоком последовательности переключений при помощи CFC-логики.

Функциональная интеграция – Автоматика
Встроенные графические функции автоматики позволяют пользователям самостоятельно создавать логические схемы. ПО DIGSI 5 обеспечивает данную возможность за счет наличия мощных логических модулей, соответствующих стандарту МЭК 61131-3.

Пример использования:
- Проверка условий блокировки.
- Последовательность переключений (логическая схема последовательности переключений (CFC-логика)).
- Формирование сообщений на основе информации о переключениях.
- Формирование сообщений или предупреждений на основе анализа доступной информации.
- Автоматическая частотная разгрузка (арифметическая логическая схема (CFC-логика) и логическая схема последовательности переключений (CFC-логика)).
- Управление децентрализированными источниками питания.
- Изменение топологии системы в зависимости от внешних факторов.
- Автоматическое деление сети для решения проблемы устойчивости.

Устройства серии SIPROTEC 5 также обеспечивают автоматизацию подстанции подобно системе SICAM PAS, что позволяет реализовывать функциональные и эффективные решения по дальнейшей автоматизации подстанции.

Функциональная интеграция – Мониторинг
Устройства серии SIPROTEC 5 могут выполнять множество задач мониторинга. Они разделены на четыре группы:
- Самоконтроль.
- Контроль стабильности сети.
- Контроль качества электрической энергии.
- Контроль оборудования (контроль состояния).

Самоконтроль
Устройства серии SIPROTEC 5 оснащены большим количеством алгоритмов самоконтроля. Эти алгоритмы обнаруживают внутренние ошибки устройства, а также внешние ошибки во вторичных цепях и сохраняют их в буферах для записи и сообщения. Эта записанная информация может использоваться для определения причины, приведшей к срабатыванию функции самоконтроля и принять соответствующие меры коррекции последствий.

Стабильность сети
Контроль сети объединяет все системы мониторинга, которые являются необходимыми для обеспечения стабильности в сети во время нормальной работы сети. Для мониторинга сети устройства SIPROTEC 5 обеспечивают всю необходимую функциональность, например, осциллографирование повреждений, непрерывное запись режима сети, функция ОМП и измерения синхронных векторных величин (PMU).

Качество электрической энергии

Для этого в серии SIPROTEC 5 имеются соответствующие рекордеры, записывающие качество электрической энергии. Они могут использоваться, чтобы обнаружить слабые места в сети, чтобы можно было принять соответствующие корректирующие меры.

Большой объем данных архивируется централизованно и затем анализируется системой SICAM PQS.

Оборудование
Мониторинг оборудования (контроль состояния) - важный инструмент в управлении активами и эксплуатационной поддержке из которого могут извлечь выгоду и окружающая среда и компания.

Функциональная интеграция – Сбор и накопление данных и запись

Собранная и записанная в журналы информация является всеобъемлющей. Она отображает состояние объекта в хронологическом порядке. Это также используется функциями в устройстве SIPROTEC 5 для мониторинга, решения задач автоматизации ячейки и подстанции.

Это также является основой развития функциональности и в будущем.

Функциональная интеграция – Связь
Устройства SIPROTEC 5 оборудованы высокоэффективными интерфейсами связи. Это как интегрированные интерфейсы так и интерфейсы, которые установлены в модулях расширения, что обеспечивает высокий уровень безопасности и гибкости. Доступны различные модули связи. В то же время модуль независим от используемого протокола. Протокол может быть загружен в соответствии с применением. Особое значение было дано реализация полного коммуникационного дублирования (избыточности):
- Несколько дублирующих интерфейсов связи.
- Дублирующие, независимые протоколы связи центром контроля (например, МЭК 60870-5-103 и МЭК 61850 или двойной МЭК 60870-5-103 или DNP3 и IP DNP).
- Полная доступность связи при выводе коммутатора из работы для обслуживания.
- Дублированность синхронизации времени (например, IRIG-B и SNTP).

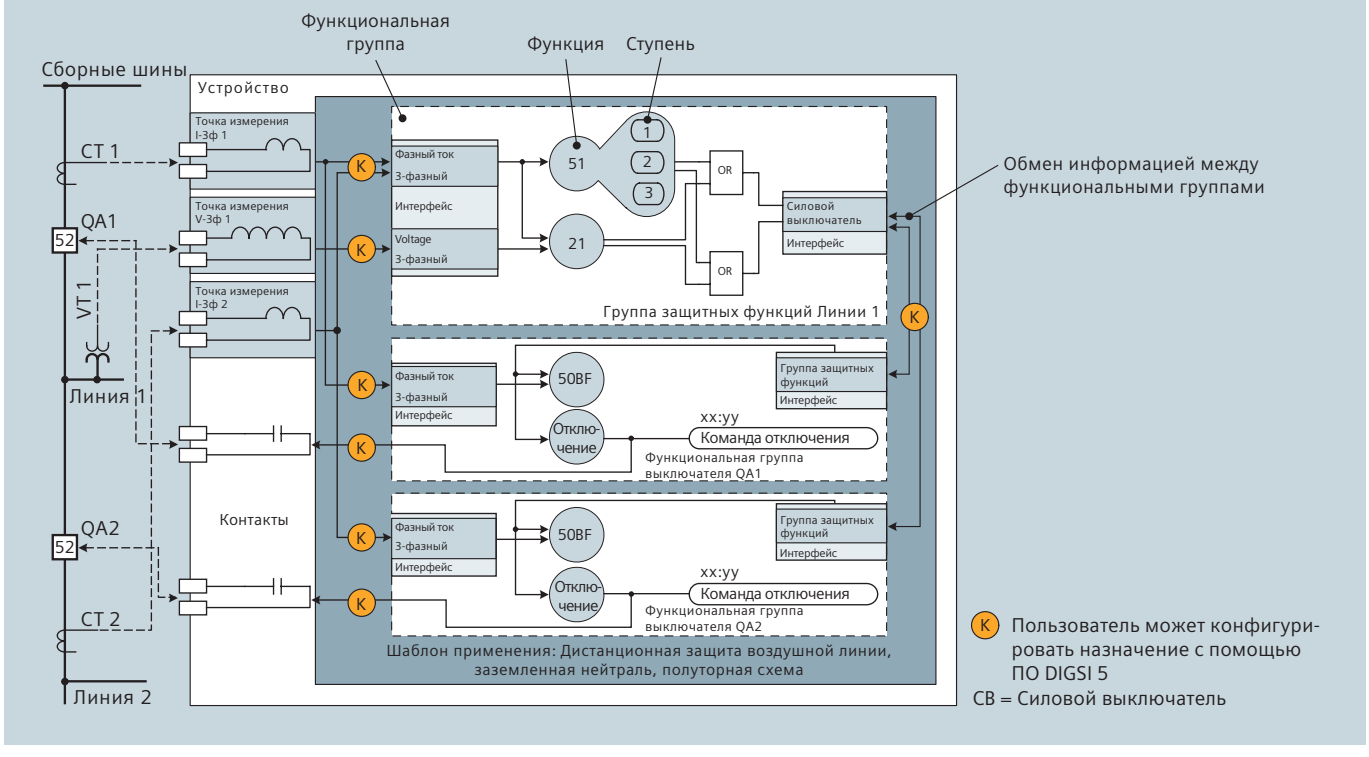


Рис. 6.2-53: **Конфигурация системы с прикладным шаблоном для «полуторной» схемы**

Функциональная интеграция – Информационная безопасность (кибер-безопасность)
Концепция многоуровневой безопасности для устройства и DIGSI 5 обеспечивает пользователя высоким уровнем защиты от внешних атак по каналам связи и соответствует требованиям Немецкого стандарта BDEW Whitebook и стандарта NERC CIP.

Функциональная интеграция – Тестирование
Для сокращения времени тестирования и наладки, в DIGSI 5 пользователю доступны функции всестороннего тестирования и диагностические функции. Они объединены в наборе тестов DIGSI 5.

Испытательный спектр включает среди других тестов:
- Тест аппаратных средств и вторичных соединений.
- Функциональный тест и тест функции защиты.
- Моделирование цифровых сигналов и аналоговых последовательностей встроенным испытательным оборудованием.
- Отладка и выявление неисправностей логических схем.
- Тест выключателя и АПВ.
- Тестирование интерфейсов связи.
- Тест петли при проверке каналов связи.
- Тест протокола.

Создание проекта, его отладка и ввод в работу, включая тест устройства, может, поэтому, быть выполненным одним инструментом.

Шаблоны применений
Шаблоны применений позволяют системным операторам быстро внедрять свои типовые решения. Доступна библиотека стандартных шаблонов применений, которые могут быть «подогнаны» под специфический набор функций и для специфических применений.

На рис. 6.2.54 показан пример конфигурации системы для «полуторной» схемы. Функции в шаблоне применений собраны в функциональные группы (ФГ). Функциональные группы (ФГ) соответствуют первичным элементам (защищаемый объект: линия, коммутационное устройство: выключатель), тем самым облегчая прямую привязку в действительной схеме. Например, если распредустройство состоит из двух выключателей, то это будет представлено двумя функциональными группами «силовой выключатель» - схематическим отображением реальной системы.

Рис. 6.2-54: **Устройство SIPROTEC 5 с дополнительными модулями**

Оптимизация прикладного шаблона для определенного применения
Системный оператор может приспособить прикладные шаблоны к соответствующему применению и создать свои собственные внутренние шаблоны. Необходимое число ступеней или зон защиты может быть без труда увеличено. В устройство без труда могут быть загружены дополнительные функции непосредственно из обширной библиотеки функций. Так как функции имеют общую структуру во всей системе SIPROTEC 5, то защитные функции и даже целые группы функций, включая параметрирование, могут быть скопированы с одного устройства в другое.

Аппаратная часть и «заказной» конфигуратор
Стандартные блоки аппаратных средств SIPROTEC 5 предлагают свободно конфигурировать устройство. Системный оператор имеет выбор: либо использовать уже предварительно сконфигурированное устройство, в соответствии с вашим применением, либо «строить» устройство из стандартных блоков аппаратных средств SIPROTEC 5, чтобы точно соответствовать вашему применению.

Гибкие стандартные блоки аппаратных средств предлагают Вам:
- Основные модули и модули расширения, каждый с различным модулем входов/выходов.
- Различные виды передней панели устройства.
- Большое количество модулей для коммуникации, преобразования измеряемых величин и расширения памяти

С SIPROTEC 5 Siemens изменил дизайн своих устройств. Уже зарекомендовавшие себя элементы были улучшены, и были добавлены инновационные идеи. При взгляде на новые устройства легко убедиться в их модульной структуре.

В устройствах SIPROTEC 7xx85, 7xx86 and 7xx87 вы можете комбинировать различные основные блоки и блоки расширения, выбирая вариант, наиболее подходящий по габаритам для вашей установки. Устройства серий SIPROTEC 7xx82 и 7xx84 не могут дополняться модулями расширений (бюджетный вариант). На рис. 6.2-54 показано устройство, состоящее из основного (базового) модуля и 4-х модулей расширения.

Преимущество модульных стандартных блоков
Стандартные блоки модуля аппаратных средств SIPROTEC 5 включают в себя совокупный опыт Siemens в цифровых защитных устройствах контроллерах присоединений. Кроме того, специфичные инновации сделали их применение легче для Вас, например, функции записи и осциллографирования, а также добавление функции анализа качества электроэнергии (PQ-функциональность).

Блочное построение серии SIPROTEC 5 предлагает:

Долговечность и прочность
- Возможность расширения и адаптации аппаратных средств.
- Прочность корпусов.
- Великолепная ЭМС за счет экранирования в соответствии с самыми последними стандартами и стандартом МЭК 61000-4.
- Расширенный температурный диапазон -25..+70˚C/ –13˚F..+158˚F.

Модульный принцип
- Свободно конфигурируемое и расширяемое устройство.
- Большой диапазон по аналоговым входам (до 24 каналов от ТТ и ТН для целей РЗА, до 40 каналов в централизованной ДЗШ и более чем 200 входов и выходов для записи).
- Свободный выбор типа передней панели (например, большой или маленький дисплей, с/без ключей-переключателей, съемная передняя панель).
- Одна и та же нумерация клемм для «утопленного» и «навесного» исполнений.

Выбор конфигуратора
Заказной конфигуратор помогает в выборе нужного продукта серии SIPROTEC 5. Заказной конфигуратор является WEB-приложением и может работать в любом браузере. Конфигуратор SIPROTEC 5может использоваться как для выбора устройств целиком, так и для выбора отдельных компонентов, таких как модули связи или модули расширения. В конце процесса конфигурации выдается код продукта и детальная презентация результата выбора. Конфигуратор однозначно описывает продукт и также служит для формирования заказного кода.

6.2.3 Системы релейной защиты. ПО DIGSI 4, Конфигуратор МЭК61850 и SIGRA 4 для работы с устройствами защиты

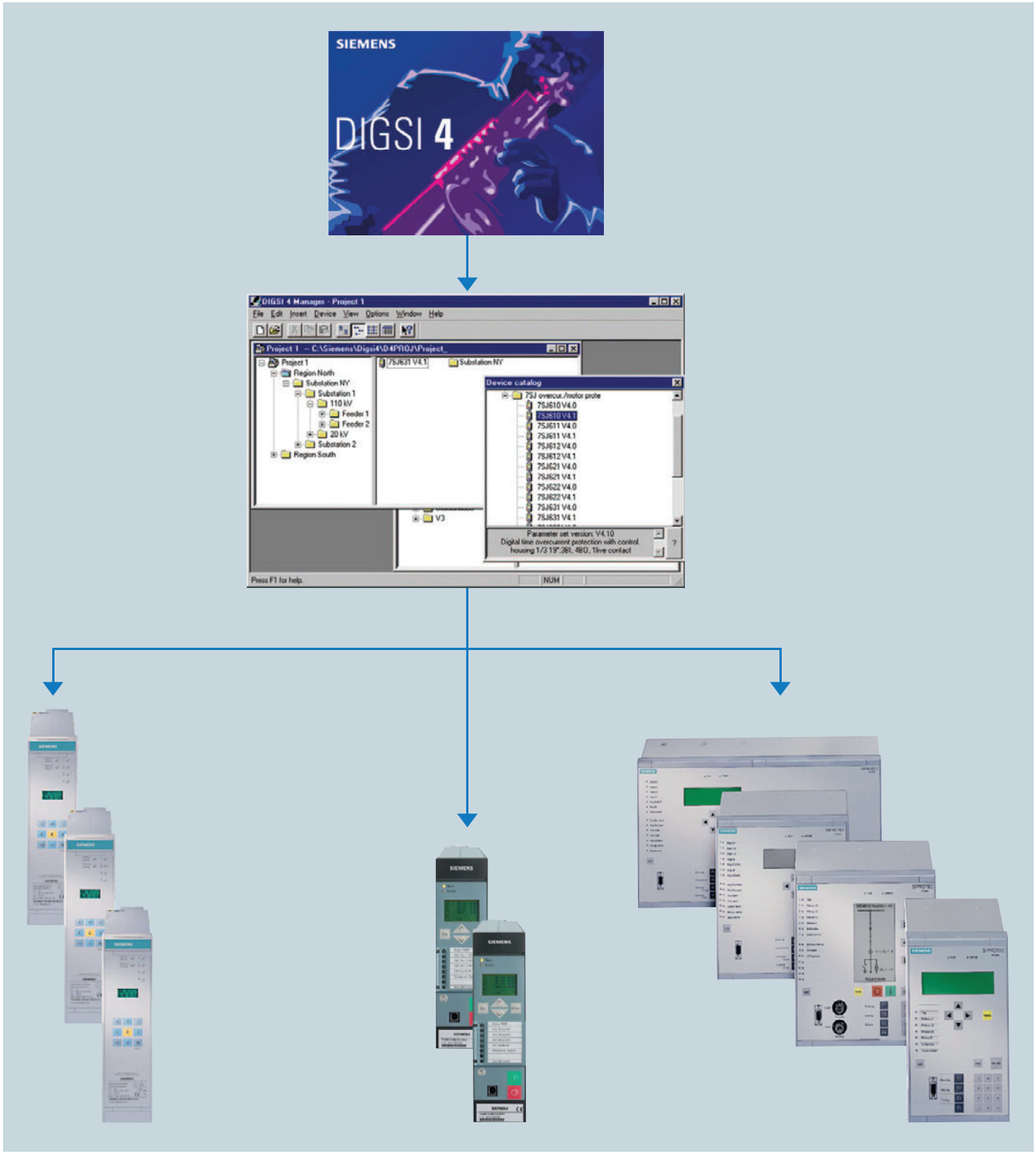


Рисунок 6.2-55: **ПО DIGSI 5 для работы с устройствами релейной защиты**

DIGSI 4 – ПО для работы со всеми устройствами защиты серии SIPROTEC (кроме SIPROTEC 5)

Описание
Программа DIGSI 4, устанавливаемая на ПК, является пользовательским интерфейсом для работы с устройствами серии SIPROTEC независимо от их версии (кроме SIPROTEC 5). Данное ПО имеет современный интуитивно понятный интерфейс. При помощи DIGSI 4 выполняется и конфигурирование и анализ работы устройств серии SIPROTEC, применяющихся в промышленности и системах распределения электроэнергии.

Функции
Из множества доступных защитных функций можно легко выбрать и ввести в работу только те из них, которые требуются в данном конкретном случае (см. рис. 6.2-56). Таким образом облегчается работа с другими меню.

Задание уставок устройства в первичных или вторичных величинах
Значения уставок могут вводиться и отображаться либо в первичных, либо во вторичных величинах. Переход от первичных ко вторичным величинам и наоборот выполняется при помощи одного щелчка мышкой по панели инструментов (см. рис. 6.2-56).

Матрица ранжирования
Матрица ранжирования в DIGSI 4 дает пользователю полное представление о конфигурации устройства (рис. 6.2-57). На одном экране представлено ранжирование светодиодов, дискретных входов и выходных реле. При этом ранжирование может быть изменено одним щелчком мыши.

CFC. Разработка логических схем вместо программирования
При помощи CFC (continuous function chart – непрерывные функциональные схемы) возможно связывать и логически обрабатывать информацию без специальных знаний в программировании путем графического построения логических схем технологического процесса, всевозможных блокировок и различных последовательностей операций.

Для реализации логических схем доступно множество логических элементов (И, ИЛИ, таймеры и др.), а также запросы о превышении пороговых значений измеряемыми величинами (рис. 6.2-58).

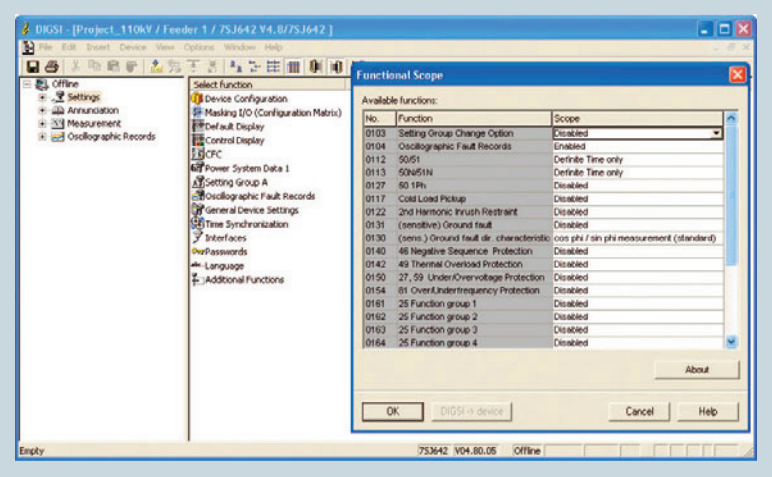


Рисунок 6.2-56: **Главное меню DIGSI 4, выбор защитных функций**

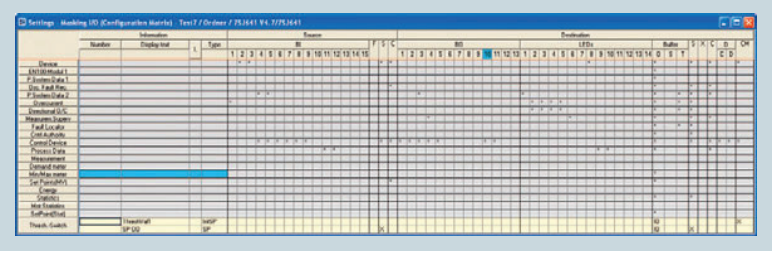


Рисунок 6.2-57: **Матрица ранжирования DIGSI 4**

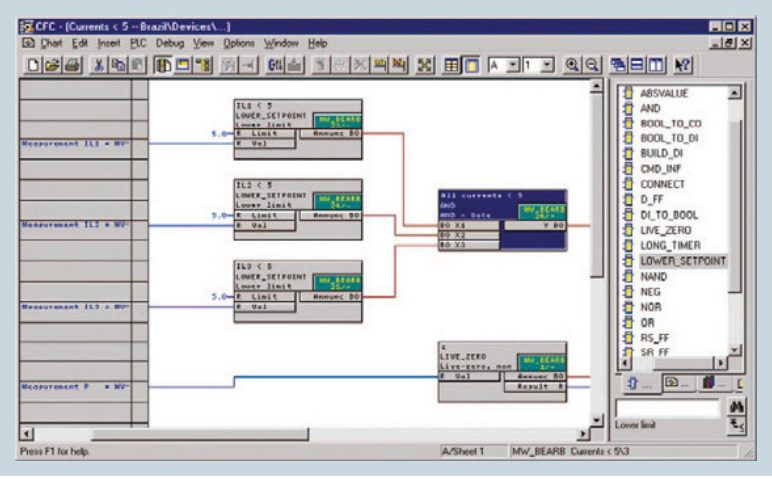


Рисунок 6.2-58: **Логическая схема CFC**

6

Наладка и ввод в эксплуатацию
Особое внимание уделено процессу наладки и ввода устройств в эксплуатацию. Каждый из дискретных входов и выходов устройства может быть настроен и проверен отдельно. Таким образом облегчается процесс проверки схемы соединения устройств. Сигналы могут передаваться по последовательному интерфейсу специально для испытательных целей.

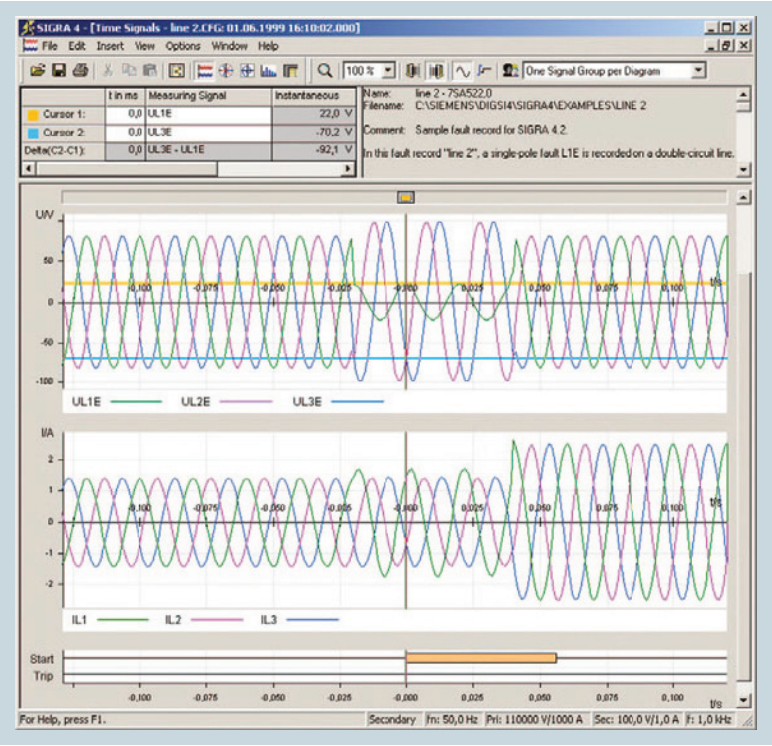


Рисунок 6.2-59: **Обычное представление сигналов, изменяющихся во времени**

Конфигуратор системы МЭК 61850
Конфигуратор системы МЭК 61850 (запускается из менеджера системы) используется для определения структуры сети МЭК 61850 и задает объем данных, которыми обмениваются участники станции МЭК 61850. Для этого в рабочую область «сеть» при необходимости добавляются подсети, доступные участники привязы¬ваются к подсетям, и назначаются адреса. Рабочая область «ранжирование» используется для выполнения связи между объектами данных участников сети. Например, возможно реализовать обмен сигналом пуска функции максимальной токовой защиты с обратно зависимой от напряжения характеристикой выдержки времени ступени I> отходящей линии 1 с устройством защиты питающего присоединения для блокировки его функции максимальной токовой защиты с обратно зависимой характеристикой от напряжения выдержки времени ступени I>> (см. рис. 6.2-68).

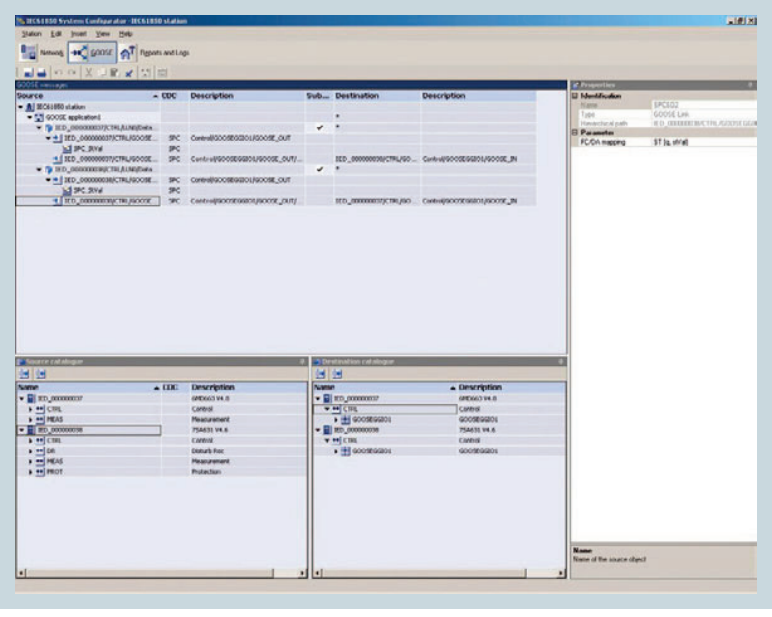


Рисунок 6.2-60: **Конфигуратор системы МЭК 61850**

SIGRA 4 – мощное ПО для анализа осциллограмм, записанных устройствами РЗА

Описание

При возникновении повреждения на линии очень важно выполнить быстрый и исчерпывающий анализ полученных данных, позволяющий определить причину повреждения и выработать соответствующие решения по ее устранению. Благодаря этому возможно быстро восстановить исходный режим работы линии и сократить до минимума время ее простоя. SIGRA 4 позволяет работать с аварийными осциллограммами цифровых устройств защиты и регистраторов аварийных процессов. Записанные данные могут быть измерены и представлены в различных видах в зависимости от конкретной задачи.

В дополнение к традиционной форме отображения измеряемых сигналов в зависимости от времени данные могут быть представлены в виде векторных диаграмм, круговых диаграмм, гистограмм для отображения гармонического состава сигналов, а также в табличном виде. На основе измеренных величин, записанных в аварийной осциллограмме, SIGRA 4 позволяет вычислить следующие величины: отсутствующие величины трехпроводной системе, полные сопротивления, выходные величины, симметричные составляющие и др. Использование двух измерительных курсоров позволяет просто и удобно анализировать аварийную осциллограмму. SIGRA позволяет добавлять к текущей осциллограмме данные другого повреждения. При этом сигналы другой осциллограммы (например, с противоположного конца линии) добавляются к уже открытой записи путем «перетаскивания (Drag&Drop)». SIGRA 4 предоставляет уникальную возможность отображения сигналов из различных записей повреждения на одной диаграмме с их полной автоматической синхронизацией по времени. При анализе аварийного события на линии особый интерес представляет определение места повреждения.

Точное определение места повреждения помогает сэкономить время, затрачиваемое на осмотр линии при обходе. SIGRA 4 реализует функцию определения места повреждения в режиме офлайн.

SIGRA 4 может использоваться для анализа любых аварийных осциллограмм, записанных в формате COMTRADE.

Тем не менее, все функциональные возможности и преимущества SIGRA 4 могут быть оценены только при непосредственном использовании данного ПО. Для этого в течение 30 дней можно использовать бесплатно trial-версию SIGRA 4.

Обзор функций

- 6 типов диаграмм: изменение сигнала во времени (традиционный), круговая диаграмма (например, для R/X), векторная диаграмма (для измерения углов), гистограмма (например, для отображения гармонического состава), таблица (список значений нескольких сигналов в один и тот же момент времени) и определение места повреждения (отображает местоположение повреждения)
- Вычисление дополнительных величин, например, сопротивления прямой последовательности, действующих значений, симметричных составляющих, векторов и т. д.
- Два измерительных курсора, синхронизированных для каждого типа представления данных
- Функция увеличения изображения
- Удобное для пользователя конфигурирование при помощи «перетаскивания»
- Инновационное конфигурирование сигналов при помощи четко структурированной матрицы
- Возможность использования профилей пользователя, которые могут быть привязаны к определенным типам реле или серии устройств
- Добавление других записей аварийных событий к существующей записи
- Синхронизация по времени нескольких записей аварийных событий
- Простота документирования путем копирования диаграмм в другие приложения MS Windows
- Определение места повреждения в режиме офлайн

Аппаратные требования

- Процессор Pentium 4 1 ГГц или аналогичный
- 1 ГБ оперативной памяти (рекомендуется 2 ГБ)
- Графический дисплей с разрешением 1024 x 768 (рекомендуется 1280 x 1024)
- 50 МБ свободного пространства на жестком диске
- Привод DVD-ROM
- Клавиатура и мышь

Программные требования

- MS Windows XP Professional
- MS Windows Vista Home Premium, Business и Ultimate
- MS Windows Server 2003 Standard Edition с Service Pack 2, используемый как компьютер Workstation
- MS Windows 7 Professional и Enterprise Ultimate

Функции

Различные варианты представления данных повреждения

В дополнение к традиционной форме отображения измеряемых сигналов в зависимости от времени SIGRA 4 позволяет представить данные в виде круговых диаграмм (например, диаграмм R/X), векторных диаграмм (отображающих фазовые соотношения), гистограмм (для отображения гармонического состава сигналов). Для этих целей SIGRA на основе записанных в осциллограмме величин вычисляет дополнительные величины, например, сопротивления прямой последовательности, действующие значения, симметричные составляющие, векторы и т. д.

Измерение записанных в осциллограмме величин

Использование двух курсоров позволяет быстро и удобно производить измерения записанных и расчетных величин. Измеренные значения, соответствующие позициям курсоров, и разница данных значений представляются в табличном виде. Курсоры работают интерактивно и сквозь все окна, т. е. в каждом окне движение курсоров синхронизируется. Таким образом линия курсора позволяет одновременно отслеживать, например, момент возникновения повреждения на временном графике и на круговой диаграмме. Мощная функция увеличения изображения позволяет анализировать даже мельчайшие детали кривых изменения сигналов. Окна в SIGRA 4 можно адаптировать под произвольное количество диаграмм, а каждую диаграмму – под произвольное количество сигналов.

Рабочие характеристики

Основной целью разработчиков SIGRA 4, работающих совместно со специалистами по эргономике и дизайну, являлось создание простой, интуитивно понятной и дружественной системы.

- Цвета всех линий подобраны таким образом, чтобы они были легко читаемыми и хорошо различимыми. Тем не менее, цвета, стили линий, масштаб и другие средства визуализации возможно настроить в соответствии с индивидуальными требованиями.
- Возможность настройки различных всплывающих меню позволяет избежать перемещения по многочисленным уровням меню, чем повышается общая эффективность работы.
- Простое и интуитивно понятное конфигурирование отдельных диаграмм: объектно-ориентированные измеренные величины можно перетаскивать с одной диаграммы на другую (это справедливо также и для диаграмм различных типов).
- «Привязка к сетке» и «привязка к объекту» при перемещении курсоров повышает точность и легкость их размещения.
- Резервирование. Большинство пользовательских задач возможно решить, используя до пяти различных методов, таким образом обеспечивается легкость освоения данного ПО.
- Использование доступного пространства экрана автоматически оптимизируется при помощи специальной функции, которая, так же как и функция «синхронизированных курсоров мыши» запатентована.

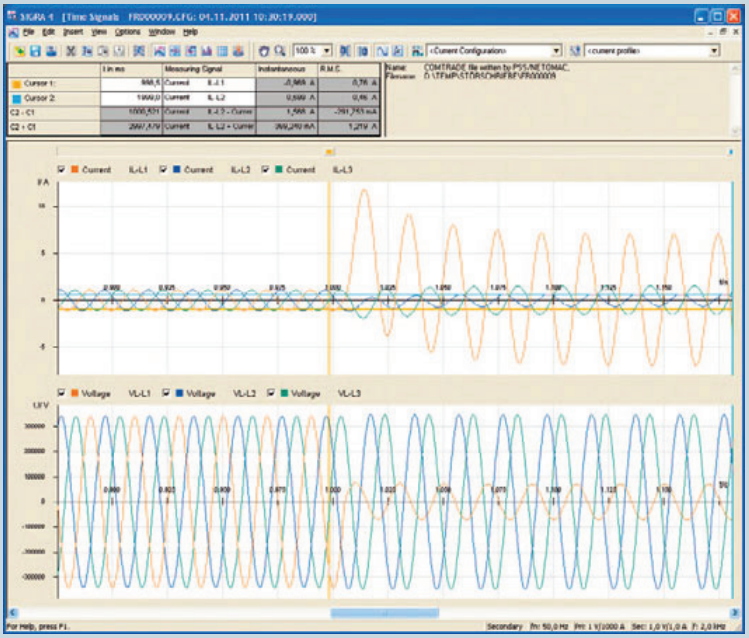


Рисунок 6.2-62: **Обычное представление сигналов, изменяющихся во времени**

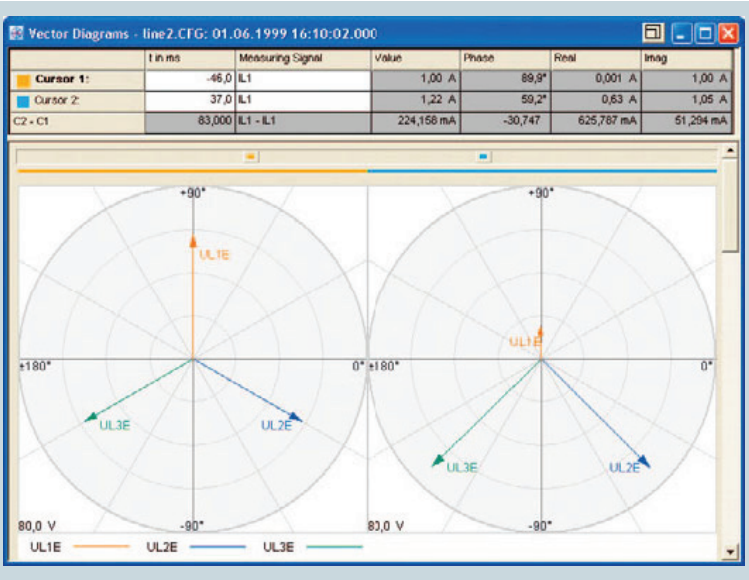


Рисунок 6.2-63: **Векторные диаграммы**

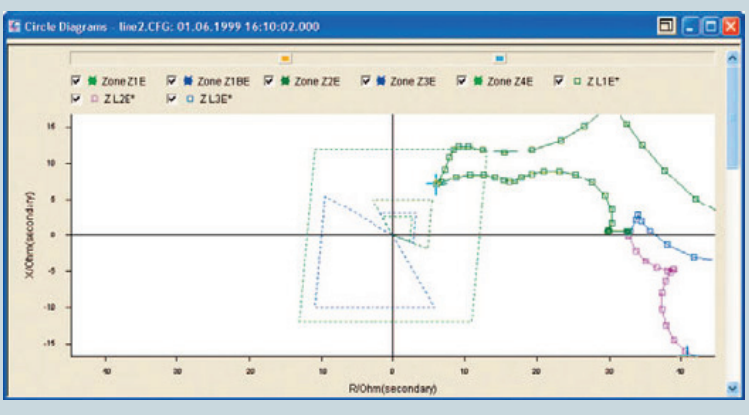


Рисунок 6.2-64: **Круговые диаграммы**

Полезные инструменты помогают в повседневной работе:

- Возможность сохранения настроенных пользователем экранов (например, увеличение, размер) в так называемых профилях пользователя, и их привязка к определенным типам или сериям реле. При необходимости на панели инструментов можно выбрать соответствующий профиль, и вывести на экран запись повреждения в требуемом виде. В таком случае не нужно тратить время на прокрутку, увеличение изображения, изменение размера или перемещение окон.
- Возможность добавления других записей аварийных событий к существующей записи, например, с противоположного конца линии.
- Специальная функция позволяет синхронизировать по времени несколько аварийных осциллограмм, что значительно повышает качество анализа аварийного события.
- Определение места повреждения (ОМП) на основе данных с одного конца линии (измеренные токи и напряжения), импортируемых из цифрового устройства защиты в SIGRA 4. ОМП в SIGRA 4 запускается пользователем, а результат выдается в % или км длины линии, в зависимости от заданных параметров.
- ОМП на основе данных с двух концов линии. В данном алгоритме ОМП не используется сопротивление нулевой последовательности. Это позволяет избавиться от ошибок расчета, обусловленных сопротивлением земли или влиянием тока нулевой последовательности параллельной линии. ОМП выполняется корректно также и для повреждений через переходное сопротивление с двухсторонней подпиткой. Влияние указанных выше факторов исключается путем импорта в SIGRA данных повреждения с двух сторон линии. При этом импортированные данные синхронизируются в SIGRA, затем начинается расчет места повреждения. Исходя из сказанного выше, следует, что ОМП не зависит от сопротивления нулевой последовательности и условий подпитки места повреждения, но выдает точный результат. Благодаря этому возможно быстро начать поиск места повреждения на линии.
- Возможность добавления так называемых меток, которые можно вставлять в любой точке осциллограммы и сопровождать их необходимыми комментариями. Каждая отдельная диаграмма может быть скопирована в документ другой программы MS Windows посредством буфера обмена. Таким образом, документирование выполняется максимально просто.

Объем поставки

ПО легко и быстро устанавливается с CD-ROM, а также имеет полноценную справочную систему. Справочная система – простое и понятное руководство, содержащее пошаговые инструкции по использованию SIGRA.

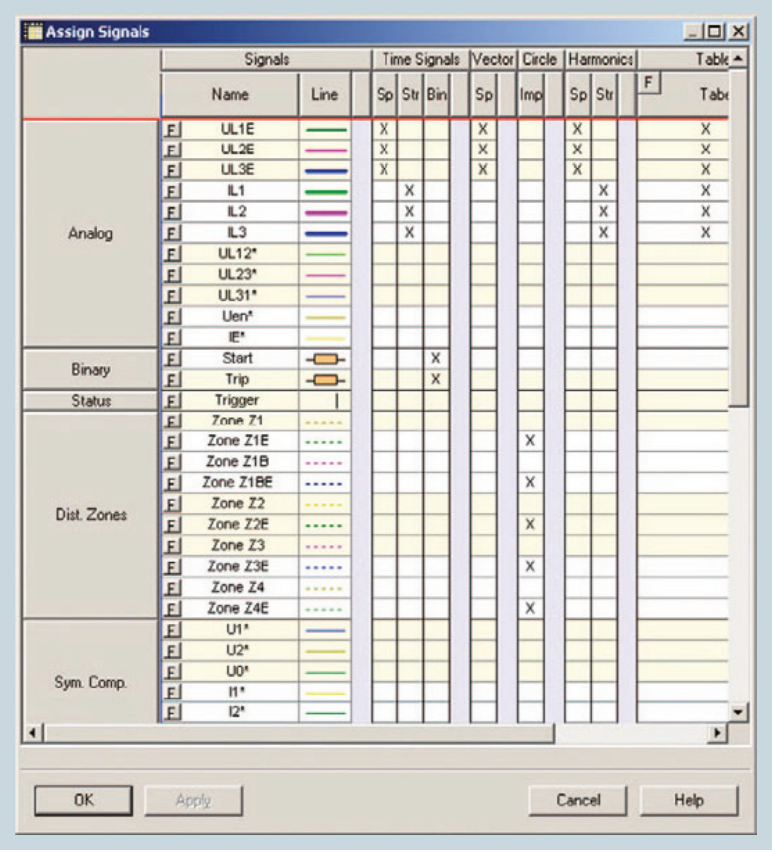
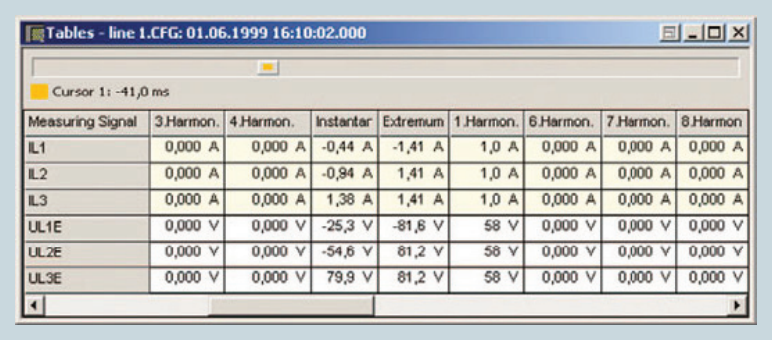


Рисунок 6.2-65: **Матрица ранжирования для определения сигналов, выводящихся на диаграммы**



Measuring Signal	3.Harmon.	4.Harmon.	Instantan	Extremum	1.Harmon.	6.Harmon.	7.Harmon.	8.Harmon
IL1	0,000 A	0,000 A	-0,44 A	-1,41 A	1,0 A	0,000 A	0,000 A	0,000 A
IL2	0,000 A	0,000 A	-0,94 A	1,41 A	1,0 A	0,000 A	0,000 A	0,000 A
IL3	0,000 A	0,000 A	1,38 A	1,41 A	1,0 A	0,000 A	0,000 A	0,000 A
UL1E	0,000 V	0,000 V	-25,3 V	-81,6 V	58 V	0,000 V	0,000 V	0,000 V
UL2E	0,000 V	0,000 V	-54,6 V	81,2 V	58 V	0,000 V	0,000 V	0,000 V
UL3E	0,000 V	0,000 V	79,9 V	81,2 V	58 V	0,000 V	0,000 V	0,000 V

Рисунок 6.2-66: **Табличный вид представления данных для определенного момента времени**

6.2.4 Типовые схемы защит

1. Кабельные и воздушные линии электропередачи

Радиальные сети

Примечания:

1) Автоматическое повторное включение (АПВ, ANSI 79) применяется только для воздушных линий.
2) Максимальная защита по току обратной последовательности (46) применяется в качестве чувствительной резервной защиты от несимметричных повреждений.

Общие указания:

- Защита наиболее удаленной от источника питания линии (D) имеет наименьшую выдержку времени срабатывания. Защита предыдущей линии (более близкой к источнику питания) имеет выдержку времени срабатывания на ступень селективности 0.3 с больше выдержки времени срабатывания защиты последующей линии.
- Выбор обратно зависимой или независимой характеристики выдержки времени обуславливается следующими условиями:
  – Независимая характеристика выдержка времени:
  Сопротивление источника питания велико по сравнению с сопротивлением линии, что приводит к незначительной разнице токов повреждения при повреждении в начале и в конце линии.
  – Обратно зависимая характеристика выдержка времени:
  Длинные линии, где токи повреждения в конце линии значительно меньше токов повреждения в начале линии.
  – Сильно или чрезвычайно инверсная обратно зависимая характеристика выдержки времени:
  Линии с большим сопротивлением в сравнении с сопротивлением источника питания (большое различие токов повреждения в конце линии и токов повреждения в начале линии) или линии, где требуется согласование защиты с предохранителями или реклоузерами. Крутые характеристики обеспечивают лучшую отстройку от переходных токов, возникающих при подаче питания (токи холодного пуска, броски тока намагничивания трансформаторов).

Кольцевые сети

Общие указания:

- Выдержки времени срабатывания максимальных токовых защит необходимо согласовывать с характеристиками срабатывания нижестоящих предохранителей защиты трансформаторов, питающих нагрузку (предпочтительно использовать сильно инверсную обратно зависимую характеристику выдержки времени со ступенью селективности 0.2 с).
- Защита от тепловой перегрузки для кабельных линий (опционально).
- Максимальная защита по току обратной последовательности (46) применяется в качестве чувствительной защиты от несимметричных повреждений (опционально).

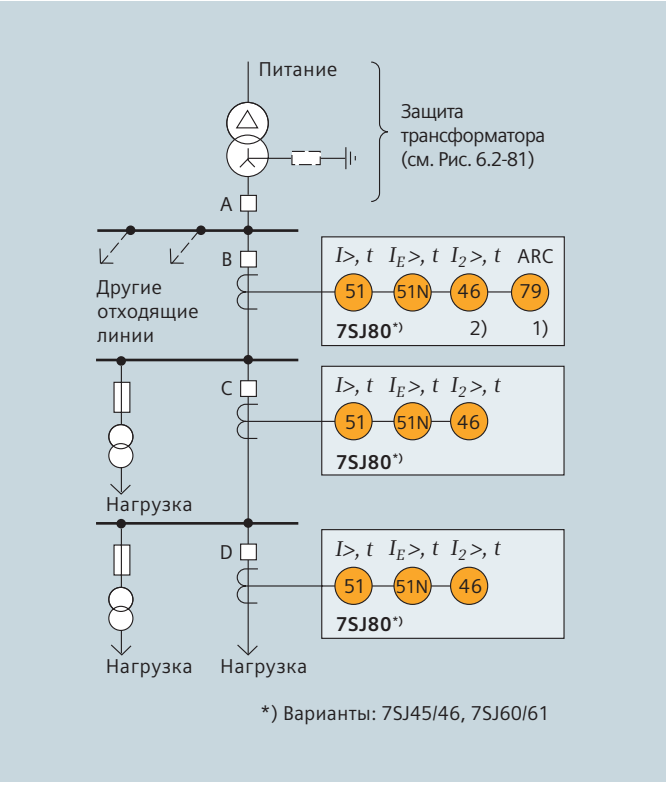


Рисунок 6.2-67: Радиальные сети

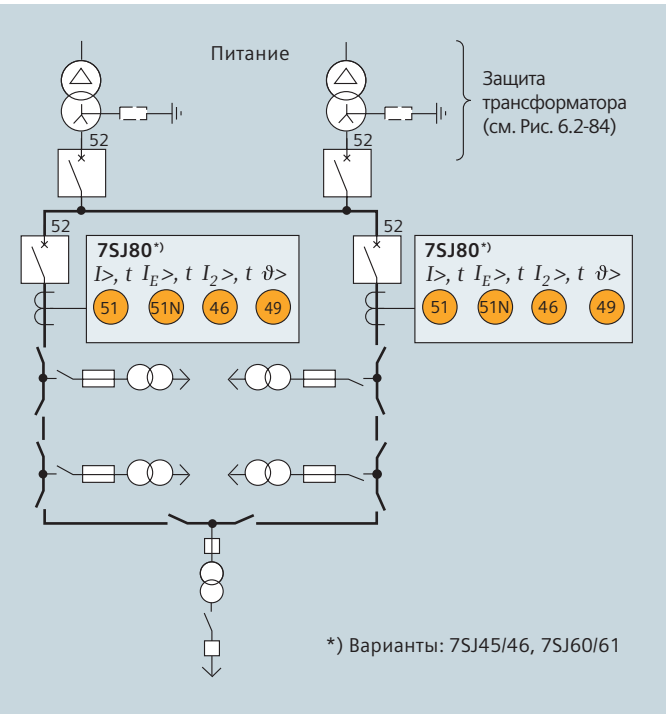


Рисунок 6.2-68: Кольцевая сеть

Защита при включении на повреждение
При включении на повреждение выполняется мгновенное отключение. Если используется внутренняя функция управления (местное, через дискретный вход, через последовательный интерфейс), то функция ручного включения доступна без каких-либо дополнительных подключений к устройству. В случае, когда ключ управления подключен к выключателю в обход внутренней функции управления, то сигнал ручного включения необходимо подавать на устройство на специально предназначенный для этого дискретный вход.

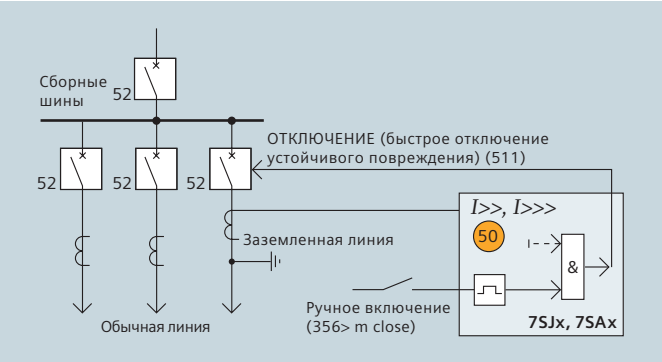


Рисунок 6.2-69: **Защита при включении на повреждение**

Защита со сравнением направлений (перекрестное взаимодействие)
Защита со сравнением направлений используется для селективной защиты секций шин с двухсторонним питанием и действует без выдержки времени, что является преимуществом по сравнению с защитами, требующими согласования выдержек времени. Данная защита применяется в тех случаях, когда расстояние между взаимодействующими устройствами невелико и присутствует возможность использования кабелей связи для передачи сигналов. В дополнение к защите со сравнением направлений, в качестве селективной резервной защиты применяется направленная максимальная токовая защита, работающая с выдержкой времени. Если рассматриваемая защита используется в замкнутых сетях, то она обеспечивает функцию обнаружения разрыва транзитной линии.

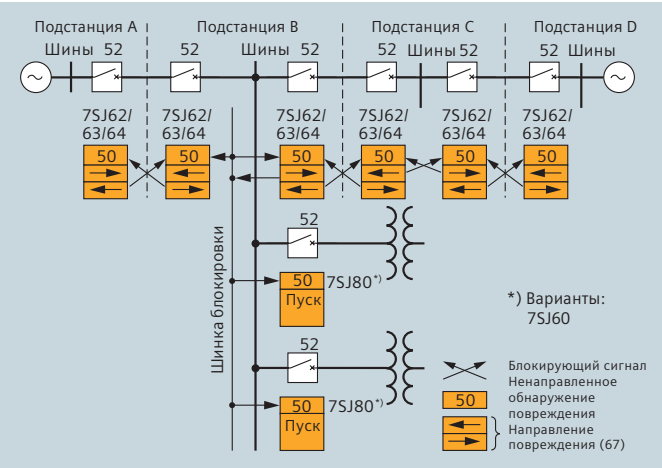


Рисунок 6.2-70: **Защита со сравнением направлений**

Распределительная линия с реклоузерами

Общие указания:
- Рабочие характеристики защит отходящей линии, выдержки времени, циклы АПВ должны быть согласованы с характеристиками нижестоящих реклоузеров, секционирующих элементов и предохранителей. Защищаемая мгновенными токовыми защитами 50 / 50N зона обычно устанавливается такой, чтобы она охватывала первую точку секционирования основной линии. Таким образом обеспечивается быстрая ликвидация близких к источнику питания повреждений и предотвращается перегорание предохранителей в защищаемой зоне («сохранение предохранителей»). При этом выполняется быстрое АПВ. Выдержки времени срабатывания защиты при последующих отключениях и настройки кратов АПВ (обычно АПВ выполняется двух- или трехкратным) должны быть согласованы с выдержкой времени срабатывания реклоузера.
- Если выключатель отключается на длительное время, то при включении уставка максимальной токовой защиты должна автоматически загрубляться для отстройки от режимов холодного запуска и бросков тока намагничивания трансформаторов.

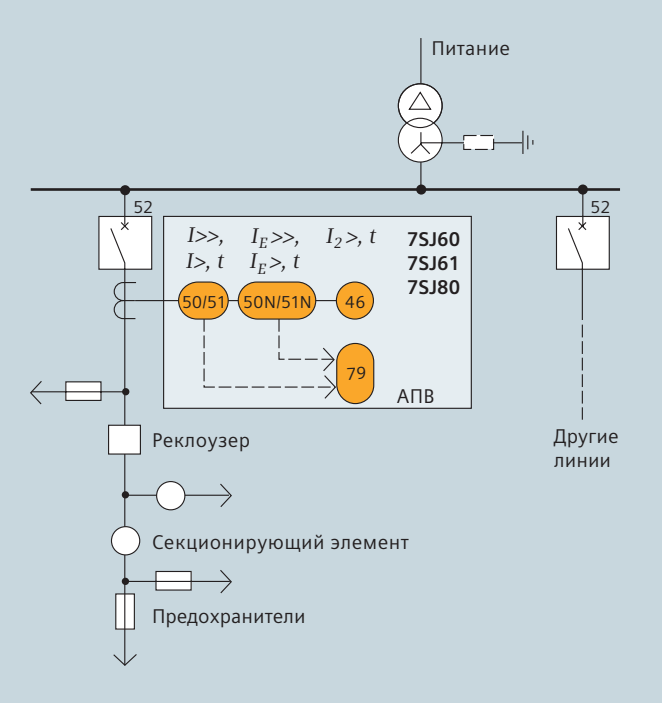


Рисунок 6.2-71: **Распределительная линия с реклоузерами**

6

Трехфазное многократное автоматическое повторное включение (АПВ, ANSI 79)

Автоматическое повторное включение (АПВ) осуществляет Трехфазное повторное включение отходящей линии, отключенной максимальной токовой защитой.

Устройство SIPROTEC 7SJ61 позволяет реализовать до девяти кратов АПВ. Времена бестоковых пауз для первых четырех кратов АПВ возможно настраивать независимо. Функция АПВ может быть запущена или заблокирована внутренне, либо посредством дискретного входа. После первого отключения в последовательности циклов АПВ быстродействующие токовые отсечки (I>>>, I>>, IE>>) могут быть заблокированы. Такая логика используется для схем с «сохранением предохранителей» и других схем, где вместо предохранителей применяются простые максимальные токовые защиты. При этом ступени максимальной токовой защиты с более низкими токами срабатывания (I>, IE>) и ступени с обратно зависимой характеристикой выдержки времени (Ip, IEp) остаются введенными в работу на протяжении всей последовательности циклов АПВ.

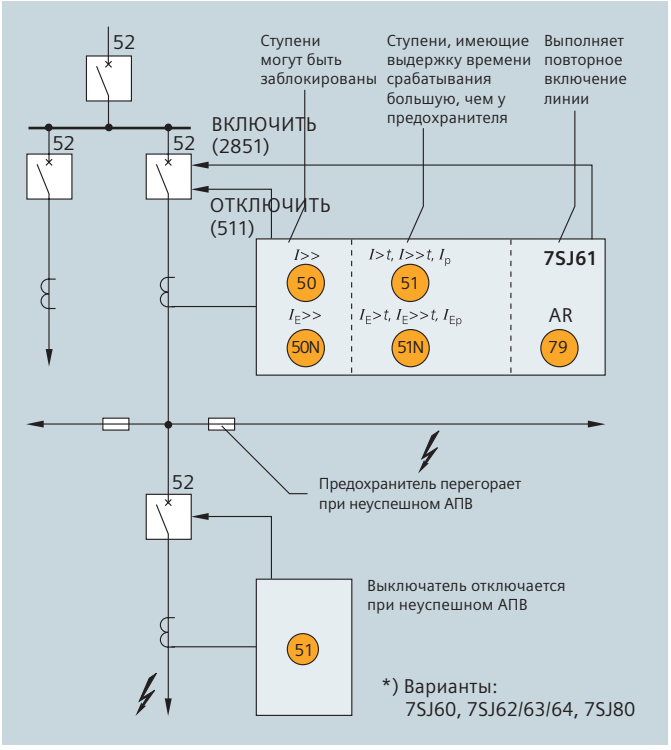


Рисунок 6.2-72: **Трехфазное многократное автоматическое повторное включение (АПВ, ANSI 79)**

6

Параллельные линии

Общие указания:

- Данную схему рекомендуется применять при необходимости обеспечения надежного энергоснабжения ответственных потребителей без значительной подпитки со стороны нагрузки.
- Направленная максимальная токовая защита 67 / 67N работает без выдержки времени при повреждениях на защищаемой линии. Таким образом время срабатывания максимальной токовой защиты питающего присоединения уменьшается на ступень селективности.
- Выдержка времени срабатывания максимальных токовых защит 51 / 51N должна быть согласована с вышестоящими защитами.

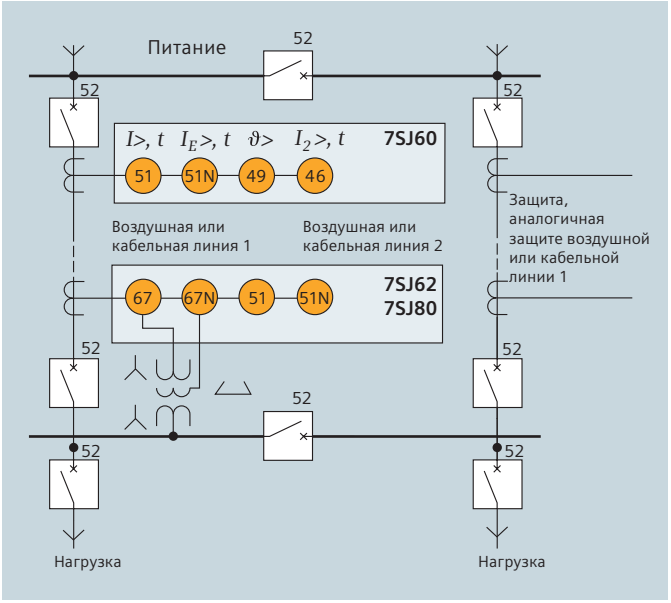


Рисунок 6.2-73: **Параллельные линии**

Контроль реверса мощности при двухстороннем питании

Если сборные шины питаются от двух параллельных линий, и повреждение возникает на одной из них, то для сохранения питания шин необходимо селективно отключить только поврежденную линию. Для этих целей следует использовать устройства, реагирующие на ток КЗ или поток мощности, текущие от шин в питающую линию. Ток срабатывания направленной максимальной токовой защиты обычно отстраивается от тока нагрузки. Однако данная защита часто оказывается нечувствительной к повреждениям, сопровождающимся малыми токами повреждения. Защита по обратной мощности (с контролем реверса мощности) может иметь уставку срабатывания значительно меньшую, чем номинальная мощность. Таким образом обеспечивается ее чувствительность к повреждениям на питающей линии, сопровождающихся протеканием токов повреждения, значительно меньших тока нагрузки, а, следовательно, и небольшой обратной мощности.

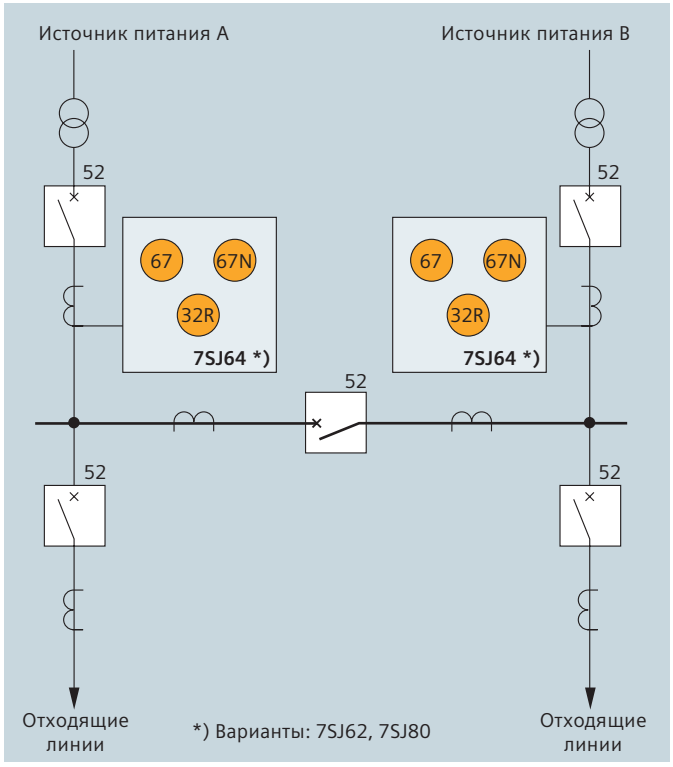


Рисунок 6.2-74: **Контроль реверса мощности при двухстороннем питании**

Функция контроля синхронизма

Примечание:
Функция доступна для реле 7SA6, 7SD5, 7SA522, 7VK61.

Общие указания:
- При необходимости объединения двух энергосистем применение функции контроля синхронизма обеспечивает их синхронное включение без риска потери устойчивости.
- Данная функция может работать совместно с функцией автоматического повторного включения, а также совместно с функцией управления при подаче команды ВКЛЮЧЕНИЯ (местное / дистанционное).

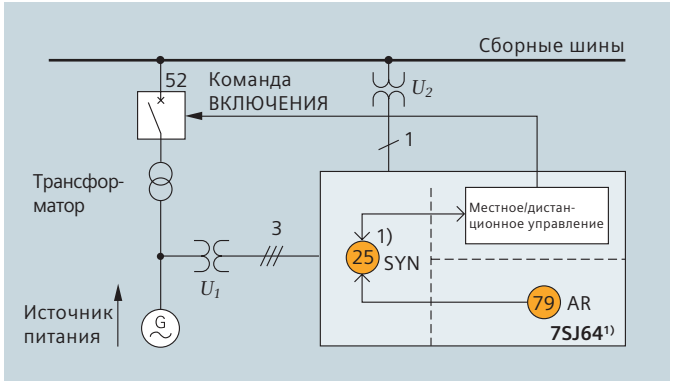


Рисунок 6.2-75: **Функция контроля синхронизма**

Кабели или короткие воздушные линии с двухсторонним питанием

Примечания:

1) Автоматическое повторное включение применяется только для воздушных линий.
2) Варианты дифференциальной защиты:

- Устройства типа 7SD5 или 7SD610 с непосредственным соединением по оптоволоконному каналу связи длиной до 100 км или через канал связи 64 кбит/с (оптоволокно/ радиоканал в микроволновом диапазоне частот)
- Устройства типа 7SD52 или 7SD610 с 7XV5662 (CC-CC) с 2-х и 3-х жильными кабелями связи длиной до 30 км
- Устройства типа 7SD80 с проводным каналом связи и/или оптоволоконным интерфейсом обмена данными защитами.

Кабели или воздушные линии средней длины с двухсторонним питанием

Примечания:

1) Логика работы защиты с телеускорением (85) для телеотключения или блокирующих схем. Телесигналы передаются посредством проводных каналов связи, каналов ВЧ связи, цифровой сети или по оптоволоконному каналу (поставляется отдельно). Телезащиты применяются только в тех случаях, когда требуется быстрое устранение повреждений на 100% длины линии, т. е. устранение повреждения вблизи дальнего конца линии с выдержкой времени срабатывания второй ступени защиты (около 0.3 с) недопустимо. Более подробная информация о схемах телезащиты приводится в таблице, представленной на следующей странице.
2) Направленная токовая защита нулевой последовательности (67N) с обратно зависимой характеристикой выдержки времени для устранения замыканий на землю через большое переходное сопротивление
3) Автоматическое повторное включение (79) применяется только для воздушных линий.

Системообразующие линии

Примечание:
При возможности следует использовать обмотку TH, соединенную в разомкнутый треугольник. Тем не менее, реле 7SA6 / 522 и 7SJ62 могут использовать расчетное напряжение нулевой последовательности.

Общие указания:

- В качестве основной защиты применяется дистанционная защита со схемами телезащиты, в качестве резервной – направленная максимальная токовая защита со ступенчатой характеристикой выдержек времени.
- Функция 67N устройств 7SA6 / 522 обеспечивает дополнительную защиту от замыканий на землю через большое переходное сопротивление. Данную функцию можно использовать параллельно с функцией 21 / 21N.
- Рекомендуемые схемы телезащит: схема PUTT (передача разрешающего сигнала для ступени с неполным охватом) применяется для линий большой и средней длины при использовании ВЧ связи по ЛЭП с фазо-частотной манипуляцией или имеющих другой надежный канал связи, схема POTT (передача разрешающего сигнала для ступени с полным охватом) применяется для коротких линий. БЛОКИРУЮЩАЯ схема применяет¬ся для линий любой длины при использовании ВЧ связи по ЛЭП с амплитудной модуляцией (Вкл / Выкл).

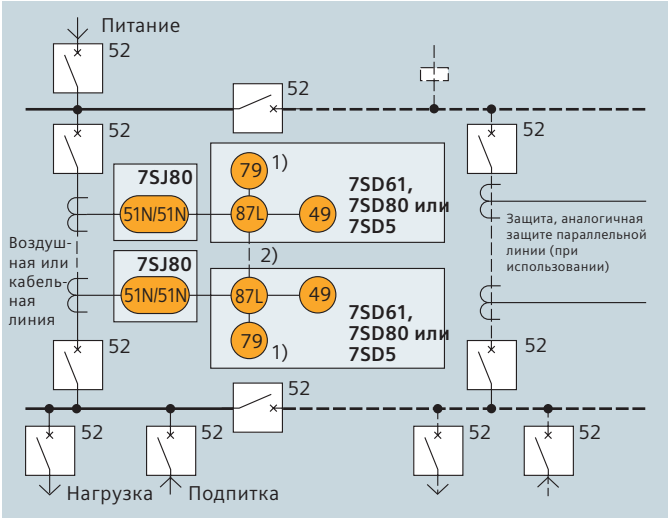


Рисунок 6.2-76: **Кабели или короткие воздушные линии с двухсторонним питанием**

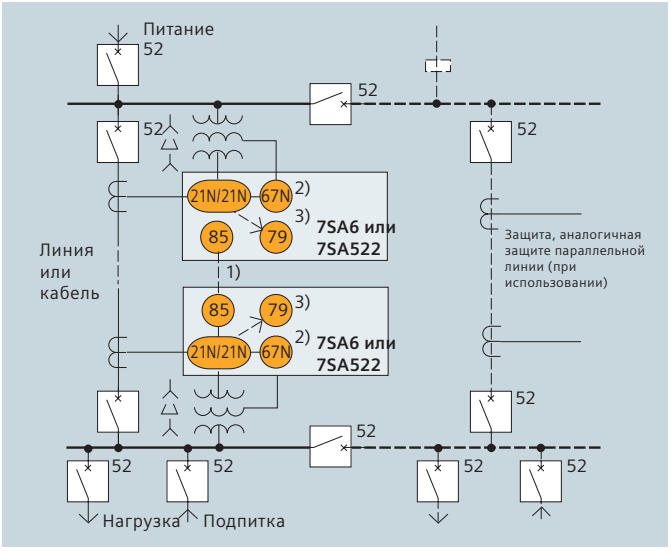


Рисунок 6.2-77: **Кабели или воздушные линии средней длины с двухсторонним питанием**

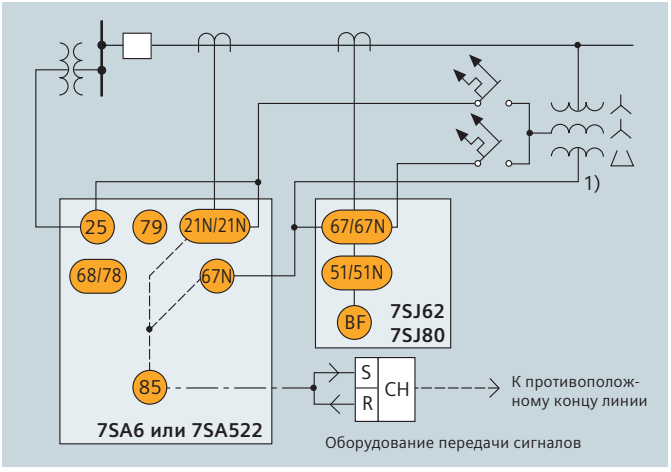


Рисунок 6.2-78: **Системообразующие линии**

		Передача разрешающего сигнала для ступени с неполным охватом (PUTT)	Передача разрешающего сигнала для ступени с полным охватом (POTT)	Блокировка	Деблокировка
Наиболее подходящая область применения	Способ передачи сигнала	Надежный канал связи: • ВЧ связь по ЛЭП с фазо-частотной манипуляцией. • ВЧ сигнал передается по 2 фазам защищаемой линии или же по параллельной линии для того, чтобы избежать передачи сигнала через место повреждения (наилучший вариант). • Радиоканалы с микроволновым диапазоном частот, особенно цифорвые (PCM). • Оптоволоконные кабели.		Канал связи с высокой надежностью (используется только при внешних повреждениях) • ВЧ связь по ЛЭП с амплитудной модуляцией (ВКЛ / ВЫКЛ). (Возможно использовать одну и ту же частоту для всех концов линии)	Выделенный канал с непрерывной передачей сигнала • ВЧ связь по ЛЭП с фазо-частотной манипуляцией. Должна быть разрешена непрерывная передача сигнала.
	Конфигурация линии	Обычно применяется на линиях средней и большой длины, где ступень с неполным охватом обеспечивает достаточную чувствительность к повреждениям с большим переходным сопротивлением	• Короткие линии, особенно, если ожидаются большие переходные сопротивления. • Подходит для применения на многоконцевых линиях с промежуточной подпиткой.	Все типы линий (практика США)	То же, что и для POTT
Преимущества		• Простота. • Нет необходимости в согласовании ступеней и выдержек времени защит, расположенных на противоположных концах. Нет ограничений при совместном использовании различных типов реле.	• Может применяться без ступени 1 с неполным охватом (например, перекомпенсированные последовательно нескомпенсированные линии) • Может применяться на чрезвычайно коротких линиях (сопротивление которых меньше минимально возможной уставки реле) • Хорошо подходит для параллельных линий, т. к. взаимоиндукция не оказывает сильного влияния на работу ступени с полным охватом • Нет проблем, связанных со слабым питанием концов линии (включена логика эхо-функции и логика слабой подпитки)	То же, что и для POTT	То же, что и для POTT, однако: • Если отсутствует принимаемый сигнал (нет блокирующего сигнала и некомпенсированного блокирующего сигнала), то по истечении 20 мс от ступени с полным охватом выдается команда на отключение
Недостатки		• Проблемы, связанные с обеспечением перекрытия защищаемых зон ступеней 1 защит разных концов линии. Для параллельных линий и линий с отпайками, где на работу защиты оказывают влияние взаимоиндукция и промежуточная подпитка, необходимо обеспечить хотя бы минимальное постоянно присутствующее перекрытие защищаемых зон ступеней 1. • Невозможность использования на линиях со слабым питанием.	• Необходимость согласования защищаемых зон ступеней защиты на противоположных концах линии и учета времени передачи сигнала (реверс тока)	То же, что и для POTT • Медленное отключение, обусловленное необходимостью ввода выдержки времени для ожидания блокирующего сигнала. • Невозможность постоянного контроля исправности канала связи.	То же, что и для POTT

Таблица 6.2-2: **Условия применения наиболее часто используемых схем телеускорения защиты**

Транзитная линия с реактором (рис. 6.2-79)

Примечания:

1) 51N применяется только в том случае, если реактор имеет заземленную нейтраль.
2) Если отсутствует возможность использовать фазные ТТ, установленные со стороны нейтральных выводов реактора, то ТТ со стороны линейных выводов и ТТ, установленный в нейтрали, можно подключить к дифференциальной защите от замыканий на землю, для чего используется высокоомное реле 7VH60.

Общие указания:

- Реле дистанционной защиты рекомендуется использовать в качестве 1-го и 2-го комплексов основных защит. Для линий с продольной компенсацией рекомендуется использовать два одинаковых реле 7SA6 (дублирование).
- Время срабатывания дистанционной защиты в зависимости от конкретных условий повреждения лежит в диапазоне от 15 до 25 мс. Данное время срабатывания относится к повреждениям, находящимся в защищаемой зоне ступени с неполным охватом (80 .. 85 % длины линии). Повреждения, возникающие вблизи противоположного конца линии, должны ликвидироваться при помощи схем телезащиты. Общее время срабатывания таких схем зависит от времени передачи сигнала по каналу связи: для схем с фазо-частотной манипуляцией на звуковой частоте и схем с радиоканалами связи оно составляет обычно от 15 до 20 мс, для схем с амплитудной модуляцией и схем с цифровыми сигналами по мультиплексированным каналам, передающихся по оптоволоконным каналам связи, – менее 10 мс. Таким образом, схемы телезащиты, использующие цифровые мультиплексированные каналы связи, имеют время срабатывания от 25 до 30 мс. Следовательно, если используются современные выключатели со временем отключения порядка 40 мс, то общее время устранения повреждения составляет меньше 100 мс (от 4 до 5 периодов).
- Для 1-го и 2-го комплексов защит рекомендуется применять различные принципы для схем телезащиты, например, PUTT и POTT, или блокировка / деблокировка.
- Устройства 7SA522 и 7SA6 предоставляют возможность селективного действия на 1-фазное и / или 3-фазное отключение и выполнение АПВ. Направленная токовая защита нулевой последовательности (ТНЗНП) со сравнением направлений (67N), реализованная в реле 7SA6, использует фазовые селекторы, работающие с симметричными составляющими. Поэтому однофазное АПВ (ОАПВ) также может выполняться и при устранении повреждений через большое переходное сопротивление. Функция 67N реле 7SA522 также может использоваться в качестве резервной направленной максимальной токовой защиты отзамыканий на землю, работающей с выдержкой времени.
- Функция 67N является защитой от повреждений с большим переходным сопротивлением. Для 67N часто реализуется схема телеускорения, работающая с отдельным каналом. Использование общего с дистанционной защитой канала возможно только в том случае, если схемы телезащит обеих защит совместимы (например, POTT со сравнением направлений). Возможно выполнить блокировку 67N при пуске функции 21 / 21N. Также данная защита может выполнять функции резервной защиты, работающей с выдержкой времени.

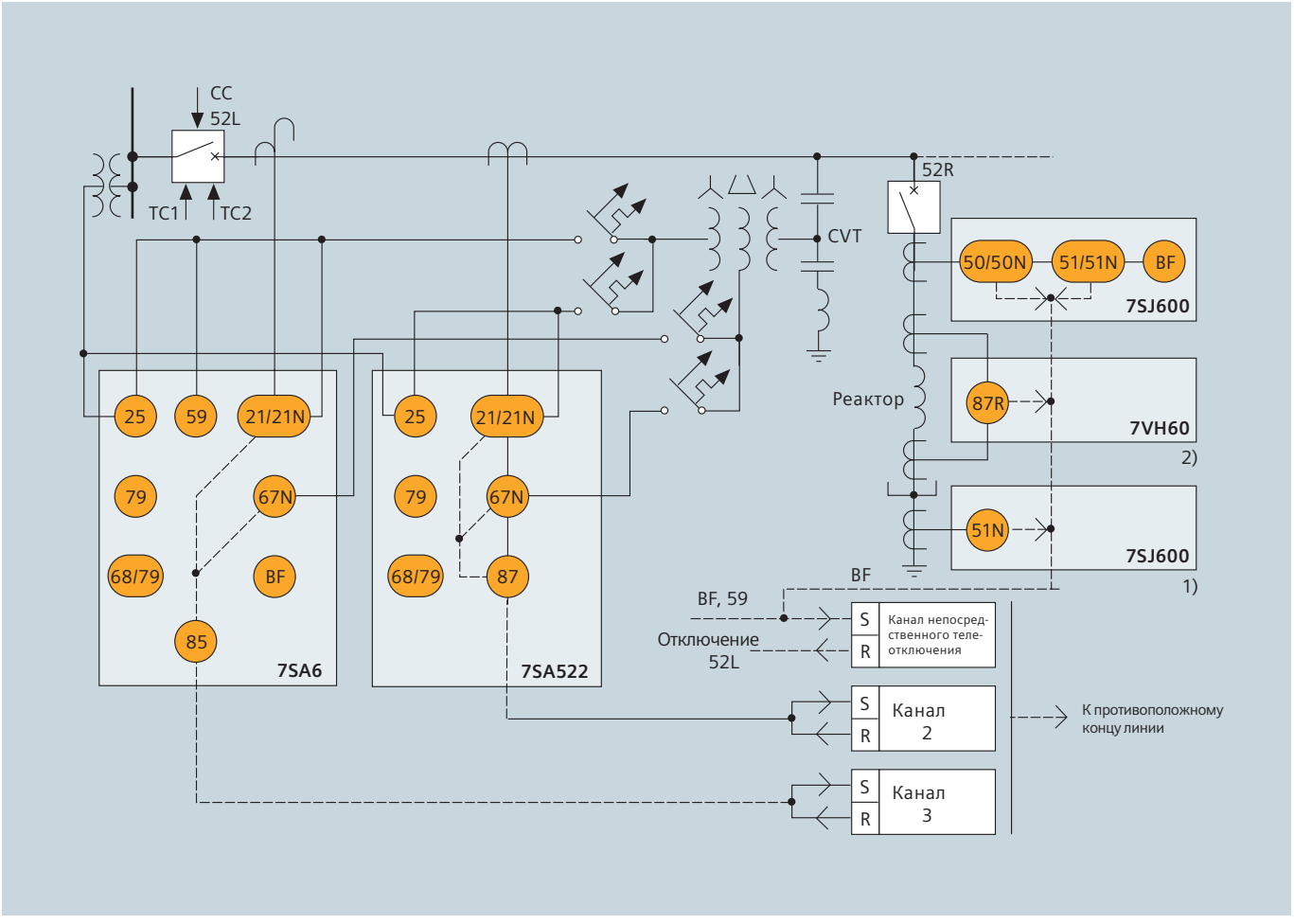


Рисунок 6.2-79: **Транзитная линия с реактором**

Транзитная линия или кабель (с широкополосной связью)

Общие указания:

- Сегодня все более часто становится доступной цифровая связь с PCM модуляцией между противоположными концами линии с использованием прямого соединения по оптоволокну, с применением радиосвязи типа точка-точка, либо посредством многоцелевой цифровой сети связи.
  Во всех перечисленных выше случаях возможно использовать реле дифференциальной защиты 7SD52/61. Данная защита является защитой с абсолютной селективностью. Фазовая селективность обеспечивается за счет пофазных измерений. На работу дифференциальной защиты не оказывают влияния качания мощности и взаимоиндукция параллельной линии. Более того, данная защита не требует подключения к ТН, т.к. работает только с измеряемыми токами. Следовательно, защита не подвержена негативным явлениям, вызванным переходными процессами в емкостных ТН. Поэтому дифференциальная защита хорошо подходит для применения на многоцепных линиях, где возможно возникновение наиболее сложных повреждений. При использовании прямого соединения посредством выделенного оптоволоконного канала связи устройства 7SD5/61 могут осуществлять защиту линий длиной до 120 км (см. также применение 10), а при использовании отдельных устройств PCM для связи по оптоволоконному каналу или микроволновому радиоканалу возможно выполнить защиту линий гораздо большей длины. При этом 7SD5/61 использует только небольшую часть (64-512 кбит/с) общей пропускной способности канала (порядка Мбит/с).
- Реле 7SD52/61 возможно использовать совместно с реле дистанционной защиты 7SA52 или 7SA6 для формирования второго основного комплекса защит, работающего на других принципах (рис. 6.2-80). Таким образом достигается очень высокая степень надежности системы. Также рекомендуется использовать различные каналы связи для разных комплексов защит, например, оптоволоконный или радиоканал и ВЧ канал. Дифференциальная защита имеет время срабатывания около 15 мс (включая время передачи сигнала) для повреждений на всей длине линии.

Общие указания для рис. 6.2-81:

- Устройства SIPROTEC 7SD5 являются комбинацией дублирующих друг друга реле дифференциальной и дистанционной защит, дополненных одним устройством управления ячейкой, и обладают как высокой скоростью срабатывания, так и превосходной чувствительностью даже при самых сложных повреждениях. Точный алгоритм определения места повреждения позволяет сократить время, затрачиваемое на послеаварийный обход линии, и сокращает до минимума время простоя линии.
- Быстродействующая дистанционная защита работает полностью независимо от дифференциальной защиты. Резервные ступени обеспечивают дальнее резервирование смежных линий и других элементов энергосистем.

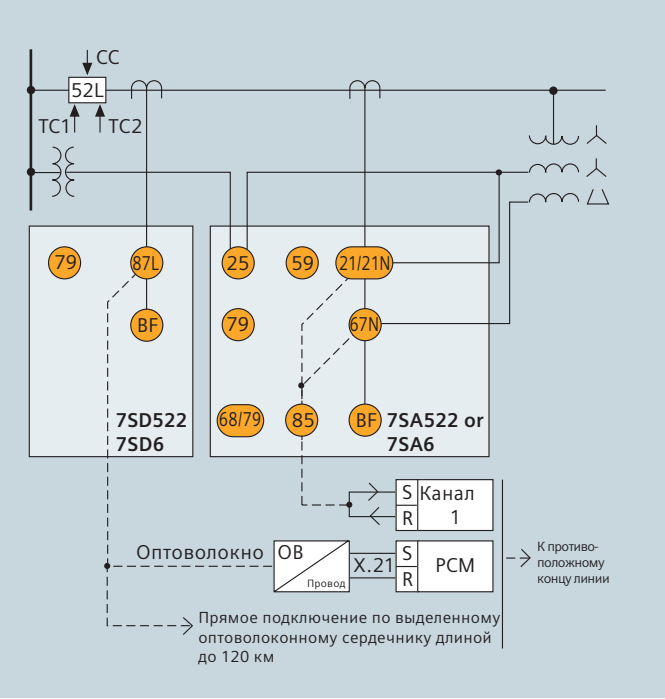


Рисунок 6.2-80: **Защита транзитной линии с резервированием**

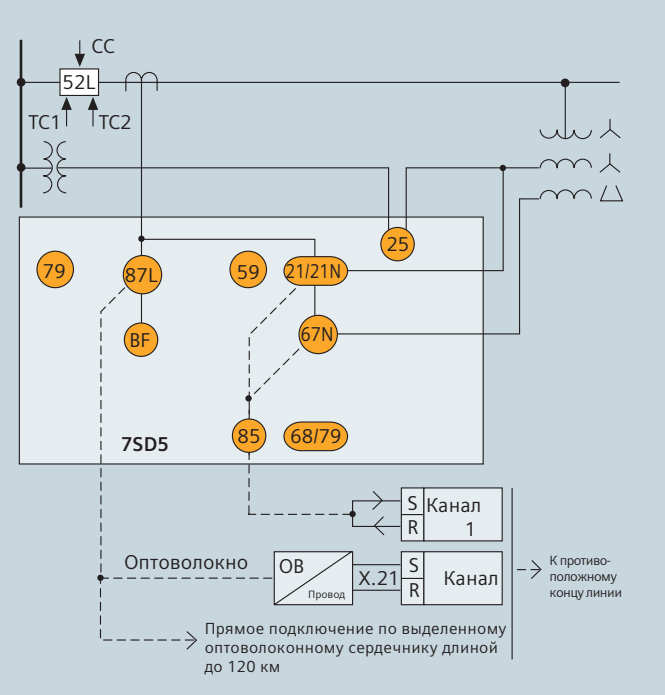


Рисунок 6.2-81: **Защита транзитной линии, выполненная на одном устройстве с применением второго алгоритма основной защиты**

Транзитная линия, подключенная по полуторной схеме

Примечания:

1) В случае, когда линия и линейный разъединитель отключены, большие сквозные токи КЗ, проходящие через поле, из-за различной степени насыщения ТТ могут привести к излишнему срабатыванию дистанционной защиты.
   В таком случае следует выполнять блокировку дистанционной защиты (21 / 21N) и ТНЗНП (67N) от блок-контакта линейного разъединителя. При этом для защиты участка между выключателями в работу вводится функция МТЗ (50 / 51N, 51 / 51N) – защита «мертвой зоны» ошиновки.
2) Защита от повышения напряжения доступна только для устройств 7SA6 / 52.

Общие указания:

- Представлены защитные функции одного поля полуторной схемы.
- 1-й и 2-й комплексы защит включаются на сумму токов двух ТТ. ТТ с двух сторон выключателя обычно устанавливаются для подстанций с баковыми выключателями. Колонковые выключатели с целью уменьшения их стоимости могут снабжаться ТТ только с одной стороны. В таком случае повреждение между выключателем и ТТ (мертвая зона) может оставаться неустраненным даже после отключения выключателя. Следовательно, при этом должно быть допустимо каскадное устранение такого повреждения.
  Реле 7VK61 выполняет функцию защиты мертвой зоны, работающей на отключение выключателей, через которые осуществляется подпитка места повреждения.

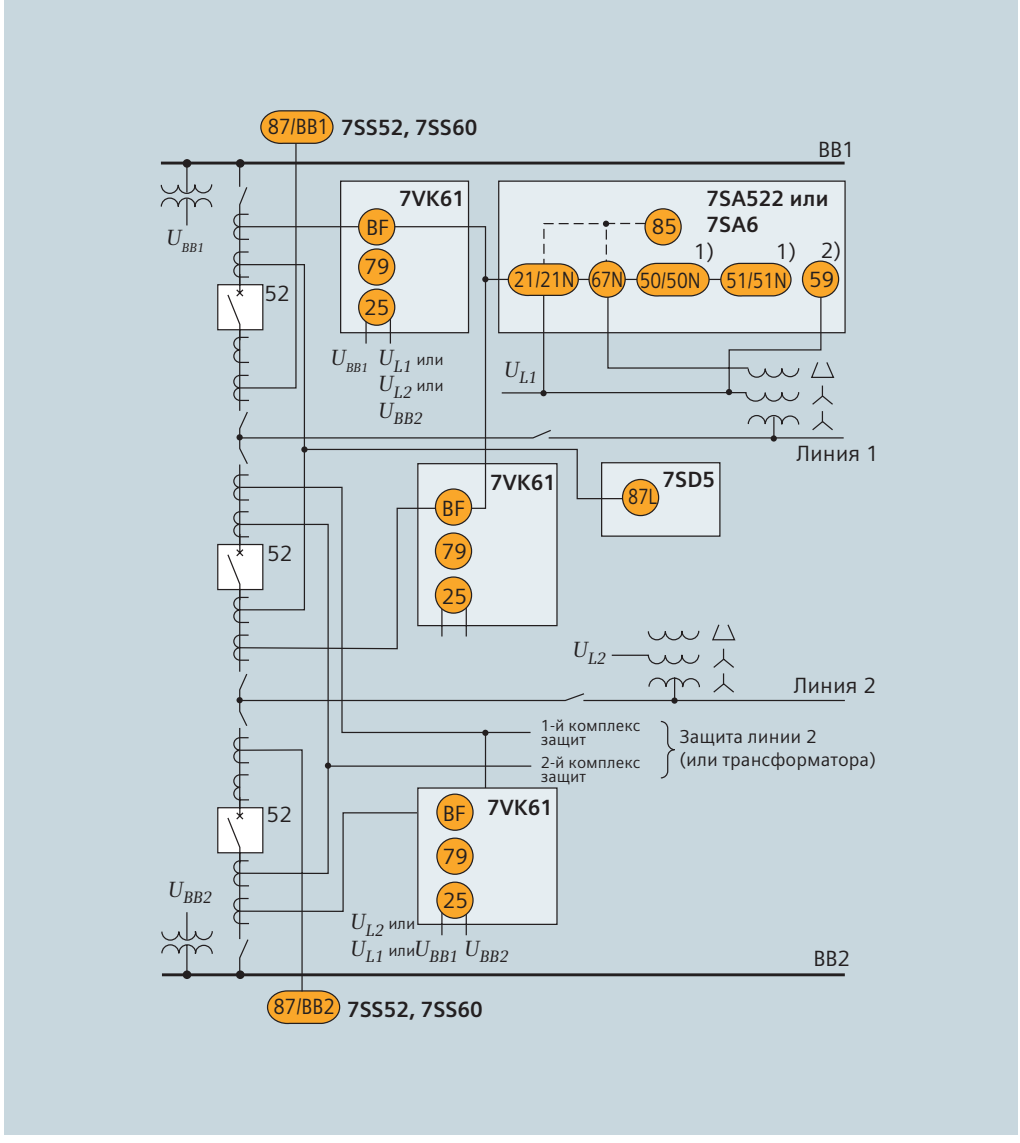


Рисунок 6.2-82: **Транзитная линия, подключенная по полуторной схеме, с использованием 3 реле управления выключателем 7VK61**

Общие указания для рис. 6.2-82 и рис. 6.2-83:

- Выбор состава 1-го и 2-го комплексов защиты линии осуществляется в соответствии с рекомендациями, приведенными в комментариях к рис. 6.2-77 и 6.2-78.
- Функции АПВ (79) и контроля синхронизма (25) привязываются непосредственно к соответствующим выключателям, и параллельно управляются 1-м и 2-м комплексами защит линии. При возникновении повреждения на линии защита действует на отключение обоих смежных выключателей. Последовательность выполнения АПВ обоих выключателей или (как вариант) АПВ одного выключателя и ручное включение второго может задаваться при помощи ключа управления.
- Для обеспечения селективной взаимоблокировки отключения и правильной работы АПВ двух выключателей одной линии (или фидера трансформатора) необходимо применять соответствующую схему цепей управления.
- Напряжения, используемые функцией контроля синхронизма, должны выбираться в соответствии с положением выключателя и разъединителя посредством подключения соответствующих цепей напряжения.

Общие указания для рис. 6.2-83:

- В данном случае устройство 7VK61 используется только для управления центральным выключателем. Функции 25, 79 и УРОВ линейных выключателей реализованы в устройствах защиты линии 7SA522 или 7SA6.

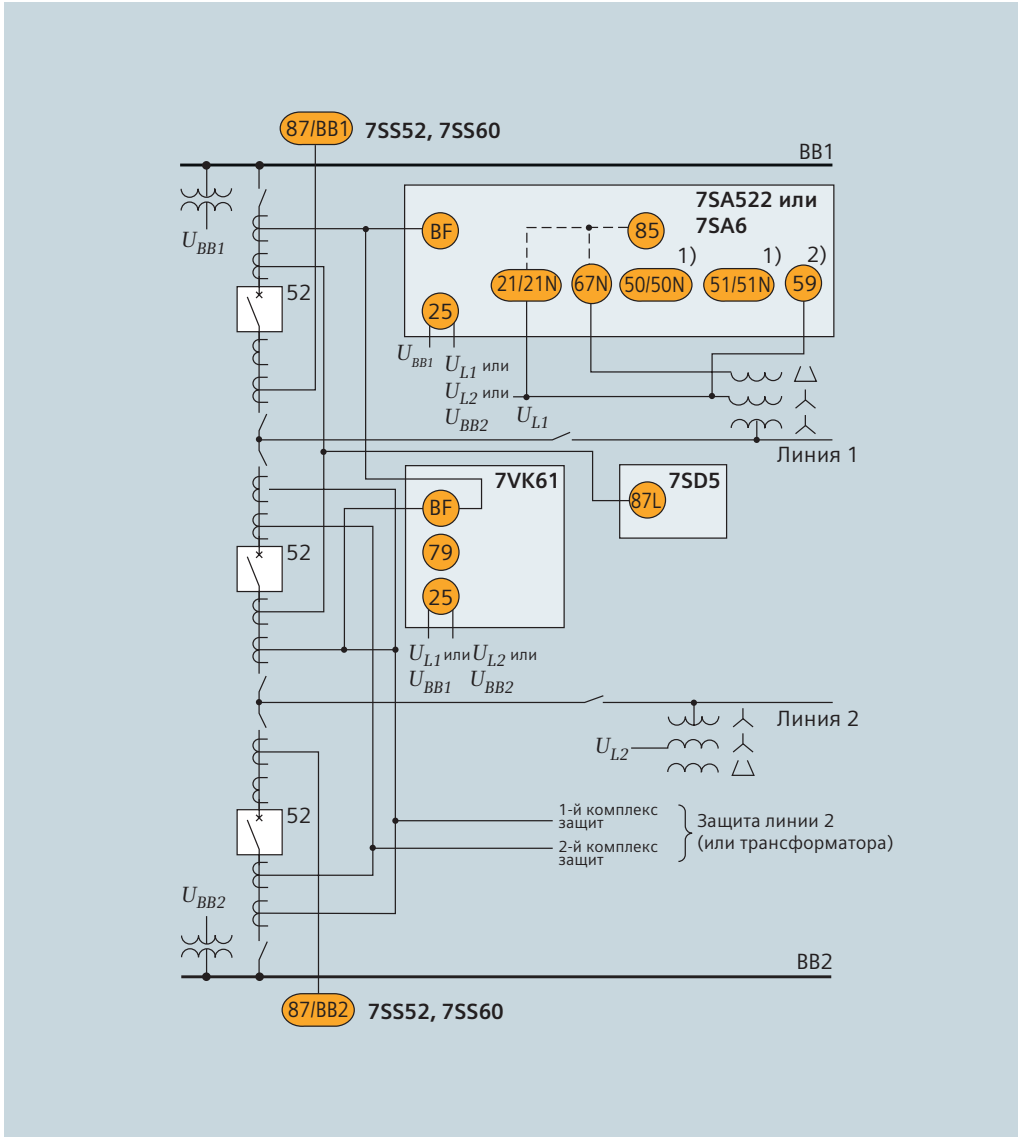


Рисунок 6.2-83: **Транзитная линия, подключенная по полуторной схеме, с использованием 1 реле управления выключателем 7VK61**

2. Трансформаторы

Понижающий трансформатор малой мощности

Общие указания:

- Для защиты от замыканий на землю на стороне низшего напряжения трансформатора используется реле максимальной токовой защиты 51N. Однако, данная защита должна быть отстроена по времени от защит отходящих линий.
- Для быстрого устранения замыканий на землю на стороне низшего напряжения трансформатора возможно дополнительно использовать реле дифференциальной защиты от замыканий на землю 87N.
  Реле 7VH60 относится к высокоомным реле и требует для работы ТТ класса PX с одинаковыми коэффициентами трансформации.
- Выключатель на стороне высшего напряжения и реле можно заменить предохранителями.

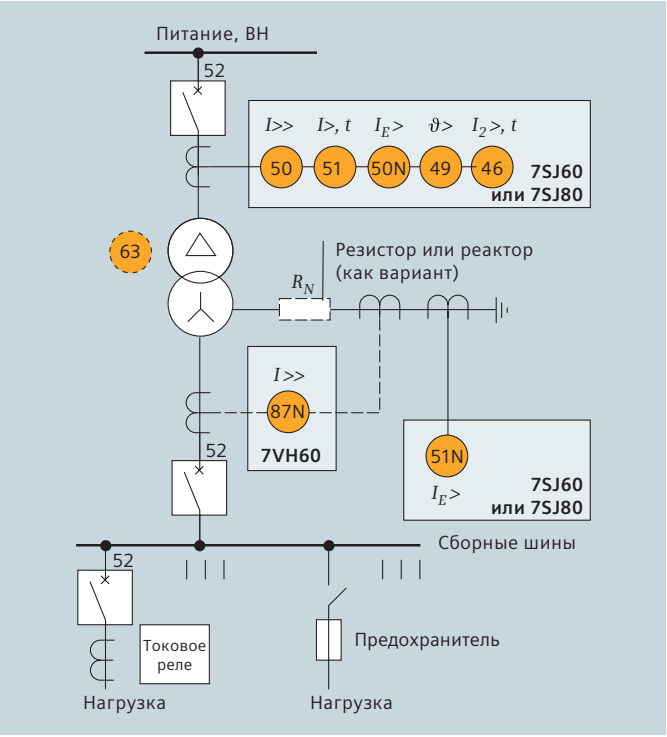


Рисунок 6.2-84: **Понижающий трансформатор малой мощности**

Мощный или ответственный понижающий трансформатор

Общие указания:

- Реле 7UT612 выполняет цифровую коррекцию коэффициентов трансформации ТТ и группы соединения обмоток трансформатора. Нет необходимости в применении выравнивающих трансформаторов, использующихся в классических схемах защиты.

Примечания:

1) При необходимости выполнения независимой высокоомной защиты от замыканий на землю ее можно реализовать при помощи устройства 7VH60 вместо использования функции 87N в реле 7UT612. Однако в этом случае также необходимо использовать ТТ класса PX (см. защиту понижающего трансформатора малой мощности).
2) При необходимости функции 51 и 51N возможно реализовать при помощи отдельного устройства 7SJ60.

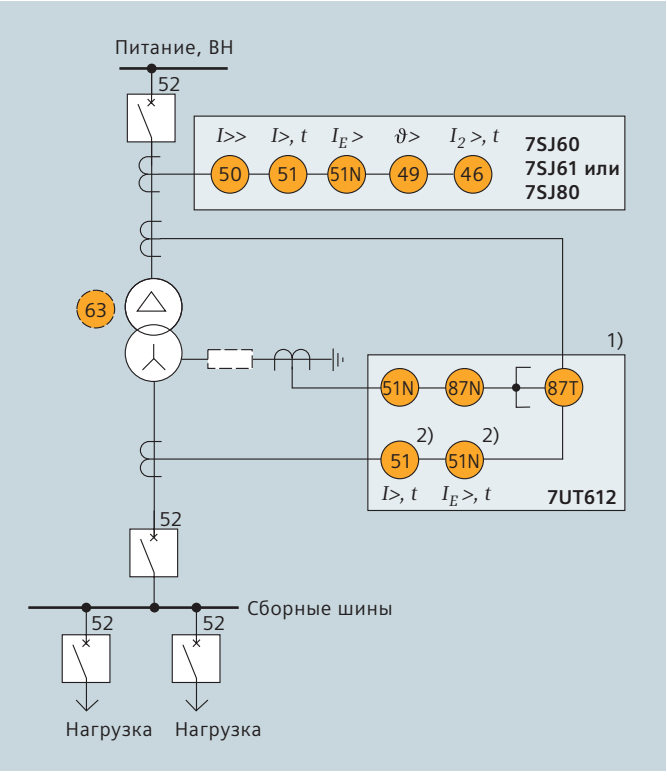


Рисунок 6.2-85: **Мощный или ответственный понижающий трансформатор**

Одиночный трансформатор, питающийся от двух источников

Общие указания:
- Линейные ТТ следует подключать к отдельным входам для торможения дифференциального реле 87T для обеспечения устойчивой работы защиты при протекании сквозных токов повреждений.
- Реле 7UT613 выполняет цифровую коррекцию коэффициентов трансформации ТТ и группы соединения обмоток трансформатора. Нет необходимости в применении выравнивающих трансформаторов, использующихся в классических схемах защиты.

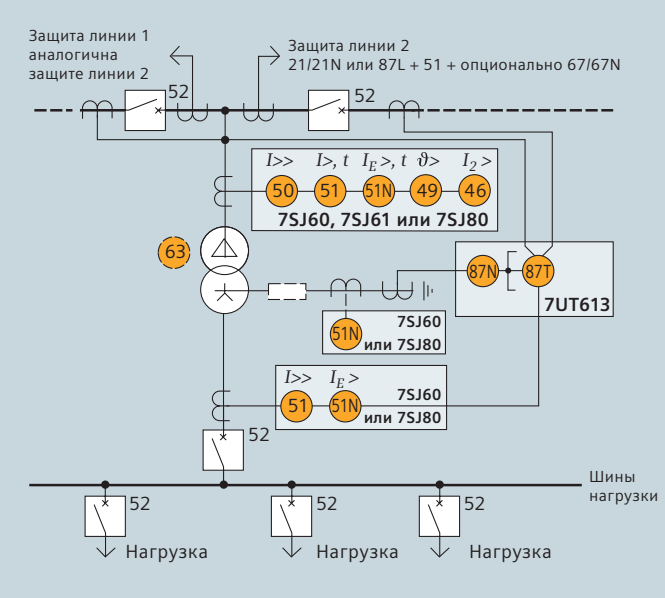


Рисунок 6.2-86: **Одиночный трансформатор, питающийся от двух источников**

Параллельно работающие трансформаторы

Примечание:
Направленные защиты 67 и 67N не применяются в том случае, если трансформаторы защищаются дифференциальными реле 87T.

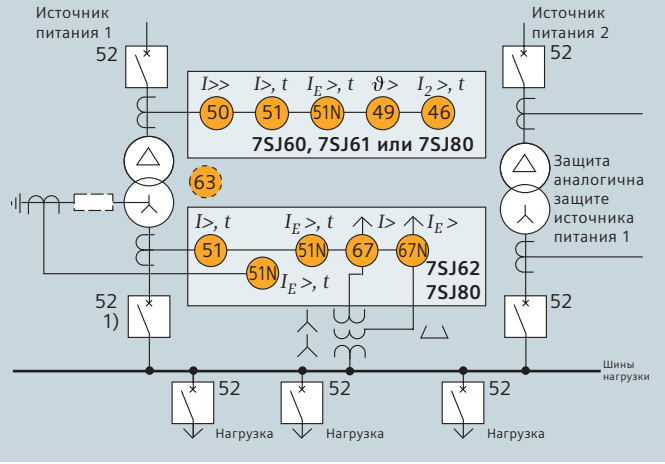


Рисунок 6.2-87: **Параллельно работающие трансформаторы**

Параллельно работающие трансформаторы с секционным выключателем на стороне низшего напряжения

Общие указания:
- Токовые реле 51, 51N подключаются по неполной дифференциальной схеме. Таким образом обеспечивается простая и быстродействующая защита шин, а при согласовании защит по времени экономится одна ступень селективности.

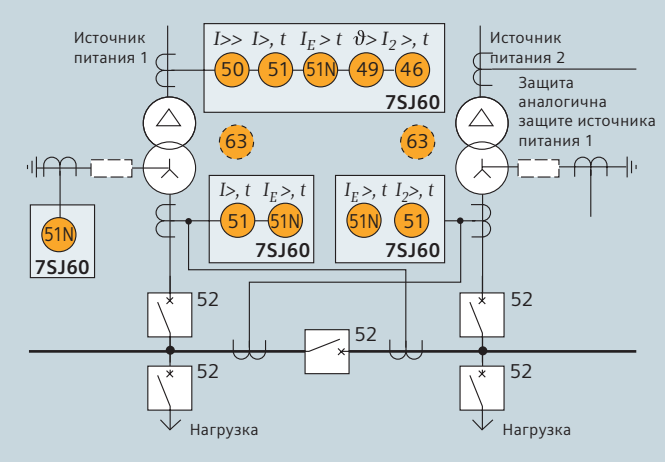


Рисунок 6.2-88: **Параллельно работающие трансформаторы с секционным выключателем на стороне низшего напряжения**

Трехобмоточный трансформатор

Примечания:

1) Из токов, подводимых к дифференциальному реле, необходимо исключить составляющие нулевой последовательности. Это достигается путем соединения ТТ в треугольник на стороне трансформатора с заземленной нейтралью. Таким образом обеспечивается правильная работа защиты при внешних замыканиях на землю (в цифровых реле исключение токов нулевой последовательности выполняется программно). Однако при этом защита теряет около 30% чувствительности к внутренним замыканиям. Также ток нулевой последовательности может учитываться в расчетах, если к реле дифференциальной защиты (87T) подведен ток нейтрали. Реле типа 7UT613 имеет для этих целей два токовых входа. При использовании такого варианта чувствительность защиты к замыканиям на землю восстанавливается до своего первоначального значения. Дополнительно может применяться дифференциальная защита от замыканий на землю (с ограниченной защищаемой зоной) 87T. Данная защита является резервной защитой от замыканий на землю и обладает повышенной чувствительностью к таким повреждениям (около 10% Iном в сравнении с 20–30% Iном для дифференциальной защиты трансформатора). Такая защита должна подключаться к отдельным сердечникам ТТ класса PX с одинаковыми коэффициентами трансформации.
2) Высокоомная дифференциальная и максимальная токовая защиты реализуются в одном устройстве 7SJ61.

Общие указания:

- В данном примере трансформатор питает две отдельные рас¬пределительные сети с генерирующими источниками. Поэтому токовые входы дифференциального реле с торможением токов необходимо подключать к ТТ каждой из сторон трансформатора.
- Если обе распределительные сети только потребляют электроэнергию, и при этом подпитка одной сети среднего напряжения от второй сети невозможна, то допускается параллельное подключение ТТ двух обмоток среднего напряжения трансформатора, что позволяет использовать дифференциальное реле 7UT612, применяемое для двухобмоточных трансформаторов.

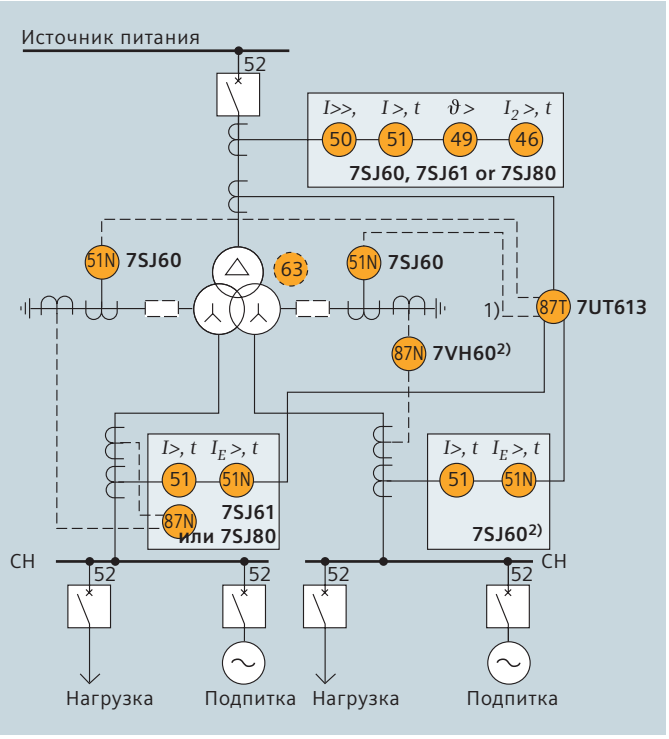


Рисунок 6.2-89: **Трехобмоточный трансформатор**

Автотрансформатор

Примечания:

1) Высокоомная защита 87N требует для работы сердечники ТТ класса PX с одинаковыми коэффициентами трансформации.
2) Реле 7SJ60 возможно подключить последовательно с реле 7UT613 для экономии числа кернов ТТ.

Общие указания:

- Используются две различные схемы защиты: в качестве 87T применяется низкоомное реле для трехобмоточных трансформаторов (7UT613). В качестве 87N применяется 1-фазное высокоомное реле (7VH60), подключенное как дифференциальная защита от замыканий на землю с ограниченной защищаемой зоной. (В данном примере предполагается, что выводы автотрансформатора со стороны нейтрали не имеют ТТ, поэтому используется только ТТ, установленный непосредственно в самой нейтрали).

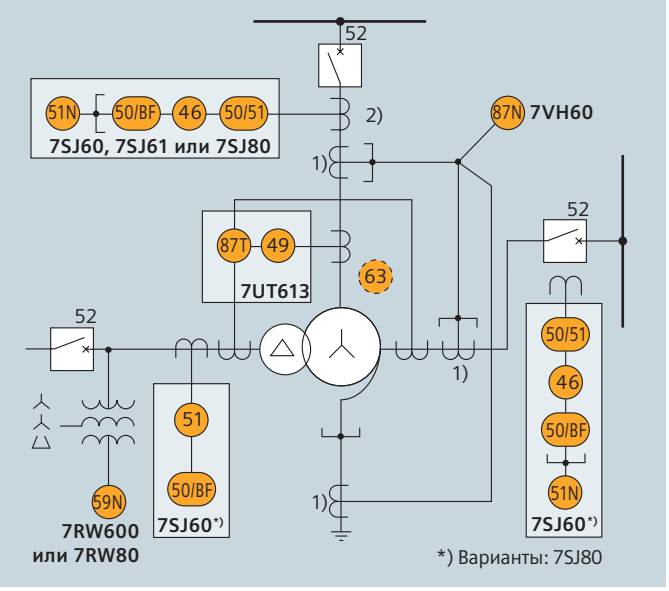


Рисунок 6.2-90: **Автотрансформатор**

Автотрансформаторная группа

Общие указания:

- Автотрансформаторная группа подключена по полуторной схеме.
  Предлагается использовать два основных комплекта дифференциальной защиты.
  Комплект 1: Низкоомная дифференциальная защита 87TL (7UT613), подключаемая к ТТ, встроенным во вводы трансформатора.
  Комплект 2: Высокоомная дифференциальная защита 87TL (7VH60). Данная защита должна подключаться к отдельным сердечникам ТТ класса PX с одинаковыми коэффициентами трансформации.
- В качестве резервной применяется дистанционная защита (устройства типа 7SA52 и 7SA6) с первой ступенью, работающей без выдержки времени, направленной в сторону трансформатора и обеспечивающей защищаемую зону около 80%, и ступенями, работающими с выдержкой времени, чувствительными к повреждениям за трансформатором.
- Предполагается, что обмотка низшего напряжения питает сеть с изолированной нейтралью малой мощности .

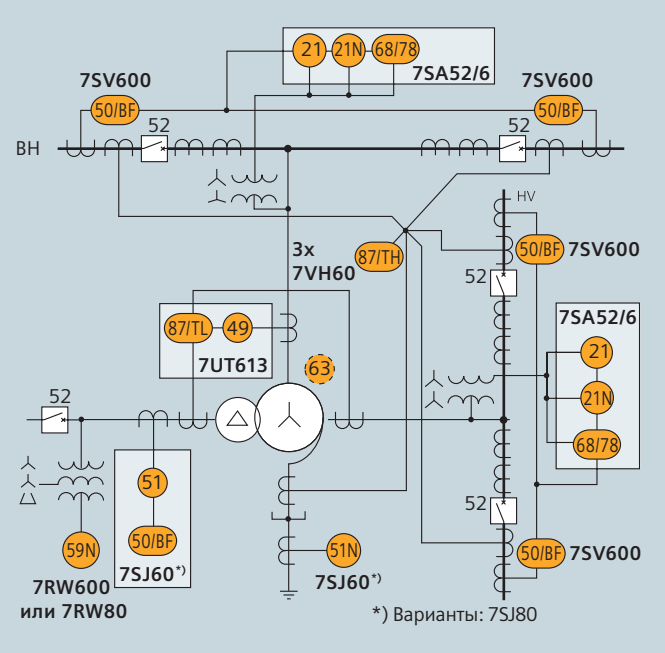


Рисунок 6.2-91: **Автотрансформаторная группа**

3. Двигатели

Двигатели малой и средней мощности < 1 МВт

а) При питании от сети с эффективным или низкоомным резистивным заземлением нейтрали ($I_{зз} \geq I_{н\ двиг}$)

Общие указания:

- Применяется для двигателей низкого и высокого напряжения, питающихся от сети с низкоомным резистивным заземлением нейтрали ($I_{зз} \geq I_{н\ двиг}$)

б) При питании от сети с высокоомным резистивным заземлением нейтрали ($I_{зз} \leq I_{н\ двиг}$)

Примечания:

1) Трансформатор тока нулевой последовательности (ТТНП).
2) Чувствительную направленную защиту от замыканий на землю (67N) возможно использовать только в случае питания от сети с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор нейтралью (указания по применению данной защиты также приводятся в описании схемы 30).
3) Реле 7SJ602 может использоваться в сетях с изолированной и компенсированной нейтралью.

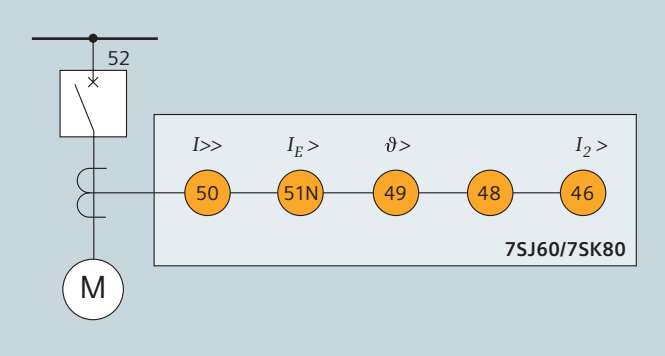


Рисунок 6.2-92: **Защита двигателя, питающегося от сети с эффективным или низкоомным резистивным заземлением нейтрали**

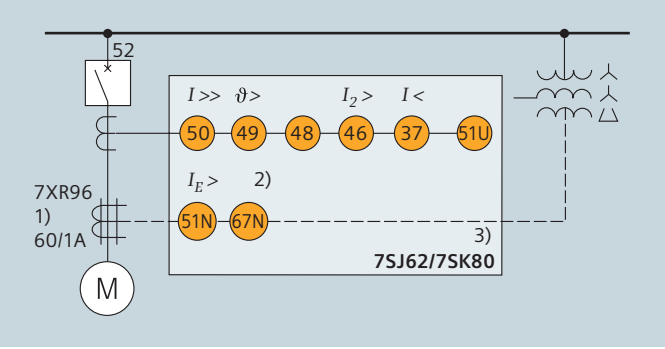


Рисунок 6.2-93: **Защита двигателя, питающегося от сети с высокоомным резистивным заземлением нейтрали**

Мощные двигатели высокого напряжения > 1 МВт

Примечания:

1) Трансформатор тока нулевой последовательности (ТТНП).
2) Чувствительную направленную защиту от замыканий на землю (67N) возможно использовать только в случае питания от сети с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор нейтралью.
3) Данная функция необходима только для двигателей со временем пуска, превышающем безопасное время опрокидывания tE. Согласно МЭК 60079-7 время tE – время, необходимое для нагрева обмоток переменного тока при прохождении по ним пускового тока IA от температуры, достигнутой при номинальных условиях работы и максимальной температуре окружающей среды, до предельно допустимой температуры. Для мониторинга процесса пуска электродвигателя используется специальное устройство контроля вращения. Рассматриваемая защитная функция действует на отключение выключателя двигателя в случае, если двигатель не разворачивается до соответствующей скорости вращения за установленное время. Устройство контроля вращения входит в комплект поставки двигателя.
4) Датчики Pt100, Ni100 и Ni120.
5) Функция 49T доступна только при использовании внешнего устройства контроля температуры (7XV5662).

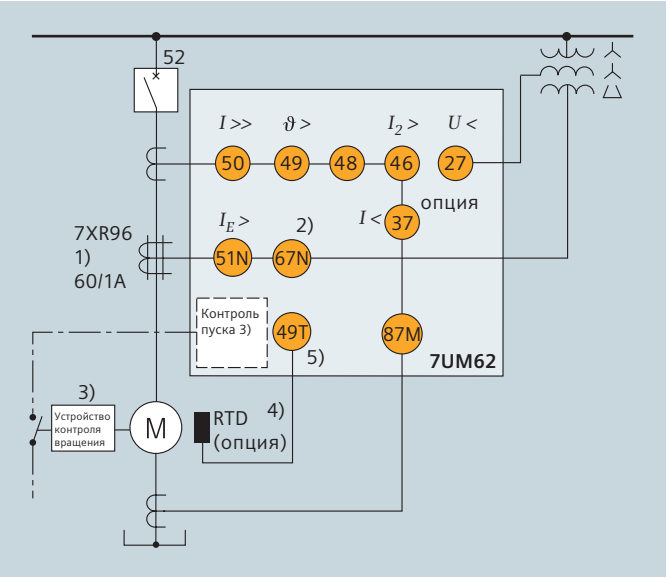


Рисунок 6.2-94: **Защита мощных двигателей высокого напряжения > 1 МВт**

Холодный пуск (динамическая коррекция уставок)

При помощи дискретного сигнала от ключа управления (ручное включение) возможно выполнить загрубление уставки срабатывания МТЗ на заданное время. По истечении заданной выдержки времени уставка возвращается к своему первоначальному значению. Таким образом обеспечивается отстройка от пусковых токов при включении двигателя без снижения чувствительности МТЗ в установившемся режиме работы.

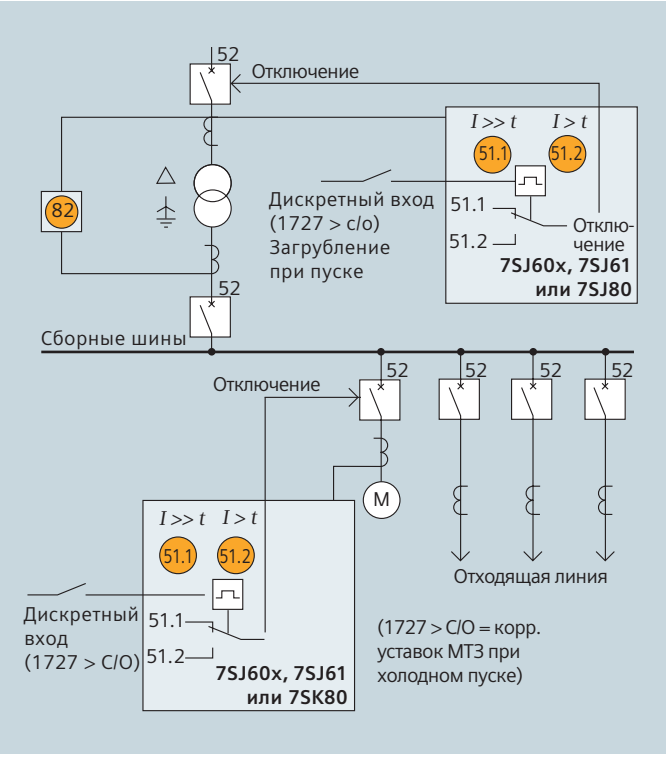


Рисунок 6.2-95: **Холодный пуск (динамическая коррекция уставок)**

4. Генераторы

Генераторы мощностью < 500 кВт (рис. 6.2-96 и рис. 6.2-97)

Примечание:
При наличии ТТНП для подключения чувствительной защиты от замыканий на землю возможно использовать реле 7SJ602 со специальным токовым входом.

Генераторы мощностью 1–3 МВт
(рис. 6.2-98)

Примечание:
Достаточно двух ТН, подключенных по V-схеме («открытый» треугольник).

Генераторы мощностью > 1–3 МВт
(рис. 6.2-99)

Примечания:
1) Функции 81 и 59 необходимы только в тех случаях, когда предполагается, что первичный привод может иметь избыточную скорость, а регулятор напряжения допускает повышение напряжения на выводах генератора выше предельно допустимого значения.
2) Варианты дифференциальной защиты:
   – Низкоомная дифференциальная защита 87.
   – Дифференциальная защита от замыканий на землю с ограниченной защищаемой зоной при низкоомном заземлении нейтрали.

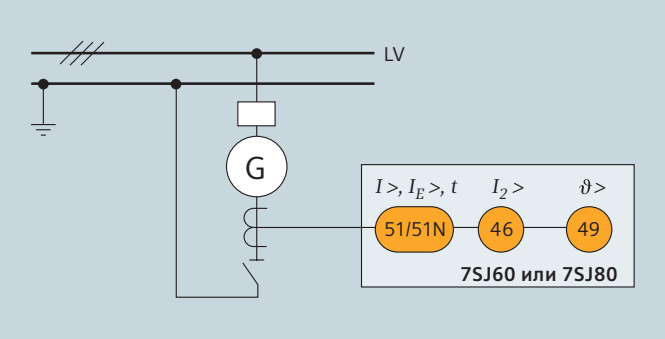


Рисунок 6.2-96: **Генератор с глухим заземлением нейтрали**

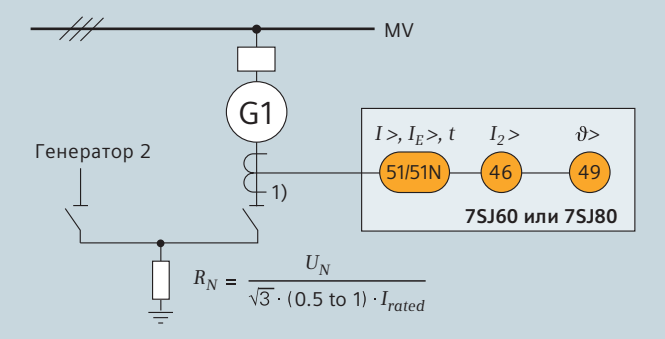


Рисунок 6.2-97: **Генератор с резистивным заземлением нейтрали**

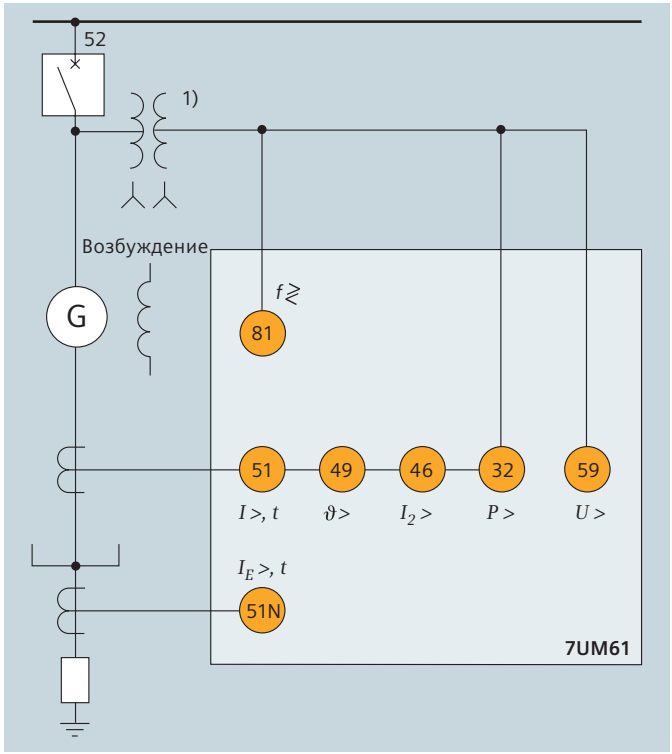


Рисунок 6.2-98: **Защита генераторов мощностью 1–3 МВт**

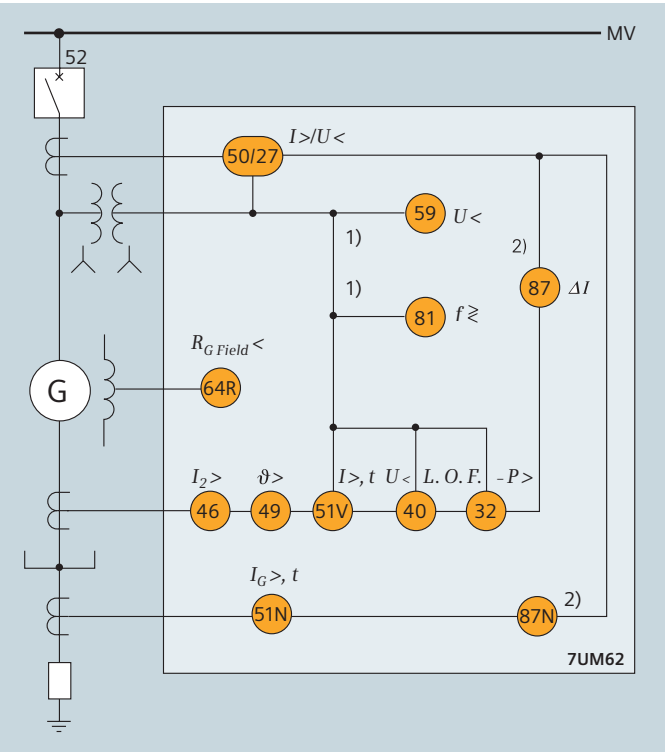


Рисунок 6.2-99: **Защита генераторов мощностью > 1–3 МВт**

Генераторы мощностью > 5 –10 МВт, питающие сеть с изолированной нейтралью
(рис. 6.2-100)

Общие указания:

- Диапазон уставок направленной защиты от замыканий на землю (67N) в составе реле 7UM6 составляет 2–1000 мА. Для отстройки защиты от токов небаланса в установившемся нагрузочном режиме и во время переходных процессов следует задавать определенную уставку срабатывания, величина которой зависит от точности работы ТТ.
- На практике стараются выполнить защиту с защищаемой зоной, охватывающей 90% обмотки генератора (отсчет ведется от выводов). При этом уставка срабатывания защиты должна быть в десять раз меньше полного тока замыкания на землю на выводах генератора, что будет соответствовать току при замыкании на землю, возникшему на удалении в 10 % обмотки от нейтрали.

Вход реле для тока нулевой последовательности подключается к	Минимальная уставка реле	Комментарии
Трансформатор тока нулевой последовательности 60 / 1 А: 1 ТТНП 2 параллельно соединенных ТТНП 3 параллельно соединенных ТТНП 4 параллельно соединенных ТТНП	 2 мА 5 мА 8 мА 12 мА	
Три ТТ, соединенных по схеме фильтра нулевой последовательности	1 А ТТ: 50 мА 5 А ТТ: 200 мА	В общем случае данная схема не применяется для чувствительной защиты от замыканий на землю
Три ТТ со специальной калибровкой (обеспечивающих наименьший ток небаланса), соединенных по схеме фильтра нулевой последовательности	2–3 % номинального вторичного тока ТТ *Iном втор.* (10–15 мА для 5 А ТТ)	Для такой схемы не рекомендуется использовать 1 А ТТ.

Следовательно, наименьшая возможная уставка 2 мА соответствует току замыкания на землю величиной 20 мА вторичных, или же (60 / 1) x 20 мА = 1.2 А первичных.

Если же величина тока замыкания на землю (емкостной ток) на выводах генератора будет меньше указанной величины, то в качестве источника тока нулевой последовательности возможно использовать заземляющий трансформатор с резистивной нагрузкой нулевой последовательности, подключаемый к сборным шинам станции. Наименее мощный стандартный заземляющий трансформатор TGAG 3541 в течение 20 с может нести нагрузку Sнп = 27 кВА.

Для сети напряжением 5 кВ он будет обеспечивать:

$$I_{Г\ 20\ с} = \frac{\sqrt{3} \cdot S_Г}{U_{НОМ}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 27000\ ВА}{5000\ В} = 9.4\ А$$

Что соответствует току реле 9.4 А x 1 / 60 А = 156 мА. При уставке около 15 мА обеспечивается защищаемая зона в 90 %, что позволяет использовать 4 параллельно соединенных ТТНП. Сопротивление нагрузки, подключаемой к обмотке заземляющего трансформатора напряжением 500 В, соединенной в «открытый» треугольник, рассчитывается следующим образом:

$$R_В = U^2_{втор} / S_Г = 500\ U^2 / 27000\ ВА = 9.26\ Ом\ (27\ кВт,\ 20с)$$

Вторичный ток замыкания на землю для генератора мощностью 5 МВА со специально калиброванными ТТ 600 / 5 А, обеспечивающими наименьший ток небаланса, будет следующий: $I_{зз\ втор}$ = 9.4 А / (600 / 5) = 78 мА.

В этом случае при уставке 12 мА защищаемая зона составит:
$100\left(1-\frac{12}{78}\right)$ = 85 %.

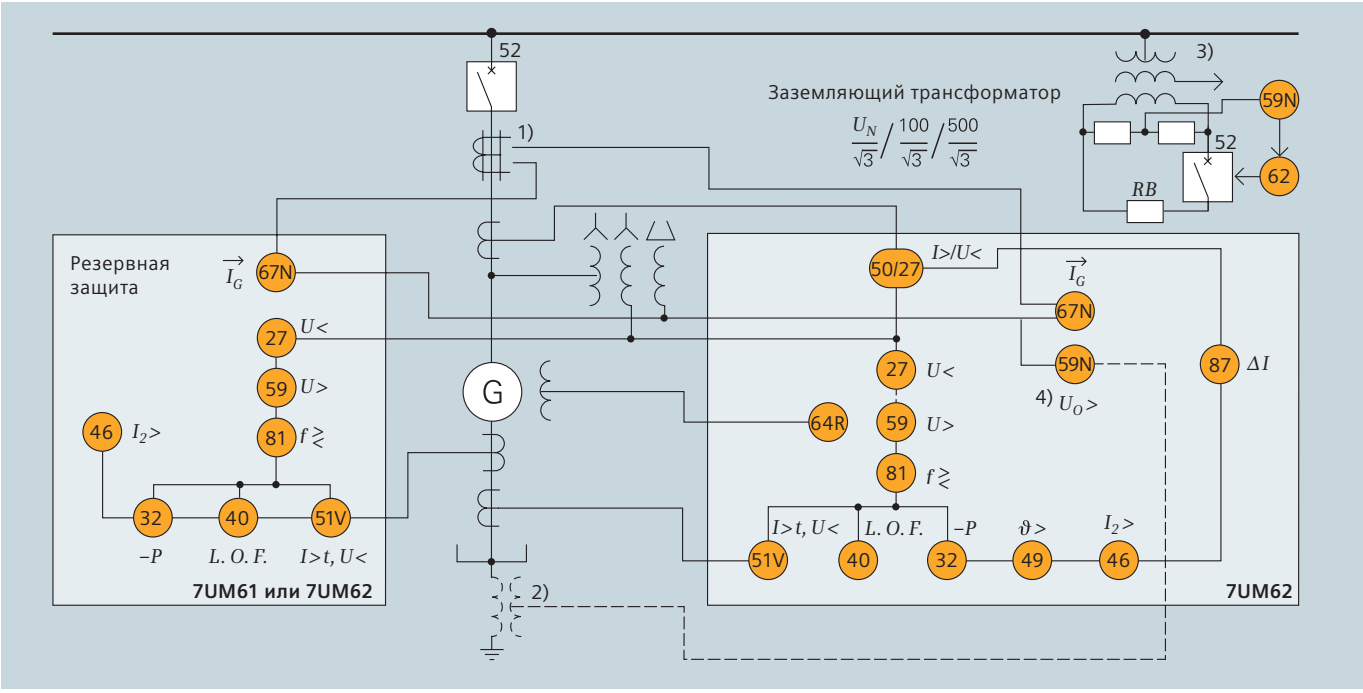


Рисунок 6.2-100: **Защита генераторов мощностью > 5-10 МВт**

Примечания (рис. 6.2-100):

1) Стандартный ТТНП 7XR96 имеет коэффициент трансформации 60 / 1 А.
2) В качестве поляризующего напряжения для защиты вместо напряжения, получаемого от ТН, установленного на выводах генератора (от обмотки, соединенной в разомкнутый треугольник), возможно использовать напряжение от однофазного ТН, установленного в нейтрали генератора.
3) Заземляющий трансформатор может нести указанную нагрузку в течение 20 с. Для предотвращения перегрузки защита по напряжению нулевой последовательности, работающая с определенной выдержкой времени, автоматически отключает нагрузочный резистор посредством контактора.
4) При пуске генератора с отключенным генераторным выключателем источник тока нулевой последовательности (заземляющий трансформатор) оказывается недоступным. Для обеспечения защиты от замыканий на землю в течение указанного промежутка времени посредством сигнала от блок-контактов выключателя, подключенных к дискретным входам реле, возможно выполнить временную замену функции направленной токовой защиты от замыканий на землю (67N) функцией максимальной защиты по напряжению нулевой последовательности.

Генераторы мощностью > 50 –100 МВт, работающие в блоке с трансформатором
(рис. 6.2-101)

Примечания:

1) 100 % защита статора от замыканий на землю реализуется путем наложения напряжения частотой 20 Гц.
2) Чувствительная защита ротора от замыканий на землю реализуется путем наложения напряжения частотой 1–3 Гц.
3) Неэлектрические сигналы могут заводиться с помощью преобразователей на устройство защиты через дискретные входы (ДВх).
4) На рисунке показаны только используемые функции. Каждое конкретное реле может выполнять также и другие определенные функции.

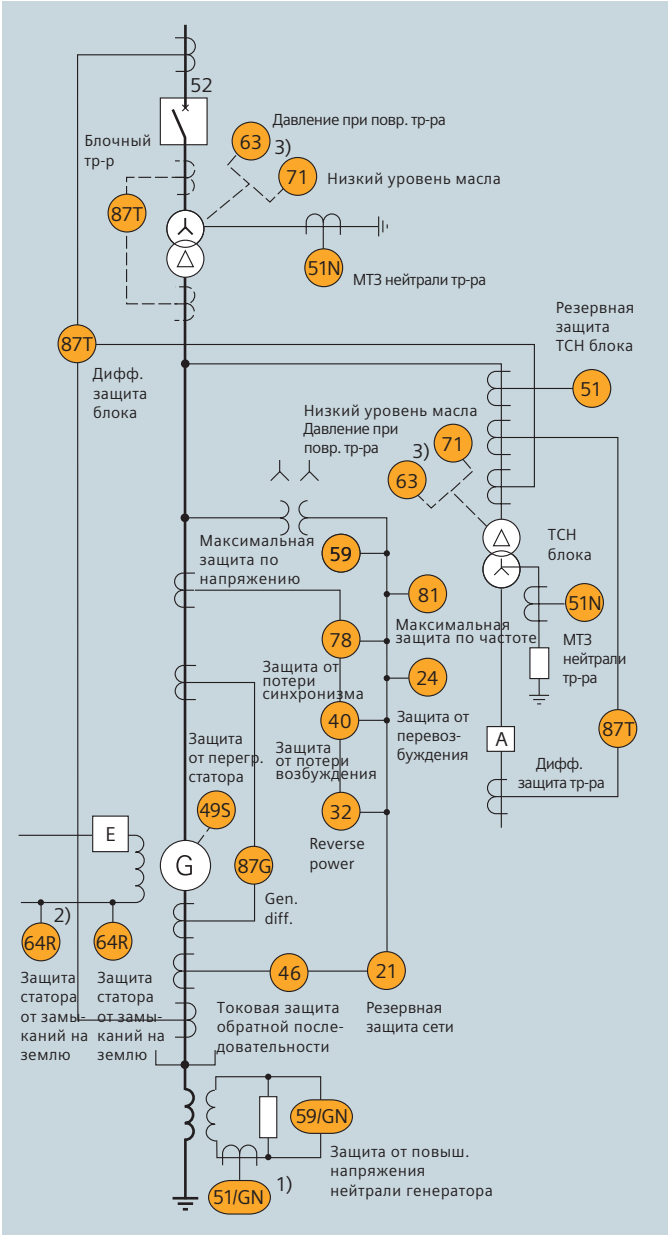


Рисунок 6.2-101: **Защита генераторов мощностью > 50 МВт**

Тип реле	Функции [4]								Требуемое кол-во реле
7UM62	21	24	32	40	46	49			2
	51GN [1]	59GN [1]	59	64R [2]	64R [2]	78			
	81	87G	Через ДВх	71	63				
7UM61 или 7UM62	51	51N	Опция	21	59	81	Через ДВх	71 63	1
7UT612	87T	51N					Опция		1 2
7UT613	87T								1

Рисунок 6.2-102: **Функции, реализуемые различными типами реле**

Синхронизация генераторов

На рис. 6.2-103 показана типовая схема подключения устройства синхронизации генератора. Устройство синхронизации 7VE6, к которому подводятся напряжение шин и напряжение генератора, вычисляет разницу значений указанных напряжений, их частот и фазовый сдвиг между ними. Если рассчитанные величины находятся в допустимом диапазоне, то с учетом времени включения выключателя выдается команда на его ВКЛЮЧЕНИЕ. В случае, когда указанные величины находятся вне допустимого диапазона, устройство синхронизации выдает соответствующие команды устройствам регулирования напряжения и скорости вращения. Например, если значение частоты выходит за допустимые пределы, выдается команда устройству регулирования скорости вращения. Если же напряжение выходит за пределы допустимого диапазона, выдается команда устройству регулирования напряжения.

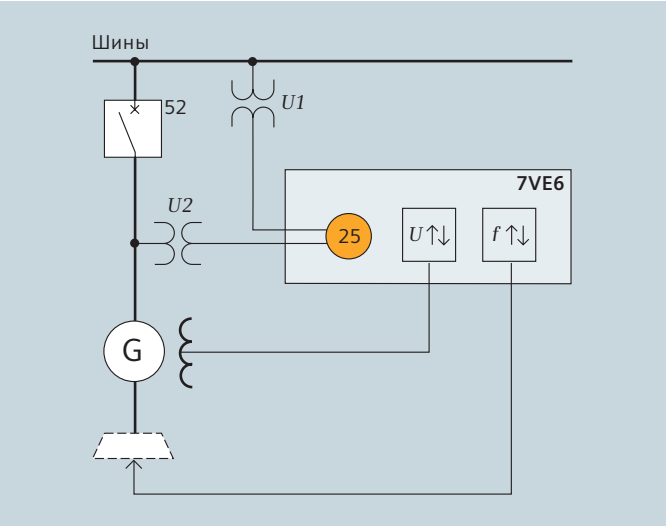


Рисунок 6.2-103: **Синхронизация генератора**

5. Сборные шины

Защита сборных шин на основе токовых реле с обратной блокировкой (логическая защита шин)

Общие указания:
- Данная схема защиты применима для шин распределительной подстанции без существенной (< 0.25 x Iном) подпитки со стороны отходящих присоединений.

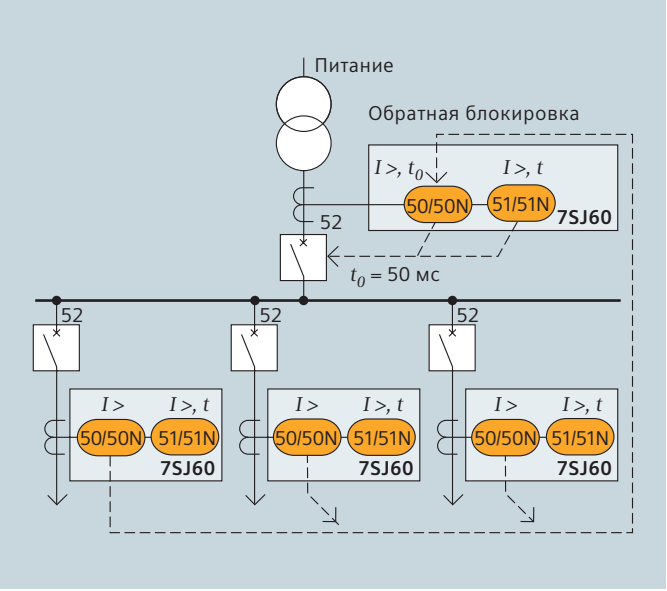


Рисунок 6.2-104: **Защита сборных шин на основе токовых реле с обратной блокировкой (логическая защита шин)**

Высокоомная защита шин

Общие указания:
- Обычно применяется для одиночных шин и полуторных схем подключения.
- Необходимо использовать отдельные сердечники ТТ класса PX, имеющие одинаковый коэффициент трансформации.

Примечание:
Для ограничения уровня напряжения до безопасных значений во вторичных цепях на входных зажимах реле обычно предусматривается установка варистора.

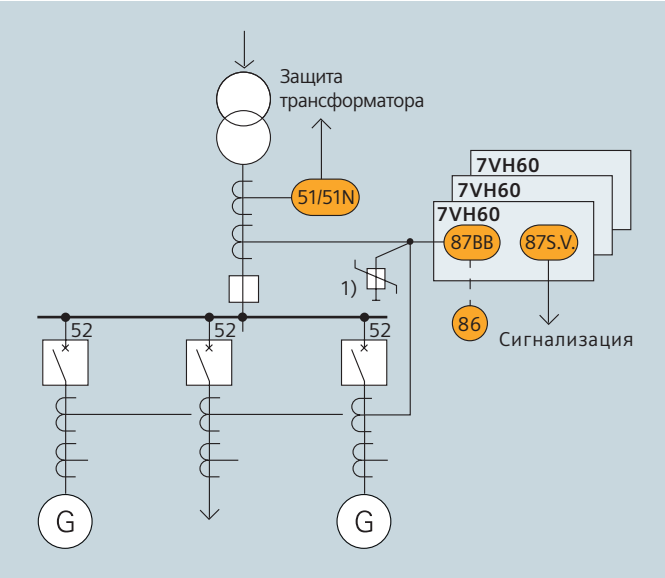


Рисунок 6.2-105: **Высокоомная защита шин**

Низкоомная защита шин 7SS60

Общие указания:
- Обычно применяется для одиночных, двойных систем шин и полуторных схем подключения. Различные коэффициенты трансформации ТТ могут быть компенсированы использованием выравнивающих трансформаторов.
- Неограниченное количество присоединений.
- Защиту отходящей линии возможно подключить к тому же керну ТТ, куда подключается низкоомная дифференциальная защита.

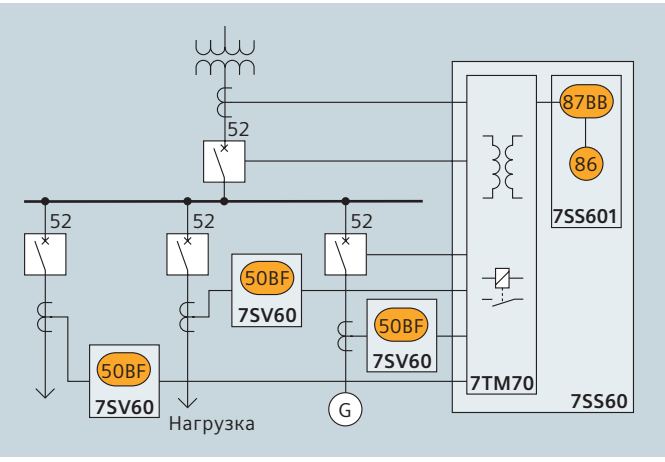


Рисунок 6.2-106: **Низкоомная защита шин 7SS60**

Распределенная защита шин 7SS52

Общие указания:
- Применима для всех конфигураций шин.
- Рекомендуется использовать для схем с несколькими системами шин, где требуется контролировать положение разъединителей.
- Цифровая защита шин 7SS52 также выполняет функцию УРОВ.
- Различные коэффициенты трансформации ТТ выравниваются программно.
- Система защиты и положение разъединителя непрерывно контролируются самим реле 7SS52.
- Защиту отходящей линии возможно подключить к тому же сердечнику ТТ, куда подключена распределенная дифференциальная защита.

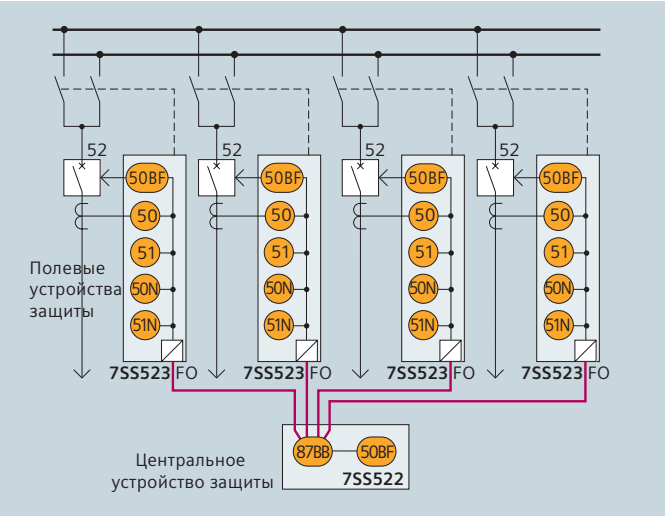


Рисунок 6.2-107: **Распределенная защита шин 7SS52**

6. Энергосистемы

Автоматическая частотная разгрузка
В неустойчивых энергосистемах (например, в изолированных системах, системах аварийного энергоснабжения в больницах) может возникнуть необходимость отключения отдельных потребителей для предотвращения перегрузки системы в целом. Для данных целей токовые защиты не подходят, т. к. они эффективны только при коротких замыканиях. Поэтому перегрузку генераторов определяют по понижению частоты или напряжения. (Защитные функции 27 и 81 доступны в устройствах 7RW600, 7SJ6 и 7SJ8)/

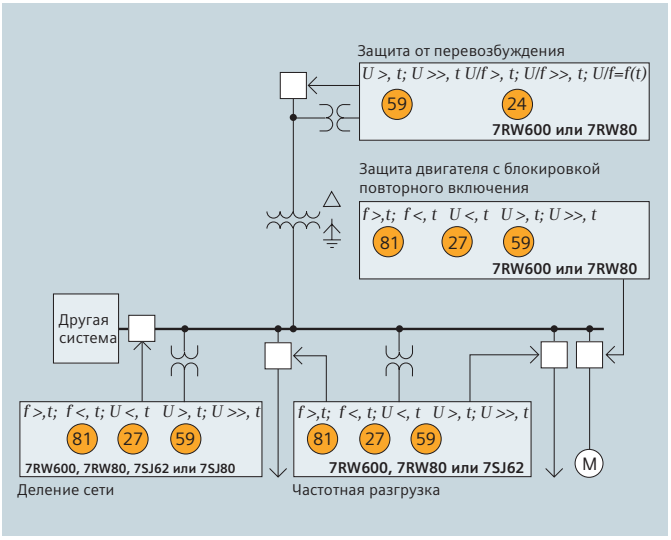


Рисунок 6.2-108: **Автоматическая частотная разгрузка**

Защита по скорости изменения частоты на основе измеряемых значений частоты вычисляет градиент изменения частоты df / dt. Таким образом возможно обнаружить небаланс активной мощности в энергосистеме, отключить определенных потребителей, и тем самым восстановить устойчивую работу системы. В отличие от защиты по частоте, защита по скорости изменения частоты срабатывает прежде, чем значение частоты упадет ниже уставки срабатывания. Для выбора подходящих уставок защиты рекомендуется учитывать требования, предъявляемые ко всей энергосистеме в целом. Защита по скорости изменения частоты также может использоваться для деления энергосистемы. Защита по скорости изменения частоты может запускаться при понижении частоты ниже заданной уставки.

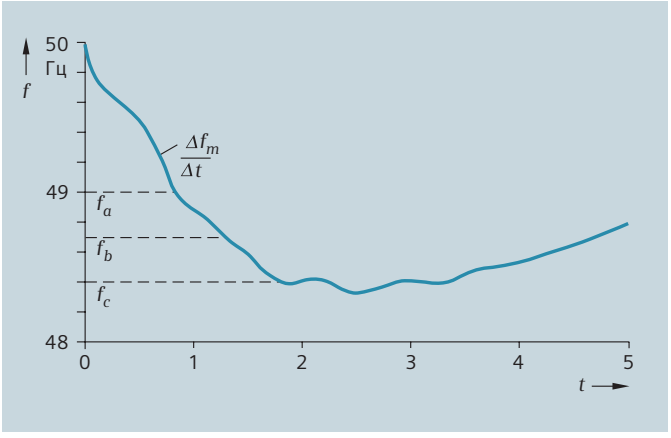


Рисунок 6.2-109: **Автоматическая частотная разгрузка с контролем скорости изменения частоты**

Контроль цепей отключения (ANSI 74TC)
Для контроля цепей отключения возможно использовать один или два дискретных входа.

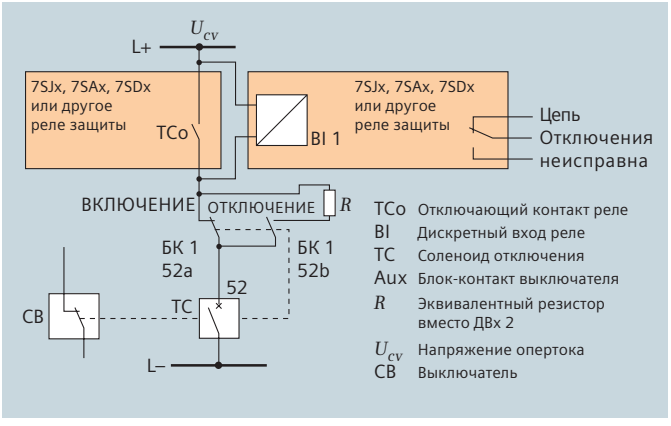


Рисунок 6.2-110: **Контроль цепей отключения (ANSI 74TC)**

Отключение при реверсе мощности (использование гибких функций защиты)

Общие указания:
Реле SIPROTEC 7SJ64 отключает подстанцию от энергосистемы в случае, если генератор начинает выдавать мощность обратно в энергосистему (защитная функция $P_{реверс}>$). Такие функциональные возможности реализуются путем использования гибких функций устройства. Отключение выполняется также в случае отклонений по напряжению или частоте, возникающих в энергосистеме (защитные функции $f<, f>, U<, U>, I_{dir}>, I_{Edir}>$ *I* 81, 27, 59, 67, 67N).

Примечания:
1) Трансформатор защищается дифференциальной защитой и МТЗ с независимой или обратно зависимой выдержкой времени. При возникновении повреждения выключатель СВ1 со стороны энергосистемы отключается по каналу связи. Также отключается выключатель СВ2.
2) Отходящие линии 1 и 2 защищаются от коротких замыканий и перегрузок при помощи МТЗ. МТЗ от междуфазных и однофарных повреждений могут иметь как независимые, так и обратно зависимые характеристики выдержки времени. Выключатели СВ4 и СВ5 отключаются при возникновении повреждения на отходящей линии.

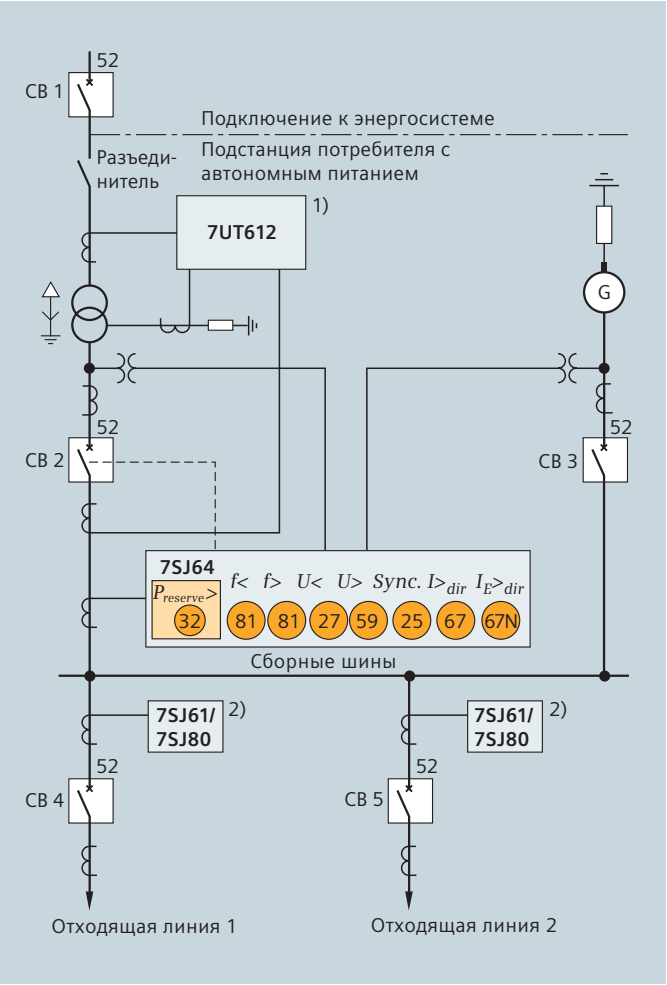


Рисунок 6.2-111: **Пример подстанции с автономным источником питания**

6.2.5 Согласование защит

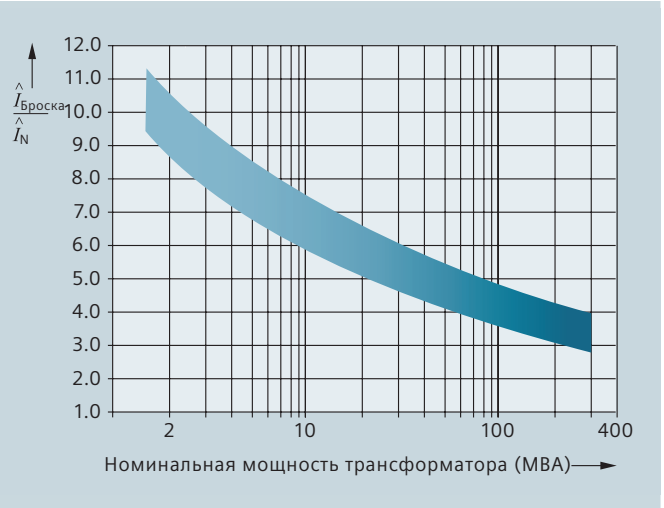
Селективность
Для достижения селективности рабочие характеристики реле и их параметры настройки должны быть тщательно скоординированы. Целью является отключение только дефектного элемента и сохранение в работе остальной части энергосистемы, минимизация прекращения подачи электроэнергии и обеспечение стабильности.

Чувствительность
Для обеспечения обнаружения повреждений, сопровождающихся протеканием малых токов, защита должна обладать возможно большей чувствительностью. В то же время, защита должна быть отстроена от максимально возможных токов нагрузки, перегрузки, сквозных токов КЗ. Дополнительную информацию по данному вопросу можно найти по адресу: http://www.siemens.com/systemplanning. ПО SINCAL и SIGRADE от компании Siemens разработано специально для расчета и согласования уставок защит. Данное ПО позволяет выполнить расчет токов КЗ, осуществить согласование уставок защит. При этом возможно использовать стандартные характеристики реле, предохранителей, выключателей, учитывать броски токов намагничивания, нагрузочные характеристики различного оборудования.

Максимальная токовая защита от междуфазных к. з.
При условии, что токи КЗ имеют достаточно большое значение, уставку по току срабатывания МТЗ обычно выбирают на 30% большей тока нагрузки. Это относится преимущественно к защитам с электромеханическими реле, имеющими коэффициент возврата порядка 0.8–0.85. Цифровые реле имеют коэффициент возврата порядка 0.95, поэтому для таких защит уставку можно принимать на 10% меньшей. Выбор уставок защиты присоединений с большой трансформаторной и/или двигательной нагрузкой требует отдельного подхода.

Присоединения с трансформаторами
При включении трансформатора возникает бросок тока намагничивания, который в зависимости от мощности трансформатора может длиться до нескольких секунд (рис. 6.2-112). Ток срабатывания и выдержка времени МТЗ должны быть выбраны таким образом, чтобы значение тока намагничивания при его броске достигало уставки возврата МТЗ до истечения ее выдержки времени срабатывания. Бросок тока обычно содержит около 50% основной гармоники. Поэтому цифровые защиты, отфильтровывающие высшие гармонические и апериодическую составляющие из измеряемых токов, могут иметь меньшую уставку срабатывания.
При этом значения броска тока намагничивания, приведенные на рис. 6.2-112, уменьшатся более чем наполовину. Некоторые цифровые реле защиты имеют функцию обнаружения броска тока намагничивания, при срабатывании которой может выполняться блокировка МТЗ.

Защита от замыканий на землю
Защиты от замыканий на землю обладают высокой чувствительностью, т. к. при выборе их уставок срабатывания нет необходимости в отстройке от токов нагрузки (за исключением 4-х проводных цепей с 1-фазной нагрузкой). В сетях с глухим или низкоомным резистивным заземлением нейтрали обычно применяется уставка в 10–20 % номинального тока. При высокоомном заземлении нейтрали необходимо использовать гораздо меньшую уставку срабатывания, т. к. токи замыкания на землю в таких сетях имеют значение порядка нескольких ампер. Например, ток замыкания на землю при повреждении в генераторе или двигателе необходимо ограничивать до значений меньших 10 А для предотвращения пожара стали. В таких случаях нельзя подключать защиту от замыканий на землю к нейтральному проводу вторичных обмоток ТТ, соединенных в фильтр тока нулевой последовательности, особенно при первичных номинальных



Постоянная времени броска тока намагничивания

Номинальная мощность (МВА)	0.5 ... 1.0	1.0 ... 10	> 10
Постоянная времени (с)	0.16 ... 0.2	0.2 ... 1.2	1.2 ... 720

Рисунок 6.2-112: **Пиковые значения броска тока намагничивания**

токах ТТ превышающих 200 А. Это обусловлено тем, что уставка срабатывания защиты будет близка к суммарной погрешностью используемых ТТ. Исходя из сказанного выше, для подключения защиты от замыканий на землю рекомендуется использовать специальный трансформатор тока нулевой последовательности (ТТНП). Стандартные ТТНП имеют коэффициент трансформации 60/1 А. Следовательно, для того, чтобы защита почувствовала ток замыкания на землю величиной 6 А она должна иметь уставку срабатывания 0.1 А вторичных. В сетях с изолированной или компенсированной нейтралью, где ток 1-фазного повреждения на землю имеет очень малые значения, могут потребоваться еще меньшие значения уставок срабатывания защиты. В таких сетях в зависимости от минимальных значений тока однофазного замыкания на землю уставка срабатывания защиты может иметь значения 20 мА и ниже. Чувствительная направленная защита от замыканий на землю (реализованная в реле 7SJ62, 63, 64, 7SJ80, 7SK80, 7SA6) может иметь уставку до 5 мА. Для устройств серии Siprotec 5 функция чувствительной защиты от повреждений на землю позволяет выставить уставку 1мА.

Примечание при применении «земляной» защиты с ТТНП (кабельного типа):
Пожалуйста, учитывайте свойства конкретного ТТ кабельного типа.
Уставка IE> должна иметь достаточную отстройку от максимально возможной погрешности ТТ данного типа
Пояснение:
Даже в случае, когда 3 проводника расположены симметрично по центру при прохождении через ТТ кабельного типа, во вторичной цепи будет протекать ток погрешности. Этот ток будет пропорционален току нагрузки.
В случае несвязанных проводников или когда проводники расположены несимметрично или проходят не через центр, погрешности может значительно увеличиться.

Присоединения с двигателями
При включении двигателя появляется пусковой ток (ток заблокированного ротора), который может в 5–6 раз превышать номинальный ток.

Типовая время-токовая характеристика для асинхронного электродвигателя представлена на рис. 6.2-113.

В первые 100 мс проявляется быстро затухающая апериодическая составляющая тока. Для электромеханических защит уставка срабатывания токовой отсечки обычно выбиралась на 20–30% большей пускового тока, при этом вводилась небольшая выдержка времени срабатывания порядка 50–100 мс для отстройки от апериодической составляющей тока.

Цифровые защиты могут очень быстро отфильтровывать апериодическую составляющую, следовательно, для них нет необходимости вводить выдержку времени срабатывания.

Характеристика срабатывания защиты от перегрузки должна как можно более точно соответствовать тепловой характеристике двигателя. Параметрирование данной характеристики срабатывания осуществляется посредством задания уставки срабатывания защиты и тепловой постоянной времени, значение которой приводится в паспортных данных двигателя. Время срабатывания защиты от блокировки ротора необходимо задавать согласно соответствующей характеристике двигателя.

Согласование по времени максимальных токовых защит (51)
Селективность работы максимальных токовых защит обеспечивается согласованием по времени их характеристик срабатывания. Защита элемента сети, расположенного ближе к источнику питания (вышестоящая защита), должна отстраиваться по времени от защиты последующего элемента сети (нижестоящая защита). На рис. 6.2-115 представлен принцип выбора выдержек времени срабатывания защит на примере МТЗ с независимыми выдержками времени.

Ступень селективности учитывает инерционность реле, которая проявляется в том, что даже после того как повреждение было устранено, реле некоторое время продолжает оставаться в сработанном состоянии. Данное время достаточно велико для электромеханических реле (около 0.1 с), и незначительно для цифровых реле (около 20 мс).

Максимальные токовые защиты с обратно зависимой выдержкой времени (51)
Согласование по времени защит с обратно зависимой выдержкой времени в общем случае выполняется по тем же принципам, что и согласование защит с независимой выдержкой времени. Выдержки времени сначала рассчитываются для максимальных токов КЗ, а затем проверяются для меньших токов (рис. 6.2-114).

Если все рассматриваемые защиты имеют одинаковые характеристики срабатывания или если вышестоящая защита имеет более крутую характеристику (например, сильно крутую, в то время как нижестоящая защита имеет нормально инверсную характеристику), то при малых токах селективность их работы будет обеспечиваться по умолчанию.

Дифференциальные защиты (87)
Дифференциальные защиты трансформаторов обычно имеют уставку между 20-30% номинального тока. Более высокие значения уставок выбираются в тех случаях, когда трансформатор имеет устройство РПН. Дифференциальные защиты от замыканий на землю с ограниченной защищаемой зоной и высокоомные дифференциальные защиты двигателей / генераторов, как правило, имеют уставку срабатывания около 10 % номинального тока.

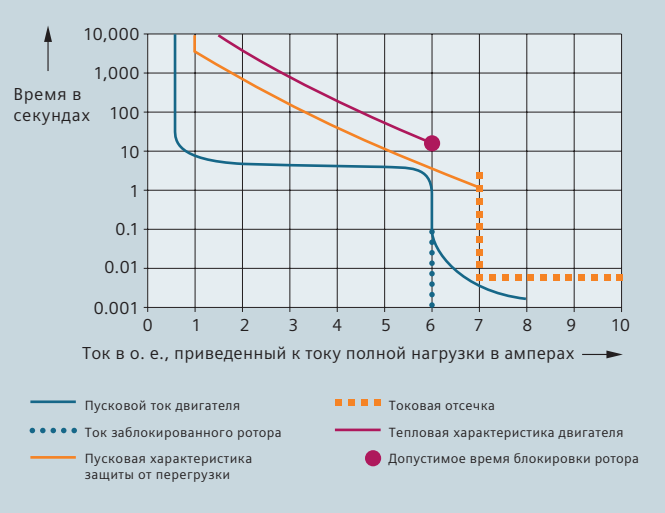


Рисунок 6.2-113: **Типовая время-токовая характеристика двигателя**

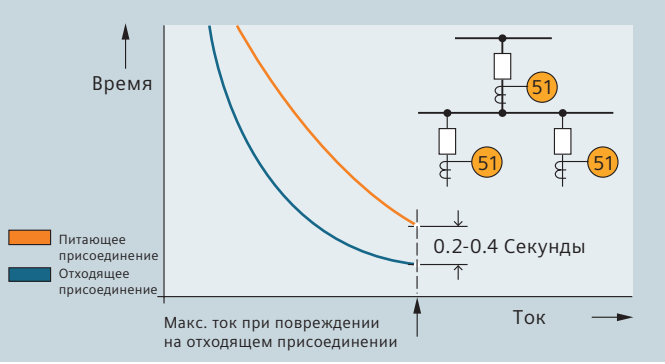


Рисунок 6.2-114: **Согласование по времени МТЗ с обратно зависимой выдержкой времени**

МТЗ без выдержки времени (50)
МТЗ без выдержки времени обычно применяются на последнем перед потребителем участке сети, а также на любом защитном реле, если участок до следующего защитного реле имеет достаточно большое сопротивление. Уставка при защите трансформаторов, должны иметь величину на 20-30 % большую максимально возможного тока сквозного КЗ. Реле не должно срабатывать при броске тока намагничивания трансформатора.

Пример расчета
На рис. 6.2-116 представлена конфигурация сети, а также приведена информация относительно соответствующих токов КЗ и токов нагрузки. В данном примере используются токовые цифровые реле защиты 7SJ60 (7SJ80) с нормально инверсными (обратно зависимыми) выдержками времени.

Выдержки времени срабатывания защит в зависимости от величины тока, находятся по соответствующим кривым, приведенным на рис. 6.2-117, или рассчитываются по формуле, приведенной на том же рисунке.

Уставки защит по току срабатывания Icp / $Iном$ (где $Iном$ – номинальный первичный ток ТТ), указанные на рис. 6.2-116, выбраны исходя из условия обеспечения надежного несрабатывания защиты при протекании максимального тока нагрузки.

Уставка по току срабатывания должна быть наименьшей у защиты наиболее удаленного от источника питания участка сети. Вышестоящие защиты должны иметь уставку равную или большую уставки срабатывания защиты наиболее удаленного от источника питания участка сети.

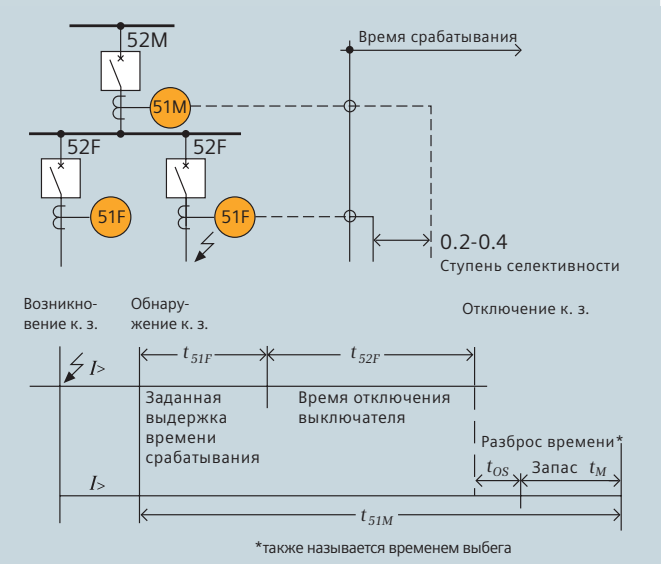
Уставки по коэффициенту времени для обратно зависимых характеристик выдержки времени защит рассчитываются следующим образом:

Подстанция С:
- Защиту, установленную на данной подстанции, необходимо согласовать с нижестоящими предохранителями. Для этого следует рассматривать КЗ в точке F1.
- Максимальный ток КЗ *Iкз макс*, приведенный к ступени напряжения 13.8 кВ, составляет 523 А. Таким образом, отношение указанного максимального тока КЗ к току срабатывания защиты, установленной на подстанции С, *I* / *Icp* будет иметь значение 7.47.
- Используя найденное значение и коэффициент времени *Tcp* = 0.05 по кривым, приведенным на рис. 6.2-114, определяется выдержка времени срабатывания защиты t_A = 0.17.

Выбранное время срабатывания МТЗ обеспечивает надежную отстройку данной защиты от времени срабатывания предохранителя, установленного на стороне низкого напряжения трансформатора. Следовательно, для МТЗ, установленной на подстанции С, принимаются следующие уставки:
- Ток срабатывания: *Icp* / *Iном* = 0.7
- Коэффициент времени: *Tcp* = 0.05

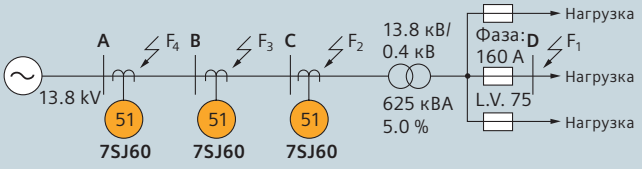
Подстанция В:
Реле, установленное на подстанции В, выполняет функции основной защиты линии В-С и резервирует работу реле, установленного на подстанции С. Максимальный сквозной ток величиной 1395 А возникает при коротком замыкании в точке F2. Реле, установленное на подстанции С, имеет время срабатывания 0.11 с (*I* / *Icp* = 19.93).

Т. к. особые требования к сокращению времени срабатывания защиты не предъявляются, то используется обычная ступень селективности в 0.3 с. Исходя из этого рассчитывается время срабатывания реле, установленного на подстанции В.
- t_B = 0.11 + 0.3 = 0.41 s
- Значение $Ip / IN = \frac{1{,}395\ \text{A}}{220\ \text{A}} = 6.34$ (рис. 6.2-116)
- Используя рассчитанное время срабатывания защиты 0.41 с и значение отношения *I* / *Icp* = 6.34 по кривым, приведенным на рис. 6.2-117, определяется коэффициент времени *Tcp* = 0.11.



Выбор ступени селективности	
$t_{rs} = t_{51M} - t_{51F} = t_{52F} + t_{OS} + t_M$	
Пример 1	t_{TG} =0.10 c + 0.15 c + 0.15 c = 0.40 c
Масляный выключатель	t_{52F} = 0.10 c
Электромеханические реле	t_{OS} = 0.15 c
Запас по времени, учитывающий погрешности измерения и т. д.	t_M = 0.15 c
Пример 2	t_{TG} = 0.08 + 0.02 + 0.10 = 0.20 c
Вакуумный выключатель	t_{52F} = 0.08 c
Цифровые реле	t_{OS} = 0.02 c
Запас по времени	t_M = 0.10 c

Рисунок 6.2-115: **Согласование по времени максимальных токовых защит**



Подстанция	Макс. Нагрузка, А	$I_{SCC.\,max}$* А	Коэффициент трансформации ТТ	I_p / I_N**	I_{prim}*** А	$I / I_p = \frac{I_{SCC.\,max}}{I_{prim}}$
A	300	4,500	400 / 5	1.0	400	11.25
B	170	2,690	200 / 5	1.1	220	12.23
C	50	1,395	100 / 5	0.7	70	19.93
D	–	523	–	–	–	–

*) $I_{кз\,макс}$ = максимальный ток к. з .
**) $I_{ср} / I_{ном}$ = отношение первичного тока срабатывания защиты к номинальному первичному току ТТ
***) *Icp* = первичный ток срабатывания защиты, соответствующий отношению $I_{ср} / I_{ном}$

Рисунок 6.2-116: **Согласование по времени максимальных токовых защит с обратно зависимыми характеристиками выдержки времени для радиальной сети**

Следовательно, для реле (МТЗ), установленной на подстанции B, принимаются следующие уставки:
- Ток срабатывания: *Icp* / *Iном* = 1.1
- Коэффициент времени: *Tcp* = 0.11

Используя данные уставки можно определить время срабатывания реле, установленного на подстанции B, при КЗ в точке F3: ток при КЗ в указанной точке имеет значение 2690 A (рис. 6.2- 116). При этом отношение *I* / *Icp* имеет значение 12.23.
- Используя указанное значение отношения и коэффициент времени *Tcp* = 0.11 по кривым, приведенным на рис. 6.2-117, определяется выдержка времени срабатывания защиты, составляющая 0.3 с.

Подстанция A:
- Путем добавления ступени селективности значением 0.3 с находится требуемое время срабатывания защиты t_A = 0.3 + 0.3 = 0.6 с.

Уставки защиты, установленной на подстанции A, находятся аналогично уставкам защиты, установленной на подстанции B. В результате получаются следующие значения:
- Ток срабатывания: *Icp* / *Iном* = 1.0
- Коэффициент времени: *Tcp* = 0.17
- При близком КЗ в точке F4 время срабатывания защиты составляет 0.48 с.

Проверка селективности
Для проверки селективности работы защит во всем интервале возможных токов КЗ выполняется построение характеристик срабатывания всех рассматриваемых защит на одном графике, откладываемых по обеим осям в логарифмическом масштабе. Данные характеристики возможно рассчитать по точкам вручную, либо построить при помощи шаблонов.

Для построения характеристик также возможно использовать компьютерные программы. На рис. 6.2-118 представлены характеристики защит для рассматриваемого примера, построенные при помощи программы SIGRADE (Siemens Grading Program).

Примечание:
В данном примере для упрощения расчетов рассматриваются защиты, имеющие только обратно зависимые характеристики выдержки времени. При использовании ступеней без выдержки времени (ступень I>> реле 7SJ60) возможно сократить время срабатывания защиты на 0.1 с при возникновении КЗ, сопровождающихся протеканием больших токов.

Согласование максимальных токовых защит с предохранителями и защитными устройствами на стороне низшего напряжения
Согласование выполняется аналогично описанному выше согласованию максимальных токовых защит. Обычно достаточно использовать ступень селективности в 0.1–0.2 с.

При согласовании рекомендуется использовать сильно- и предельно-инверсные обратно зависимые характеристики выдержки времени защит. На рис. 6.2-119 представлены типичные примеры.

На простых распределительных подстанциях на стороне среднего напряжения питающего трансформатора применяются предохранители (рис. 6.2-119а).

При этом характеристика срабатывания МТЗ питающего присоединения должна согласовываться с характеристикой срабатывания предохранителей.

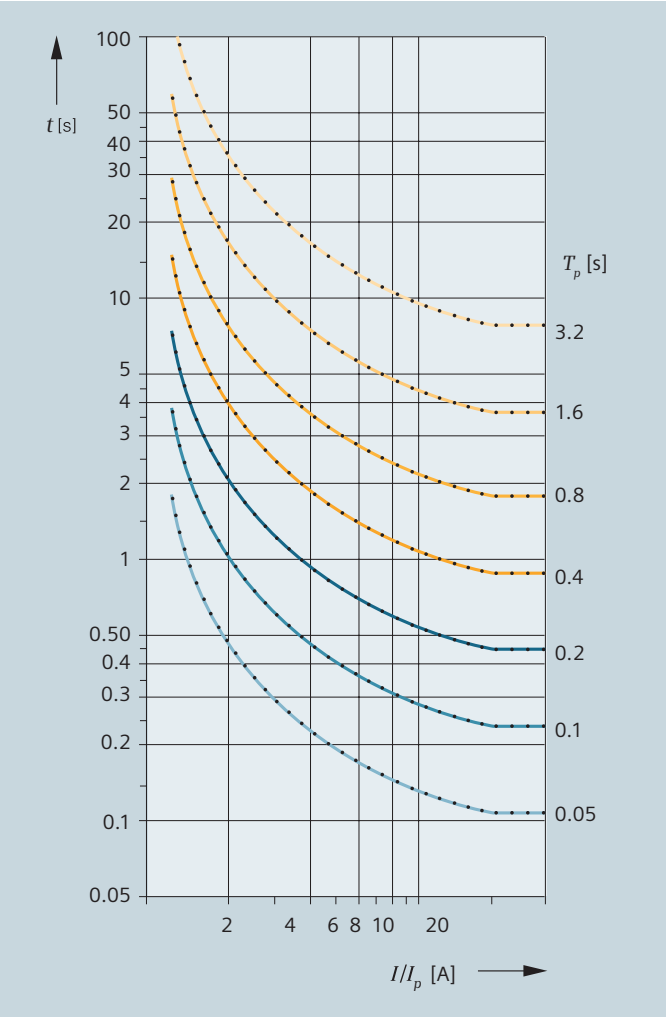


Рисунок 6.2-117: **Семейство нормальных обратно зависимых характеристик выдержки времени реле 7SJ60**

Нормальная обратно зависимая характеристика выдержки времени

$$t = \frac{0.14}{(I/Ip)^{0.02} - 1} \cdot Tp(\text{s})$$

Сильно-инверсные обратно зависимые характеристики могут использоваться для согласования со стреляющими предохранителями, а предельно-инверсные обратно зависимые характеристики лучше подходят для согласования с токоограничивающими предохранителями.

В любом случае окончательное решение о типе используемых характеристик срабатывания следует принимать после их построения на одном графике в логарифмическом масштабе.

Электронные отключающие элементы низковольтных автоматических выключателей имеют ступени с большой, малой выдержкой времени срабатывания, а также ступень, работающую без выдержки времени. Цифровые реле МТЗ с одной ступенью, имеющей обратно зависимую выдержку времени, и двумя ступенями, имеющими независимые выдержки времени, хорошо согласовываются с такими автоматическими выключателями (рис. 6.2-119б).

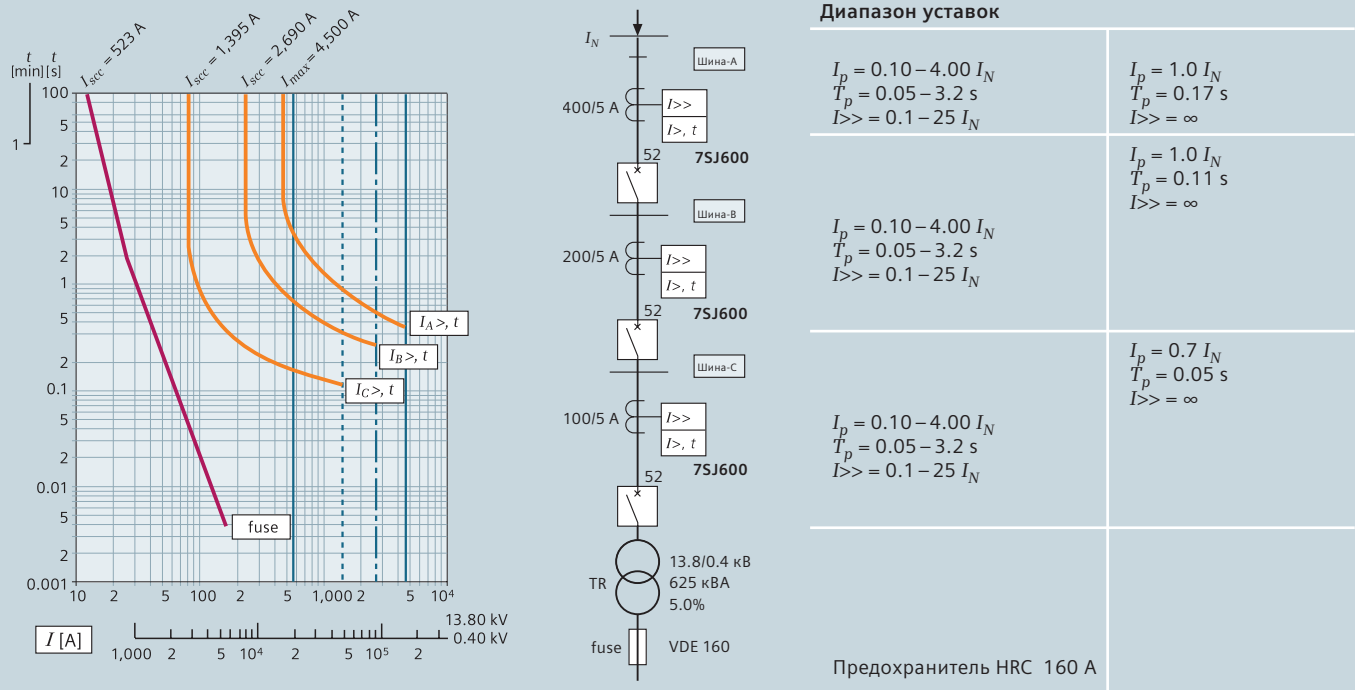


Рисунок 6.2-118: **Согласование максимальных токовых защит**

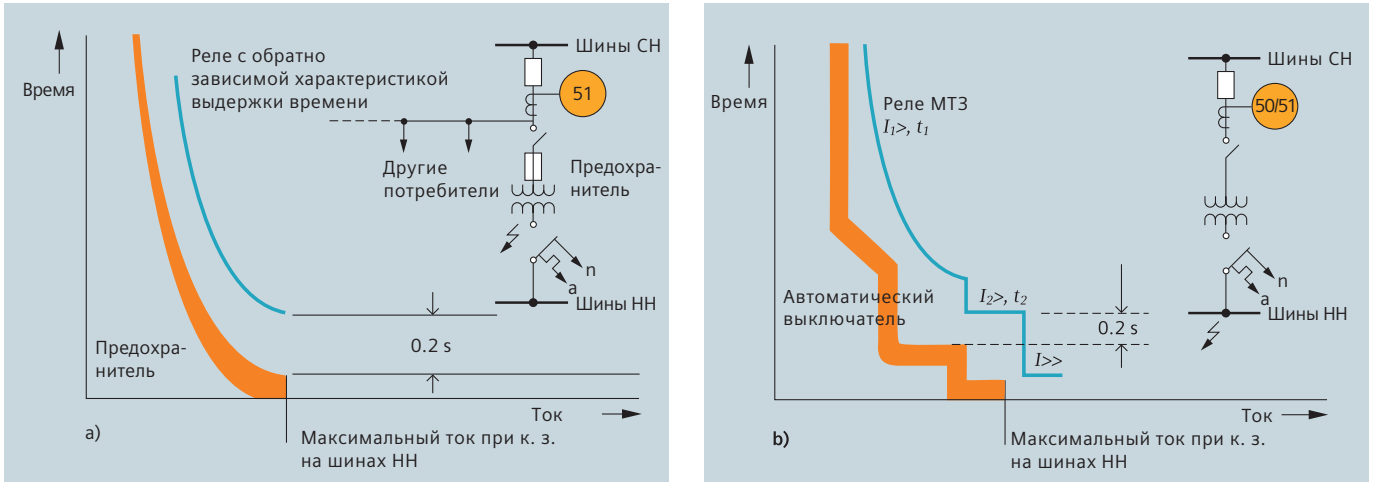


Рисунок 6.2-119: **Согласование максимальных токовых защит с предохранителями и защитными устройствами на стороне низшего напряжения**

Согласование дистанционных защит

При выборе уставок, определяющих защищаемую зону ступеней дистанционной защиты, следует учитывать погрешности измерения реле, обуславливающие возможный «переохват» (5% в соответствии с МЭК 60255-6), погрешности ТТ (1% для класса 5P и 3% для класса 10P) и запас в 5%. Также следует учитывать погрешности, возникающие в результате того, что параметры защищаемых линий чаще всего являются расчетными, а не измеренными. С учетом указанных погрешностей защищаемая зона первой ступени дистанционной защиты обычно выбирается в диапазоне 80-85 % длины защищаемой линии. Для электромеханических реле принимают уставку 80 %, для более точных цифровых защит - 85 %.

Если доступны реальные измеренные параметры защищаемой линии, то уставку можно увеличить до 90%. Вторая и третья ступени дистанционной защиты должны быть отстроены с запасом 15–20% от соответствующих ступеней защиты смежных линий. При этом следует отстраиваться от защит самой короткой смежной линии (рис. 6.2-120).

В общем случае, вторая ступень дистанционной защиты должна как минимум на 20% перекрывать шины противоположной подстанции (таким образом выполняется резервирование защит данных шин), третья ступень должна полностью охватывать самую длинную смежную линию (таким образом выполняется резервирование защит данной линии).

Согласование дистанционных защит по времени
Первая ступень дистанционной защиты обычно работает без выдержки времени. Согласование выдержек времени срабатывания второй и третьей ступеней защиты выполняется аналогично согласованию по времени ступеней МТЗ (рис. 6.2-115). Для защит с многоугольными характеристиками срабатывания (реле 7SA6 и 7SA5) следует учитывать только уставки по реактивному сопротивлению (X). Уставки по активному сопротивлению (R) должны охватывать активное сопротивление линии и возможное переходное сопротивление в месте повреждения. Значение переходного сопротивления дуги в месте повреждения можно грубо рассчитать следующим образом:

$$R_д = \frac{2.5 \cdot l_д}{I_{кз\,мин}} [Ом]$$

$l_д$ = длина дуги в мм
$I_{кз\,мин}$ = минимальный ток к. з. в кА

- Типичные соотношения уставок R / X:
  - Короткие воздушные и кабельные линии (≤ 10 км): R / X = от 2 до 6
  - Линии средней длины < 25 км: R / X =2
  - Длинные линии (от 25 до 50 км) R / X =1

Ограничение по длине линии, защищаемой дистанционной защитой
Наименьшая длина линии, которая может быть защищена ступенью дистанционной защиты с неполным охватом (работающей без выдержки времени) без использования канала связи, определяется минимально возможной уставкой реле по реактивному сопротивлению.

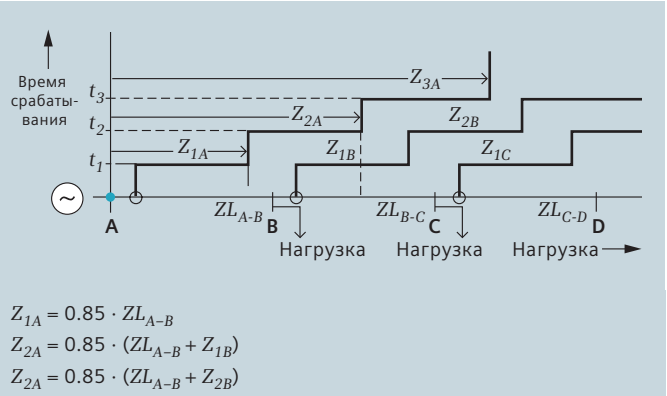
$$X_{перв\,мин} = X_{реле\,мин} \cdot \frac{K_{тн}}{K_{тт}}$$

$$l_{мин} = \frac{X_{перв\,мин}}{X'_{линии}}$$

Минимально возможная уставка для цифровых реле Siemens составляет 0.05 Ом для 1 А реле, и 0.01 Ом для 5 А реле.Это позволяет применить дистанционную защиту для распределительных кабелей длиной от 500 м и более.

УРОВ
Большинство цифровых реле, описываемых в данном руководстве, имеют встроенную функцию УРОВ. Запуск данной функции осуществляется от встроенных защитных функций посредством программной логики. Функция УРОВ также может запускаться и при помощи входного дискретного сигнала, подаваемого от внешних устройств защиты. В этом случае следует учитывать время срабатывания данных устройств. Отключение смежных выключателей требует применения промежуточных реле, которые также вносят небольшую дополнительную выдержку времени, и тем самым увеличивают общее время ликвидации повреждения. Это в частности относится к полуторным и кольцевым схемам распределительных устройств, в которых для каждого выключателя используется отдельное устройство УРОВ (7SV600 or 7VK61в серии SIP 3 и 4, 7VK8 в Sip5). См. рис. 6.2-82, рис. 6.2-83.

УОсновным критерием при согласовании (выборе) уставка по времени УРОВ является время возврата пускового токового органа в несработанное состояние при ликвидации повреждения (отключении тока повреждения), которое не должно быть превышено ни при каких условиях при нормальном отключении. Времена возврата, указанные в руководствах по эксплуатации цифровых реле Siemens, актуальны для наихудших условий:



$Z_{1A} = 0.85 \cdot ZL_{A-B}$
$Z_{2A} = 0.85 \cdot (ZL_{A-B} + Z_{1B})$
$Z_{2A} = 0.85 \cdot (ZL_{A-B} + Z_{2B})$

Рисунок 6.2-120: **Согласование ступеней дистанционной защиты**

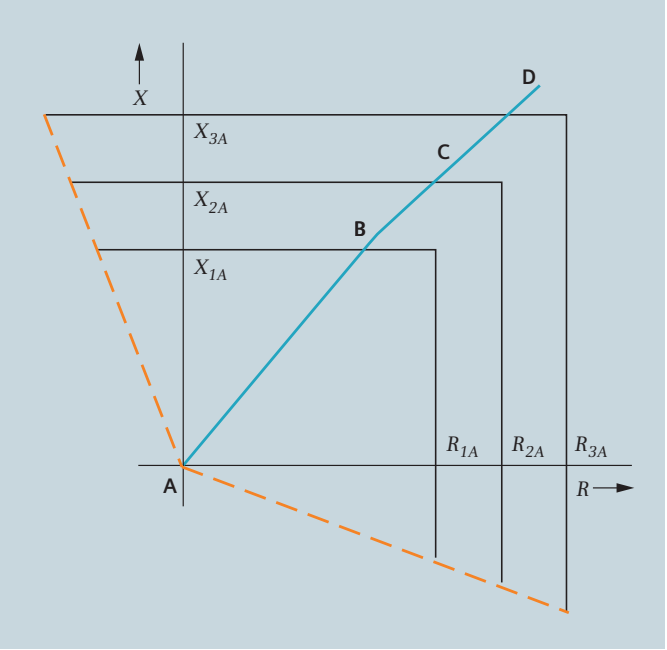


Рисунок 6.2-121: **Характеристика срабатывания дистанционных реле Siemens**

отключение полностью апериодического тока повреждения при малой уставке срабатывания (0.1–0.2 номинального тока ТТ).

Время возврата составляет 1 период промышленной частоты для реле, используемых в сетях сверхвысокого напряжения (7SA6/52, 7VK617VK61в серии SIP 4, 7SA8, 7VK8 в серии SIP 5), и 1.5–2 периода для реле, используемых в распределительных сетях (7SJ**).

На рис. 6.2-123 (см. следующую страницу) представлена временная диаграмма работы типовой схемы УРОВ. Времена, указанные в круглых скобках относятся к устройствам, установленным в сетях сверхвысокого напряжения, а времена, указанные в квадратных скобках - к устройствам, установленным в распределительных сетях.

Высокоомная дифференциальная защита: требования к схеме

Следует учитывать следующие требования к схемам высокоомной дифференциальной защиты:

Характеристики ТТ
Все ТТ, используемые в схеме высокоомной дифференциальной защиты, должны иметь одинаковые коэффициенты трансформации. В схемах высокоомной защиты сборных шин следует применять ТТ с малыми потоками рассеяния: класс PX в соответствии с МЭК 60044-1 (класс X в соответствии с BS 3938) или TPS в соответствии с МЭК 60044-6. В схемах дифференциальной защиты от замыканий на землю с ограниченной защищаемой зоной, например, при выполнении защиты обмотки трансформатора с глухим заземлением нейтрали, также могут применяться ТТ класса 5P в соответствии с МЭК 60044-1. При этом во всех случаях необходимо иметь данные о сопротивлении вторичных обмоток и характеристики намагничивания ТТ, предоставляемые заводом-изготовителем. Для обеспечения надежной работы защиты при внутренних повреждениях напряжение точки перегиба характеристики намагничивания должно быть как минимум вдвое больше уставки по напряжению срабатывания реле.

Реле
В схемах высокоомной дифференциальной защиты возможно применять следующие типы реле:
а) специальные высокоомные реле, например, чувствительные токовые реле 7VH60 или 7SG12 (DAD-N) с внешними резисторами $R_{стаб}$. В случае, если резистор встроен в реле, то уставки могут задаваться непосредственно в вольтах, как, например, для реле 7VH60 (6–60 В или 24–240 В); или
б) цифровые токовые реле, имеющие чувствительный токовый вход, например, 7SJ6 (7 SJ 8)или 7SR1 (Argus-C). К чувствительному токовому входу реле обычно последовательно подключается стабилизирующий резистор $R_{стаб}$, обеспечивающий надежную работу(торможение) защиты. Также для защиты реле и вторичных цепей от перенапряжения часто устанавливается нелинейный резистор V (варистор).

Чувствительность защиты
Для срабатывания защиты при внутреннем повреждении необходимо, чтобы первичный ток достиг значения, равного сумме тока срабатывания реле (Iуст), тока утечки варистора (Iвар), токов намагничивания всех параллельно соединенных ТТ при заданном напряжении срабатывания. Таким образом, чувствительность защиты повышается при использовании низкого значения уставки по напряжению срабатывания реле и применении ТТ с малыми токами намагничивания.

Надежность работы защиты при внешних повреждениях

Надежность отстройки защиты от внешних повреждений проверяется расчетом, который выполняется для повреждения, сопровождающегося протеканием максимально возможного сквозного тока и полным насыщением ТТ. Насыщенный ТТ вводится в схему замещения сопротивлением своей вторичной обмотки Rтт. При этом напряжение Vp, появляющееся на входе реле, соответствует падению напряжения на сопротивлениях Rтт и Rпров, обусловленному протеканием вторичного сквозного тока повреждения. Напряжение (ток) на входе реле должно быть ниже уставки по напряжению срабатывания. На практике сопротивления вторичных цепей (проводников) Rпров могут отличаться. В такой ситуации следует рассматривать наихудший из возможных вариантов, соответствующий появлению максимально возможного напряжения на входе реле (при протекании максимального сквозного тока).

Уставки
Выбор уставки срабатывания является компромиссом между чувствительностью и надежностью отстройки защиты. Большие значения уставки по напряжению срабатывания повышают на¬дежность отстройки защиты от внешних повреждений, позволяют применять ТТ с большими токами намагничивания и варисторы с высокими значениями тока утечки, однако при этом снижается чувствительность защиты

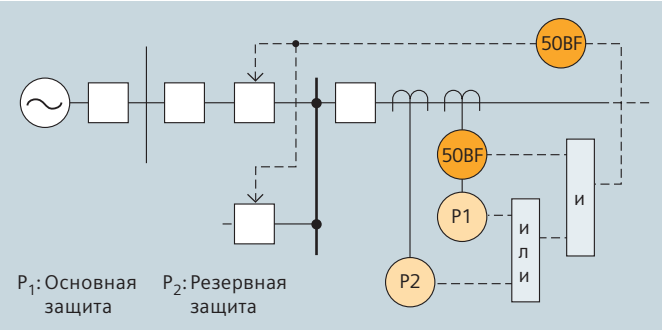


Рисунок 6.2-122: **Логическая схема работы УРОВ**

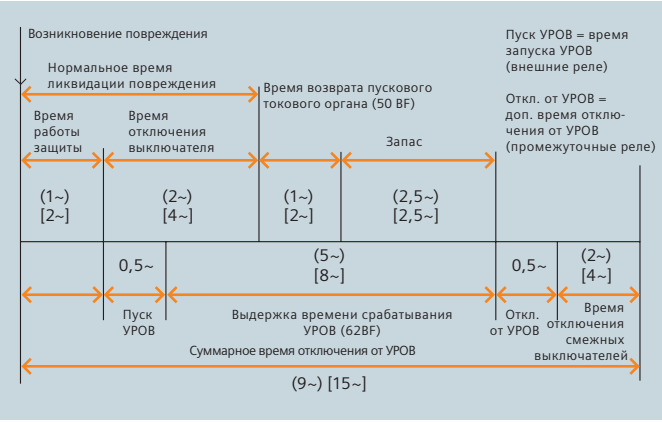


Рисунок 6.2-123: **Временная диаграмма работы УРОВ**

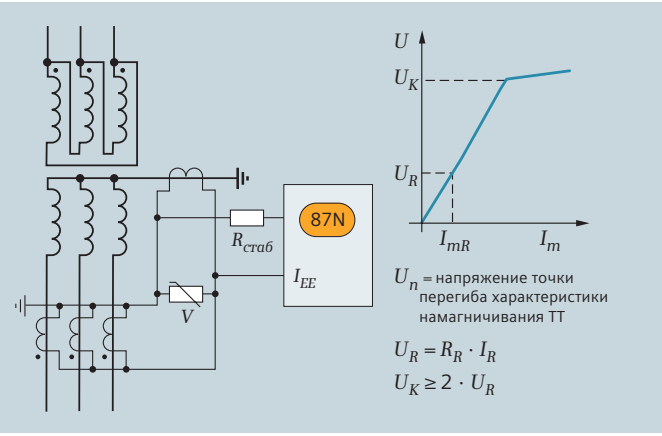


Рисунок 6.2-124: **Принципиальная схема подключения высокоомной дифференциальной защиты от замыканий на землю с ограниченной защищаемой зоной для обмотки трансформатора с использованием цифрового токового реле SIPROTEC (например, 7SJ61)**

Уставка реле U_o	C	β	Тип варистора
≤ 125	450	0.25	600 A /S1/S256
125 – 240	900	0.25	600 A /S1/S1088

Пример расчета:
Требуется выполнить расчет дифференциальной защиты от замыканий на землю с ограниченной защищаемой зоной для обмотки напряжением 400 кВ трансформатора мощностью 400 МВА с *Iном*, 400 кВ = 577 А, присоединенному к распределительному устройству, кратковременно выдерживающему ток КЗ 40 кА.
Дано:
N = 4 ТТ, соединенных параллельно; *Iперв. ном/Iвтор.ном* = 800 А/1 А – коэффициент трансформации ТТ;
Un = 400 В – напряжение точки перегиба характеристики намагничивания ТТ;
Iнам. = 20 мА – ток намагничивания ТТ при *Un*;
R_{TT} = 3 Ом – внутреннее сопротивление ТТ;
Rвтор = 2 Ом – сопротивление вторичных цепей
Реле: 7SJ612; диапазон уставок МТЗ, работающей с 1-фазным токовым входом составляет *Iуст* = 0.003 А–1.5 А с шагом 0.001 А; входное сопротивление реле
Rреле = 50 мОм

Расчет надежности

$$U_{ур.мин} = I_{скв.\,макс.} \frac{I_{перв.\,ном.}}{I_{втор.\,ном.}} (R_{TT} + R_{втор.}) = 10{,}000\ \frac{1}{800}(3+2) = 62.6\ \text{В}$$

где $I_{скв.\,макс.}$ равняется 16 . *I*ном. 400 кВ = 16 . 577 А = 9,232 А, округляется до 10 кА.
С учетом требуемого запаса напряжение устойчивой работы принимается *Uур* = **130 В** (учитывая требование 2*Uур* < *Uном*).

Расчет уставки срабатывания
Защита должна обеспечивать чувствительность к первичному току повреждения 125 А, что составляет около 22 % номинального тока защищаемой обмотки $I_{ном}$, 400 кВ (т. е. $I_{перв.\,треб.}$ = 125 А). С учетом данного условия уставка срабатывания рассчитывается следующим образом:

$$I_{уст.} = I_{перв.\,треб.} \frac{I_{втор.\,ном.}}{I_{перв.\,ном.}} - N \,.\, Iнам. \frac{U_{ур}}{U_n} = 125\ \frac{1}{800} - 4\ .\ 0.02\ \frac{130}{400} = 0.13\ \text{А}$$

Расчет стабилизирующего резистора
Используя значения вычисленные ранее $\boldsymbol{U_{ур}}$ и $\boldsymbol{I_{уст.}}$ рассчитывается сопротивление стабилизирующего резистора $\boldsymbol{R_{стаб}}$:

$$Rстаб = \frac{U_{ур}}{I_{уст.}} - R_{реле} = \frac{130}{0.13} - 0.05 = = \approx 1{,}000\ \text{Ом}$$

где сопротивлением реле можно пренебречь.
Стабилизирующий резистор $R_{стаб}$ должен выдерживать длительное протекание следующей минимально допустимой мощности $P_{стаб,\,длит.}$:

$$P_{стаб,\,длит.} \geq \frac{U_{ур}^{\,2}}{R_{стаб}} = \frac{130}{1000} = 16.9\ \text{Вт}$$

Резистор $R_{стаб}$ также должен кратковременно (до момента отключения повреждения) выдерживать протекание мощности КЗ. Расчетный интервал времени 0.5 с ($P_{стаб,\,0.5с}$) часто является достаточным для учета случаев устранения повреждения резервными защитами.
Тепловая нагрузка стабилизирующего резистора определяется действующим значением падения напряжения на нем. Значение данного напряжения вычисляется по следующей формуле:

$$U_{скв,реле} = 1.3 \cdot \sqrt[4]{U_{кз} \cdot R_{стаб} \cdot I_{к_макс_вн} \frac{I_{втор.ном.}}{I_{перв.ном.}}} = 1.3 \cdot \sqrt[4]{400^3 \cdot 1000 \cdot 50} = 1738.7\ \text{В}$$

Расчетная кратковременная мощность $P_{sстаб,\,0.5с}$:

$$P_{стаб,\,0.5с} = \frac{U_{скв,реле}^{\,2}}{R_{стаб}} = \frac{1739^{\,2}}{1000} = 3023\ \text{Вт}$$

Проверка необходимости применения варистора
Обычно для ограничения напряжения на входе устройства защиты при внутренних повреждениях в ее защищаемой зоне применяются внешние варисторы, подключаемые параллельно входным зажимам устройства и стабилизирующему резистору. Максимально возможное напряжение на клеммах определяется следующим образом:

$$U_{макс.\,внутр.} = I_{макс.\,внутр.} \frac{I_{втор.\,ном.}}{I_{перв.\,ном.}} (R_{реле} + R_{стаб}) = 40{,}000\ \frac{1}{800}(0.05+1000) = 50003\ \text{V}$$

где за $I_{макс.\,внутр.}$ принимается номинальный кратковременно выдерживаемый ток КЗ распределительного устройства, равный 40 кА..
Результирующее максимальное напряжение на клеммах панели (т. е. последовательно соединенных реле и $R_{стаб}$):

$$\hat{U}_{макс.реле} = 2\sqrt{2U_к\left(U_{к_макс_вн}\right)} = 2\sqrt{2 \cdot 400(50003 - 400)} = 12600\ \text{В}$$

Т. к. $U_{макс.\,реле}$ > 1.5 кВ, требуется применение варистора.

Можно использовать, например, варистор METROSIL типа 600A/S1/Spec.1088 (β = 0.25, C = 900).
Ток утечки при напряжении $U_{ур}$ =130 В будет следующим:

$$I_д = 0.52 \left(\frac{U_{уст,\,д}\ .\ \sqrt{2}}{C}\right)^{1/\beta} = 0.91\ \text{мА}$$

Данным током утечки в вычислениях можно пренебречь, т. к. он практически не будет влиять на расчет величины уставки срабатывания.

Большие значения уставки по напряжению срабатывания также требуют применения ТТ большего размера из-за необходимости иметь более высокое значение напряжения точки перегиба их характеристики намагничивания. Для дифференциальных защит от замыканий на землю с ограниченной защищаемой зоной обычно достаточной является чувствительность 10–20% номинального тока $I_{ном}$. Для высокоомных дифференциальных защит сборных шин обычно используется уставка срабатывания ≥ $I_{ном}$. При использовании высокоомной защиты в сети с нейтралью, заземленной через сопротивление, уставку срабатывания необходимо выбирать с учетом минимально возможного тока замыкания на землю.

Нелинейный резистор (варистор)
При наличии вероятности возникновения перенапряжений, опасных для изоляции вторичных цепей (2–3 кВ), требуется применение варистора. В таких случаях рекомендуется ограничивать напряжение до $U_д$ = 1500 В. Максимально возможное напряжение на зажимах панели определяется по формуле, приведенной для расчета Uмакс, реле. Иногда в схемах дифференциальной защиты от замыканий на землю с ограниченной защищаемой зоной не требуется применение варистора. В схемах дифференциальной защиты сборных шин чаще всего применение варистора является необходимым. Тем не менее, использовать варистор рекомендуется для всех схем высокоомной защиты. Вольтамперная характеристика варистора описывается следующим выражением: $U = C\,I^{\beta}$, где C и β являются постоянными варистора.

Требования, предъявляемые к ТТ, используемым для подключения реле защиты

Измерительные трансформаторы
Измерительные трансформаторы должны отвечать требованиям соответствующих стандартов: МЭК 60044 и 60186 (PT), ANSI / IEEE C57.13 или других схожих стандартов.

Трансформаторы напряжения (ТН)
Однофазные ТН всех классов напряжения имеют одну или две вторичные обмотки напряжением 100, 110 или 115 В / √3 мощностью 10–50 ВА, подходящими для большинства применений с цифровыми защитами и измерительными устройствами. Вторичные обмотки имеют погрешность 0.1–6%, что позволяет их использовать даже в специфических случаях. Класс напряжения ТН выбирается в соответствии с напряжением распределительного устройства, в котором они используются.

Трансформаторы тока (ТТ)
Чаще всего применяются ТТ с одним коэффициентом трансфор-

мации с первичной обмоткой стержневого или шинного типа, обладающие требуемой термической стойкостью. ТТ обычно имеют одну, две или три вторичные обмотки, имеющие номинальный ток 1 или 5 А. 1 А является предпочтительным, особенно в сетях высокого (ВН) и сверхвысокого напряжения (СВН) для уменьшения нагрузки токовых цепей. Выходная мощность (номинальная нагрузка в ВА), класс точности и характеристика насыщения (номинальная допустимая кратность тока) сердечников и вторичных обмоток должны удовлетворять требованиям конкретного проекта. Стандарты МЭК предусматривают следующую классификацию ТТ:

- Измерительные сердечники
  Измерительные керны обычно имеют погрешность 0.2% или 0.5% (класс 0.2 или класс 0.5) и номинальный коэффициент безопасности (FS) 5 или 10. Номинальная выходная мощность (номинальная нагрузка) должна быть больше фактически подключенной нагрузки. Стандартный ряд номинальной выходной мощности: 2.5, 5, 10 ВА. Если к измерительному сердечнику подключаются только электронные счетчики и регистраторы, то обычно не требуется большое значение его выходной мощности. Пример стандартной спецификации: 0.5 FS 10, 5 ВА.
- Сердечники для коммерческого учета.
  К ним относятся сердечники класса 0.25 FS.
- Сердечники для подключения устройств релейной защиты
  Выбор параметров кернов, используемых для подключения устройств релейной защиты, зависит от максимального уровня токов КЗ и суммарной вторичной нагрузки (собственная нагрузка вторичной обмотки ТТ + нагрузка контрольных кабелей + нагрузка реле). Также следует принимать во внимание коэффициент апериодической составляющей, который позволяет учитывать влияние данной составляющей тока КЗ.

Словарь используемых обозначений (согласно МЭК 60044-6)		
$K_{ПК}$	=	номинальный коэффициент предельной кратности (пример: ТТ класса 5P20 Кпк = 20)
$K'_{ПК}$	=	фактический коэффициент предельной кратности
$K_{ап}$	=	коэффициент отстройки от апериодической составляющей
$I_{кз\ макс}$	=	максимальный ток симметричного к. з.
$I_{перв\ ном}$	=	номинальный первичный ток ТТ
$I_{втор\ ном}$	=	номинальный вторичный ток ТТ
$R_{ТТ}$	=	активное сопротивление постоянному току вторичной обмотки ТТ при температуре 75°С (или другой задаваемой температуре)
$R_н$	=	номинальная активная нагрузка
$R'_н$	=	Rпров + Rреле = подключенная активная нагрузка
$T_п$	=	постоянная времени первичной сети
$U_п$	=	напряжение токи перегиба (действующее значение)
$R_{реле}$	=	нагрузка реле
$R_{пров}$	=	$\frac{2 \cdot \rho \cdot l}{A}$
где		
l	=	длина (в метрах) одиночного проводника от ТТ до реле
ρ	=	удельное сопротивление = 0.0175 Ом мм2/мм (медные проводники) при 20 °С (или другой заданной температуре)
A	=	сечение проводника в мм2

В общем случае, сердечник ТТ работает с погрешностью 1% в диапазоне 1–2 номинального тока (класс 5P). Коэффициент предельной кратности тока КЗ Кпк следует выбирать таким, чтобы при протекании максимально возможного тока КЗ ТТ не насыщался (апериодическая составляющая не учитывается).

Это приводит, как правило, к номинальному коэффициенту кратности тока КЗ 10 или 20, в зависимости от отношения величины номинальной нагрузки ТТ к величине действительно подключенной нагрузки. Типовые спецификации сердечников ТТ для подключения релейной защиты, используемых в распределительных сетях: 5P10, 10 ВА или 5P20, 5 ВА.

Требования, предъявляемые к работе ТТ для релейной защиты во время переходных процессов, приведены в стандарте МЭК 60044-6. Из-за ограничений по стоимости и размерам (особенно при использовании комплектных распределительных устройств) ТТ со стальными сердечниками не могут быть спроектированы таким образом, чтобы они, при любых условиях, не входили в режим насыщения.
Поэтому реле Siemens разработаны с учетом возможности работы при насыщении ТТ. Цифровые реле, описываемые в данном каталоге, надежно работают при насыщении ТТ благодаря применению специальных алгоритмов обнаружения насыщения.

Формула для расчета ТТ

$$K'_{ПК} = K_{ПК} \cdot \frac{R_{ТТ} + Rн}{R_{ТТ} + R'_н}$$ (фактический)

где $K'_{ПК} \geq K_{ап} \cdot \frac{I_{кз\ макс}}{I_{перв\ ном}}$ (требуемый)

Фактический коэффициент предельной кратности К´пк рассчитывается по формуле, приведенной в таблице выше. Номинальный коэффициент отстройки от апериодической составляющей Кап зависит от типа реле и постоянной времени первичной сети. Величина данной постоянной времени Тп не оказывает заметного влияния на работу реле, требующих небольшого интервала времени (≤ 0.4 периода), на протяжении которого ТТ находятся в ненасыщенном состоянии.

Расчет ТТ согласно BS 3938/МЭК 60044-1 (2000)

Класс Р по МЭК можно перевести в класс PX по МЭК (класс X по BS) по следующей формуле:

$$U_п = \frac{(R_н + R_{тт}) \cdot I_{втор\ ном} \cdot K_{ПК}}{1.3}$$

Пример:
МЭК 60044: 600/1, 5P10, 15 ВА, Rтт = 4 Ом

МЭК PX или BS: $U_п = \frac{(15 + 4) \cdot 1 \cdot 10}{1.3} = 146$ В
$R_{тт} = 4$ Ом

Расчет ТТ по ANSI/IEEE C 57.13 см. на странице 331

Требования к ТТ, приведенные в таблице 6.2-3, являются упрощенными, что позволяет выполнить быстрый расчет. Более точный расчет ТТ возможно провести с использованием специальной программы Siemens CTDIM (www.siemens.com / ctdim). Результаты расчетов в ПО CTDIM используются производителями устройств релейной защиты.

Коэффициент коррекции для реле 7UT6, 7UM62 рис. 2/92 (ограничение измерений)

$$F_{кор} = \frac{I_{перв\ ном}}{I_{ном\ об}} \cdot \frac{I_{ном\ реле}}{I_{втор\ ном}} = \frac{I_{перв\ ном} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном\ об}}{S_{ном\ макс}} \cdot \frac{I_{ном\ реле}}{I_{втор\ ном}}$$

Требование: ⅛ ≤ $F_{кор}$ ≤ 8
Реле 7SD52, 53, 610 при наличии трансформатора внутри защищаемой зоны

$$\frac{I_{ном\text{-}перв}\text{-}TT_{макс}}{I_{ном\text{-}перв}\text{-}TT_{мин}} \cdot \frac{1}{\text{коэффициент трансформации трансформатора*}} \leq 8$$

* При наличии трансформатора в защищаемой зоне данный коэффициент отличается от 1

$I_{ном\text{-}перв}$-ТТ-трансф-стор ≤ 2 · $I_{ном}$-защ. об.-трансф-стор И
$I_{ном\text{-}перв}$-ТТ-трансф-стор ≥ $I_{ном}$- защ. об.-трансф-стор где
$I_{ном\ об}$ = номинальный ток защищаемого объекта
$U_{ном\ об}$ = номинальное напряжение защищаемого объекта
$I_{ном\ реле}$ = номинальный ток реле
$S_{ном\ макс}$ = максимальная нагрузка защищаемого объекта(для трансформаторов: обмотка с максимальной нагрузкой)

Тип реле	Коэффициент отстройки от апериодической составляющей Kап	Мин. требуемый коэффициент предельной кратности K'пк	Мин. требуемое напряжение точки перегиба Un
Максимальная токовая защита и защита двигателей 7SJ511, 512, 531 7SJ45, 46, 60 7SJ61, 62, 63, 64 7SJ80, 7SK80	–	$K'_{пк} \geq \frac{I_{наиб.\ уставки}}{I_{перв\ ном}}$ как минимум: 20	$U_n \geq \frac{I_{наиб.\ уставки}}{1.3 \cdot I_{перв\ ном}} \cdot (R_{mm} + R'_н) \cdot I_{втор\ ном}$ как минимум: $\frac{20}{1.3} \cdot (R_{mm} + R'_н) \cdot I_{втор\ ном}$
Дифференциальная защита линий (проводной канал связи) 7SD600	–	$K'_{пк} \geq \frac{I_{кз\ макс\ (внешн.\ повр.)}}{I_{перв\ ном}}$ и: $\frac{3}{4} \leq \frac{(K'_{пк} \cdot I_{перв\ ном})_{конец1}}{(K_{пк} \cdot I_{перв\ ном})_{конец2}} \leq \frac{4}{3}$	$U_n \geq \frac{I_{кз\ макс\ (внешн.\ повр.)}}{1.3 \cdot I_{перв\ ном}} \cdot (R_{mm} + R'_н) \cdot I_{втор\ ном}$ и: $\frac{3}{4} \leq \frac{(U_n/(R_{mm}+R'_н) \cdot I_{перв\ ном}/I_{втор\ ном})_{конец1}}{(U_n/(R_{mm}+R'_н) \cdot I_{перв\ ном}/I_{втор\ ном})_{конец2}} \leq \frac{4}{3}$

	Трансформатор	Шины / Линия	Генератор / Двигатель
Дифференциальная защита линий (без функции дистанционной защиты) 7SD52x, 53x, 610 (50 / 60 Гц)	1.2	1.2	1.2
Дифференциальная защита генератора / трансформатора	Трансформатор	Шины / Линия	Генератор / Двигатель
7UT612, 7UT612 V4.0	4	4	5
7UT613, 633, 635, 7UT612 V4.6	3	3	5
7UM62	4	–	5
Защита шин 7SS52, 7SS60	Для коэфф. тормож. k ≥ 0.5	0.5	

$K'_{пк} \geq K_{an} \cdot \frac{I_{кз\ макс\ (внешн.\ повр.)}}{I_{перв\ ном}}$ и (только для 7SS): $\frac{I_{кз\ макс\ (внешн.\ повр.)}}{I_{перв\ ном}} \leq 100$ (диапазон измерений)

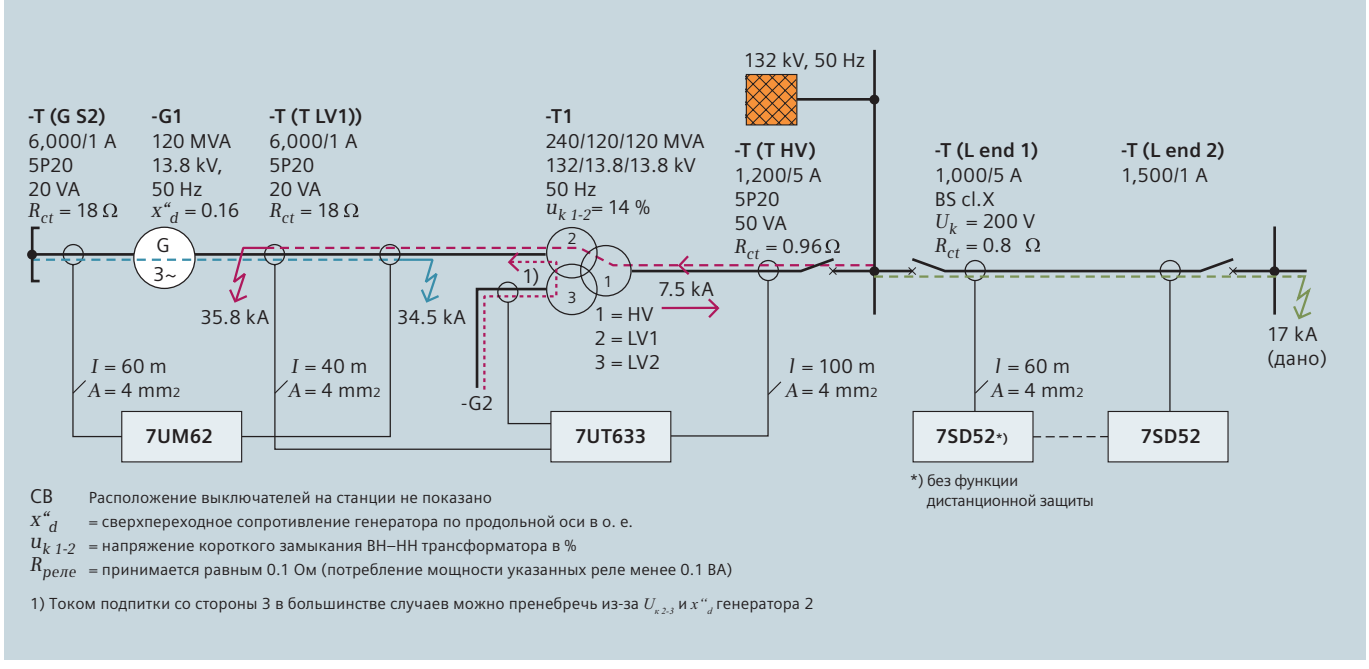
$U_n \geq K_{an} \cdot \frac{I_{кз\ макс\ (внешн.\ повр.)}}{1.3 \cdot I_{перв\ ном}} \cdot (R_{mm} + R'_н) \cdot I_{втор\ ном}$ и (только для 7SS): $\frac{I_{кз\ макс\ (внешн.\ повр.)}}{I_{перв\ ном}} \leq 100$ (диапазон измерений)

Дистанционная защита 7SA522, 7SA6, 7SD5xx (с функцией дистанционной защиты)	Постоянная времени первичной сети T_n [мс]				
		≤ 30	≤ 50	≤ 100	≤ 200
	K_{an} (a)	1	2	4	4
	K_{an} (b)	4	5	5	5

$K'_{пк} \geq K_{an}$ (a) $\cdot \frac{I_{кз\ макс\ (близкое\ повр.)}}{I_{перв\ ном}}$ и: Kan (b) $\cdot \frac{I_{кз\ макс\ (в\ конце\ ступени\ 1)}}{I_{перв\ ном}}$

$U_n \geq K_{an}$ (a) $\cdot \frac{I_{кз\ макс\ (близкое\ повр.)}}{1.3 \cdot I_{перв\ ном}} \cdot (R_{mm} + R'_н) \cdot I_{втор\ ном}$ и: K_{td} (b) $\cdot \frac{I_{кз\ макс\ (в\ конце\ ступени\ 1)}}{I_{перв\ ном}} \cdot (R_{mm}+R'_н) \cdot I_{втор\ ном}$

Таблица 2/2: **требования к ТТ**



CB Расположение выключателей на станции не показано
x''_d = сверхпереходное сопротивление генератора по продольной оси в о. е.
$u_{k\ 1-2}$ = напряжение короткого замыкания ВН–НН трансформатора в %
$R_{реле}$ = принимается равным 0.1 Ом (потребление мощности указанных реле менее 0.1 ВА)

1) Током подпитки со стороны 3 в большинстве случаев можно пренебречь из-за $U_{к\ 2-3}$ и x''_d генератора 2

Рис. 6.2-195: **Пример 1. Проверка ТТ для реле 7UM62, 7UT6, 7SD52 (7SD53, 7SD610)**

-T (G S2), 7UM62	-T (T HH1), 7UT633	-T (T ВН), 7UT633	-T (L конец 1), 7SD52
$I_{кз\ макс\ (внешн.\ повр.)} = \frac{c \cdot S_{ном\ ген}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном\ ген}\ x''_d}$ $= \frac{1.1 \cdot 120{,}000\ kVA}{\sqrt{3} \cdot 13.8\ kV \cdot 0.16} = 34{,}516\ A$	$I_{кз\ макс\ (внешн.\ повр.)} = \frac{S_{ном\ тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном\ тр}\ u_к''}$ $= \frac{120{,}000\ кВА}{\sqrt{3} \cdot 13.8\ кВ \cdot 0.14} = 35{,}860\ A$	$I_{кз\ макс\ (внешн.\ повр.)} = \frac{S_{ном\ тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном\ тр}\ u_к''}$ $= \frac{240{,}000\ кА}{\sqrt{3} \cdot 13.8\ кВ \cdot 0.14} = 7{,}498\ A$	$I_{кз\ макс\ (внешн.\ повр.)} = 17\ кА$ (дано)
$K_{ап} = 5$ (из таблицы 2/2)	$K_{ап} = 3$ (из таблицы 2/2)	$K_{ап} = 3$ (из таблицы 2/2)	$K_{ап} = 1.2$ (из таблицы 2/2)
$K'_{пк} \geq K_{ап} \cdot \frac{I_{кз\ макс\ (внешн.\ повр.)}}{I_{перв\ ном}}$ $= 5 \cdot \frac{31{,}378\ A}{6{,}000\ A} = 28.8$	$K'_{пк} \geq K_{ап} \cdot \frac{I_{кз\ макс\ (внешн.\ повр.)}}{I_{перв\ ном}}$ $= 3 \cdot \frac{35{,}860\ A}{6{,}000\ A} = 17.9$	$K'_{пк} \geq K_{ап} \cdot \frac{I_{кз\ макс\ (внешн.\ повр.)}}{I_{перв\ ном}}$ $= 3 \cdot \frac{7{,}498\ A}{1{,}200\ A} = 18{,}7$	
$R_н = \frac{S_{ном}}{I^2_{втор\ ном}} = \frac{20\ ВА}{1\ А^2} = 20\ Ом$	$R_н = \frac{S_{ном}}{I^2_{втор\ ном}} = \frac{20\ ВА}{1\ А^2} = 20\ Ом$	$R_н = \frac{S_{ном}}{I^2_{втор\ ном}} = \frac{20\ ВА}{(5\ А)^2} = 2\ Ом$	
$R'_н = R_{пров} + R_{реле}$ $R_н = \frac{2 \cdot \rho \cdot l}{A} + 0.1\ Ом$ $= \frac{2 \cdot 0.0175 \frac{Ом\ мм^2}{м} \cdot 60\ м}{4\ мм^2}$ $+ 0.1\ Ом$ $= 0.625\ Ом$	$R'_н = R_{пров} + R_{реле}$ $R_н = \frac{2 \cdot \rho \cdot l}{A} + 0.1\ Ом$ $= \frac{2 \cdot 0.0175 \frac{Ом\ мм^2}{м} \cdot 640\ м}{4\ мм^2}$ $+ 0.1\ Ом$ $= 0.450\ Ом$	$R'_н = R_{пров} + R_{реле}$ $R_н = \frac{2 \cdot \rho \cdot l}{A} + 0.1\ Ом$ $= \frac{2 \cdot 0.0175 \frac{Ом\ мм^2}{м} \cdot 100\ м}{4\ мм^2}$ $+ 0.1\ Ом$ $= 0.975\ Ом$	$R'_н = R_{пров} + R_{реле}$ $R_н = \frac{2 \cdot \rho \cdot l}{A} + 0.1\ Ом$ $= \frac{2 \cdot 0.0175 \frac{Ом\ мм^2}{м} \cdot 60\ м}{4\ мм^2}$ $+ 0.1\ Ом$ $= 0.625\ Ом$
$K'_{пк} = K_{пк} \cdot \frac{R_{тт} + R_н}{R_{тт} + R'_н}$ $= 20 \cdot \frac{18\ Ом + 20\ Ом}{18\ Ом + 0.625\ Ом} = 40.8$	$K'_{пк} = K_{пк} \cdot \frac{R_{тт} + R_н}{R_{тт} + R'_н}$ $= 20 \cdot \frac{18\ Ом + 20\ Ом}{18\ Ом + 0.450\ Ом} = 41.2$	$K'_{пк} = K_{пк} \cdot \frac{R_{тт} + R_н}{R_{тт} + R'_н}$ $= 20 \cdot \frac{0{,}96\ Ом + 2\ Ом}{0{,}96\ Ом + 0.975\ Ом} = 30.6$	$U_н \geq K_{ап} \cdot \frac{I_{кз\ макс\ (внешн.\ повр.)}}{1.3 \cdot I_{перв\ ном}} \cdot (R_{тт} + R'_н) \cdot I_{втор\ ном}$ $= 1.2 \cdot \frac{17{,}000\ A}{1.3 \cdot 1{,}000\ A} \cdot$ $(0.8\ Ом + 0.625\ Ом) \cdot 5\ A = 111.8\ В$
$K'_{пк}$ требуемый = 28.8, $K_{пк}$ фактический = 40.8 28.8 < 40.8 ТТ выбран правильно	$K'_{пк}$ требуемый = 17.9, $K_{пк}$ фактический = 41.2 17.9 < 41.2 ТТ выбран правильно	$K'_{пк}$ требуемый = 18.7, $K_{пк}$ фактический = 30.6 18.7 < 30.6 ТТ выбран правильно	$U_н$ требуемое = 111.8 В, $U_н$ фактическое = 200 В 111.8 V < 200 V ТТ выбран правильно
$F_{кор} = \frac{I_{перв\ ном} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном\ об}}{S_{ном\ макс}} \cdot \frac{I_{ном\ реле}}{I_{втор\ ном}}$ $= \frac{6{,}000\ A \cdot \sqrt{3} \cdot 13.8\ кВ}{120{,}000\ кВА} \cdot \frac{1\ A}{1\ A}$ $= 1.195$ $1/8 \leq 1.195 \leq 8$ выполняется!	$F_{кор} = \frac{I_{перв\ ном} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном\ об}}{S_{ном\ макс}} \cdot \frac{I_{ном\ реле}}{I_{втор\ ном}}$ $= \frac{6{,}000\ A \cdot \sqrt{3} \cdot 13.8\ кВ}{240{,}000\ кВА} \cdot \frac{1\ A}{1\ A}$ $= 0.598$ $1/8 \leq 0.598 \leq 8$ выполняется!	$F_{кор} = \frac{I_{перв\ ном} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном\ об}}{S_{ном\ макс}} \cdot \frac{I_{ном\ реле}}{I_{втор\ ном}}$ $= \frac{1{,}200\ A \cdot \sqrt{3} \cdot 132\ кВ}{240{,}000\ кВА} \cdot \frac{5\ A}{5\ A}$ $= 1.143$ $1/8 \leq 1.143 \leq 8$ выполняется!	$\frac{I_{перв\ ном\ макс}}{I_{перв\ ном\ мин}} \leq 8$ $\frac{1{,}500\ A}{1{,}000\ A} = 1.5 \leq 8$ выполняется!

Таблица 2/3: **Пример 1 (продолжение). Проверка цифровой дифференциальной защиты**

Внимание (только для 7UT6 V4.0): при использовании низкоом¬ной дифференциальной защиты от замыканий на землю с огра¬ниченной защищаемой зоной должно выполняться следующее требование к 3-фазным ТТ, питающим данную защиту:

1/4 ≤ Fкор ≤ 4, (для ТТ, установленного в нейтрали: 1/8 ≤ Fкор ≤ 8)

Дополнительное требование для реле 7SD52x, 53x, 610 (при их использовании в качестве дифференциальной защиты линии без трансформатора в защищаемой зоне): максимальное отношение номинальных первичных токов ТТ по концам защищаемой линии:

$$\frac{I_{перв\ ном\ макс}}{I_{перв\ ном\ мин}} \leq 8$$

Пример 2: проверка торможения для цифровой защиты шин 7SS52

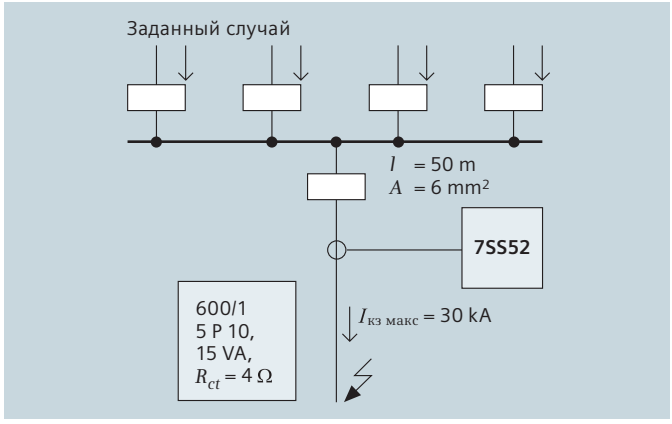


Рисунок 6.2-126: **Пример 2**

$$\frac{I_{кз\ макс}}{I_{перв\ ном}} = \frac{30{,}000\ A}{600\ A} = 50$$

В соответствии с таблицей 2/2, стр 2/48 Кап = ½

$$K'_{пк} \geq \frac{1}{2} \cdot 50 = 25$$

$$R_н = \frac{15\ ВА}{1\ A^2} = 15\ Ом$$

$$R_{реле} = 0.1\ Ом$$

$$R_{пров} = \frac{2 \cdot 0.0175 \cdot 50}{6} = 0.3\ Ом$$

$$R'_н = R_{пров} + R_{реле} = 0.3\ Ом + 0.1\ Ом = 0.4\ Ом$$

$$K'_{пк} = \frac{R_{тт} + R_н}{R_{тт} + R'_н} \cdot K_{пк} = \frac{4\ Ом + 15\ Ом}{4\ Ом + 0.4\ Ом} \cdot 10 = 43.2$$

Результат:
Т. к. фактический $K'_{пк}$ = 43.2, а требуемый $K_{пк}$ = 25, то условие устойчивой работы выполняется.

Нагрузка реле
Нагрузка ТТ от цифровых реле Siemens составляет менее 0.1 ВА, и в практических расчетах ей можно пренебречь. Исключение составляют защита шин 7SS60 и реле с проводными каналами связи 7SD600.

Т. к. реле защиты шин 7SS52 и реле защиты трансформатора вы¬полняют цифровую коррекцию коэффициентов трансформации ТТ, нет необходимости в применении промежуточных ТТ.

В общем случае аналоговые статические реле имеют нагрузку менее 1 ВА.

Электромеханические реле могут иметь нагрузку порядка 10 ВА. Данное обстоятельство следует учитывать при подключении старых реле к обмотке, к которой подключены цифровые реле.

В любом случае, фактическое значение нагрузки должно уточняться посредством соответствующей технической документации на реле.

Нагрузка соединительных проводов

В расчетах необходимо учитывать активное сопротивление токовых цепей от ТТ до реле:

$$R_{пров} = \frac{2 \cdot \rho \cdot l}{A}$$

l	= длина в м одиночного проводника от ТТ до реле
Удельное сопротивление:	
ρ	$= 0.0175 \frac{Ом \cdot мм^2}{м}$ (медные проводники) при 20 °C
A	= поперечное сечение проводника в мм²

Расчет ТТ в соответствии с ANSI / IEEE C 57.13

Класс C данного стандарта определяет ТТ вторичным напряжением на его зажимах при протекании 20-ти кратного номинального тока, для которого токовая погрешность не превышает 10%. Стандартные классы для номинального вторичного тока 5 A: C100, C200, C400 и C800.

Приближенное значение напряжения на зажимах можно получить, используя величины МЭК, следующим образом:

Определение ТТ по ANSI

$$U_{втор\ макс} = 20 \cdot 5\ A \cdot R_н \cdot \frac{K_{пк}}{20}$$

где

$R_н = \frac{P_н}{I_{втор\ ном}^2}$ и $I_{втор\ ном}$ = 5 A, получаем

$$U_{втор\ макс} = \frac{P_н \cdot K_{пк}}{5\ A}$$

Пример:
МЭК 60044
ANSI C57.13: $U_{втор\ макс} = \frac{(25\ ВА \cdot 20)}{5\ A} = 100$ В, в соотв. с классом C100

Более подробная информация приведена на сайте:
www.siemens.com/protection

6.2.6 Руководство по выбору реле

Основные функции устройства защиты			Дистанционная защита									Дифференциальная защита линии								
		Серия устройства защиты	SIPROTEC 4				SIPROTEC 5			Reyrolle		SIPROTEC 600er	SIPROTEC Compact	SIPROTEC 4		SIPROTEC 5			Reyrolle	
ANSI	Функция	Сокр.	7SA522	7SA61	7SA63	7SA64	7SA84	7SA86	7SA87	7SG163	7SG164	7SD60	7SD80	7SD610	7SD5	7SD84	7SD86	7SD87	7PG2111	7SG18
	Действие защитных функций на 3ф откл.	3-pole	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Действие защитных функций на 1ф откл.	1-pole	●	●	●	●	–	–	■	–	●	–	–	●	●	–	–	■	–	–
14	Защита от блокировки ротора	$I> + V<$	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
21	Дистанционная защита	$z<$	■	■	■	■	■	■	■	■	■	–	–	–	●	–	–	–	–	–
FL	Функция ОМП	FL	■	■	■	■	■	■	■	■	■	–	–	■	■	■	■	■	–	–
24	Защита от перевозбуждения	V/f	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
25	Функция контроля синхронизма, синхронизации	Sync	●	●	●	●	●	●	●	●	●	–	–	–	●	●	●	●	–	–
27	Минимальная защита по напряжению	V<	●	●	●	●	●	●	●	●	●	–	●	●	●	●	●	●	–	–
27TN/59TN	Защита статора от замыкания на землю по 3-ей гармонике	$V0<, >_{(3rd\ harm.)}$	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
32	Контроль направления мощности	$P>, P<$	■	■	■	■	●	●	●	–	–	–	–	●	■	●	●	●	–	–
37	Минимальная защита по току/мощности	$I<, P<$	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
38	Мониторинг температуры	$\Theta>$	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
40	Защита от потери возбуждения	$1/X_D$	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
46	Защита от несимметричной нагрузки	$I2>$	–	–	–	–	●	●	●	–	–	–	–	–	–	●	●	●	–	–
46	Максимальная токовая защита обратной последовательности	$I2>, I2/I1>$	–	–	–	–	●	●	●	–	–	–	–	–	–	●	●	●	–	–
47	Контроль порядка чередования фаз напряжения	LA, LB, LC	■	■	■	■	■	■	■	■	■	–	–	■	■	■	■	■	–	–
48	Контроль времени пуска	I^2_{start}	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
49	Защита от тепловой перегрузки	θ, I^2t	–	■	■	■	●	●	●	–	●	–	■	■	■	●	●	●	–	–
50/50N	МТЗ с независимой выдержкой времени	$I>$	■	■	■	■	■	■	■	■	■	●	■	■	■	■	■	■	●	■
50Ns	Чувствительная защита от замыканий на землю	$I_{Ns}>$	●	●	●	●	●	●	●	●	–	–	–	–	●	●	●	●	–	–
50Ns	Защита от перемежающихся замыканий на землю	Iie	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
50L	Защита от блокировки ротора	$I>_L$	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
50BF	УРОВ	CBFP	●	●	●	●	●	●	●	●	–	●	■	●	■	●	●	●	–	■
51 /51N	МТЗ с инверсной выдержкой времени	I_p, I_{Np}	■	■	■	■	■	■	■	–	–	–	■	■	■	■	■	■	–	■
51V	МТЗ с пуском по напряжению	$t=f(I)+V<$	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

■ = базовая функция ● = опциональная функция (за доп. плату) – = функция не доступна [1] В процессе разработки [2] Посредством CFC

Другие функции описаны на следующей странице

Комбинированная защита линии (дифференциальная и дистанционная защита)		Высокоомная защита			МТЗ и защита отходящего присоединения / автоматика отходящего присоединения (другие устройства описаны на странице 324)																
SIPROTEC 5		Reyrolle			SIPROTEC easy		SIPROTEC 600er		SIPROTEC Compact			SIPROTEC 4				SIPROTEC 5		Reyrolle				
7SL86	7SL87	7SR23 [1]	7PG23	7SG12	7SJ45	7SJ46	7SJ600	7SJ602	7SJ80	7SJ81	7SC80	7SJ61	7SJ62	7SJ63	7SJ64	7SJ85 [1]	7SJ86	7SR11	7SR12	7SR210	7SR220	7SR224
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
–	■	■	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	●
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	●	●	●	●	–	–	–	–	–	–	–
■	■	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
■	■	–	–	–	–	–	–	–	●	●	●	–	●	●	●	●	●	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
●	●	–	–	–	–	–	–	–	●	–	● [1]	–	●	–	●	●	●	–	–	–	–	●
●	●	–	–	–	–	–	–	–	●	●	●	–	●	●	●	●	●	–	■	–	■	■
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
●	●	–	–	–	–	–	–	–	●	●	●	–	●	–	●	●	●	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	■	■	■	■	■	■	■ [2]	■	●	●	■	■	■	■	–
–	–	–	–	–	–	–	–	●	–	–	–	●	●	●	●	●	● [1]	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
●	●	–	–	–	–	–	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	●	●	■	■	■
●	●	–	–	–	–	–	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	●	●	■	■	■
■	■	–	–	–	–	–	–	–	●	●	●	■	■	■	■	■	■	–	■	–	■	■
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	●	●	●	●	–	–	–	–	–	–	–
●	●	–	–	–	–	–	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	●	●	■	■	■
■	■	–	–	–	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
●	●	■	■	–	–	–	–	●	●	●	■ [1]	●	●	●	●	●	● [1]	●	●	■	■	■
–	–	–	–	–	–	–	–	–	■ [1]	–	–	●	●	–	●	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	●	●	●	●	–	–	–	–	–	–	–
●	●	–	–	–	–	–	■	■	■	■	■	■	■	■	■	●	●	■	■	■	■	■
■	■	–	–	–	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
–	–	–	–	–	–	–	–	–	● [1]	–	–	–	■	–	■	–	–	–	■	–	■	■

■ = базовая функция ● = опциональная функция (за доп. плату) – = функция не доступна

[1] В процессе разработки [2] Посредством CFC

Основные функции устройства защиты			Дистанционная защита									Дифференциальная защита линии								
		Серия устройства защиты	SIPROTEC 4				SIPROTEC 5			Reyrolle		SIPROTEC 600er	SIPROTEC Compact	SIPROTEC 4		SIPROTEC 5			Reyrolle	
ANSI	Функция	Сокр.	7SA522	7SA61	7SA63	7SA64	7SA84	7SA86	7SA87	7SG163	7SG164	7SD60	7SD80	7SD610	7SD5	7SD84	7SD86	7SD87	7PG2111	7SG18
55	Коэффициент мощности	cos ф	■	■	■	■	■	■	■	–	–	–	–	■	■	■	■	■	–	–
59	Максимальная защита по напряжению	$V>$	●	●	●	●	●	●	●	●	●	–	●	●	●	●	●	●	–	–
59R, 27R	Защита по скорости изменения напряжения	dV/dt	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
64	Чувствительная защита от замыканий на землю (для электрических машин)		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
66	Запрет перезапуска	I^2t	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
67	Направленная МТЗ	$I>, I_p \angle (V, I)$	■	■	■	■	●	●	●	–	–	–	●	●	–	●	●	●	–	–
67N	ТНЗНП	$I_N>, I_{NP} \angle (V', I)$	●	●	●	●	●	●	●	–	–	–	●	●	●	●	●	●	–	–
67Ns	Направленная чувствительная защита от замыканий на землю для сетей с компенсированной или изолированной нейтралью	$I_N>, \angle (V, I)$	●	●	●	●	● [1]	● [1]	● [1]	–	–	–	–	–	●	● [1]	● [1]	● [1]	–	–
68	Блокировка при качаниях мощности	$\Delta Z/\Delta t$	●	●	●	●	●	●	●	■	■	–	–	–	●	–	–	–	–	–
74TC	Контроль цепи отключения	TCS	■	■	■	■	■	■	■	■	■	–	■	■	■	■	■	■	–	■
78	Защита от асинхронного хода	$\Delta Z/\Delta t$	●	●	●	●	●	●	●	–	–	–	–	–	●	–	–	–	–	–
79	Автоматическое повторное включение	AR	●	●	●	●	●	●	●	●	●	–	●	●	●	●	●	●	–	–
81	Защита по частоте	$f<, f>$	●	●	●	●	●	●	●	–	–	–	●	●	●	●	●	●	–	–
81R	Защита по скорости изменения частоты	df/dt	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	●	–	–	–	–	–	–	–
	Функция обнаружения скачкообразного изменения фазы вектора напряжения	$\Delta\varphi_U>$	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
81LR	Включение отключенной нагрузки	LR	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
85	Телеуправление		■	■	■	■	■	■	■	●	●	■	■	■	■	–	–	–	●	■
86	Блокировка		■	■	■	■	■	■	■	■	■	–	■	■	■	■	■	■	–	■
87	Дифференциальная защита	ΔI	–	–	–	–	–	–	–	–	–	■	■	■	■	■	■	■	■	■
87N	Дифференциальная защита от замыканий на землю	ΔI_N	–	–	–	–	–	–	–	–	–	■	■	●	●	–	–	–	–	–
	Функция обнаружения обрыва провода для дифференциальной защиты		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	■	■	■	■	■	–	–
90V	Автоматическое регулирование напряжения		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
PMU	Измерение параметров синхронных векторов	PMU	–	–	–	–	●	●	●	–	–	–	–	–	–	●	●	●	–	–

■ = базовая функция ● = опциональная функция (за доп. плату) – = функция не доступна [1] В процессе разработки [2] Посредством CFC

Другие функции описаны на следующей странице

Комбинированная защита линии (дифференциальная и дистанционная защита)		Высокоомная защита			МТЗ и защита отходящего присоединения / автоматика отходящего присоединения (другие устройства описаны на странице 32[4])																
SIPROTEC 5		Reyrolle			SIPROTEC easy		SIPROTEC 600er		SIPROTEC Compact			SIPROTEC 4				SIPROTEC 5		Reyrolle			
7SL86	7SL87	7SR23 [1]	7PG23	7SG12	7SJ45	7SJ46	7SJ600	7SJ602	7SJ80	7SJ81	7SC80	7SJ61	7SJ62	7SJ63	7SJ64	7SJ85 [1]	7SJ86	7SR11	7SR12	7SR210	7SR220	7SR224
■	■	–	–	–	–	–	–	–	●	●	●	–	●	■ [2]	●	■ [2]	■ [2]	–	–	–	–	–
●	●	–	–	–	–	–	–	●	●	●	●	–	●	●	●	●	●	–	■	–	■	■
–	–	–	–	–	–	–	–	–	● [1]	–	–	–	●	–	●	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	●	–	–	–	●	●	●	●	–	–	–	–	–	–	–
●	●	–	–	–	–	–	–	–	●	●	●	–	●	●	●	●	●	–	■	–	■	■
●	●	–	–	–	–	–	–	–	●	●	●	–	●	●	●	●	●	–	■	–	■	■
● [1]	● [1]	–	–	–	–	–	–	●	●	●	■ [1]	–	●	●	●	●	● [1]	–	–	–	–	–
●	●	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
■	■	■	–	■	–	–	■	■	■	■	■ [1]	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
●	●	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
●	●	–	–	–	–	–	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	■
●	●	–	–	–	–	–	–	–	●	●	●	–	●	●	●	●	●	–	■	–	■	■
–	–	–	–	–	–	–	–	–	●	●	●	–	●	–	●	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
■	■	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	●	–	–	–	–	–
■	■	–	–	–	–	–	–	–	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	■	■	–	–	–	–	●	●	–	–	●	●	●	●	–	–	●	●	■	■	■
■	■	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
●	●	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	●	●	–	–	–	–	–

6

Основные функции устройства защиты			Дистанционная защита									Дифференциальная защита линии								
		Серия устройства защиты	SIPROTEC 4				SIPROTEC 5			Reyrolle		SIPROTEC 600er	SIPROTEC Compact	SIPROTEC 4		SIPROTEC 5			Reyrolle	
ANSI	Функция	Сокр.	7SA522	7SA61	7SA63	7SA64	7SA84	7SA86	7SA87	7SG163	7SG164	7SD60	7SD80	7SD610	7SD5	7SD84	7SD86	7SD87	7PG2111	7SG18
	Дополнительные функции																			
	Измеряемые величины		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	–	■
	Счетчики статистики коммутации		■	■	■	■	■	■	■	■	■	–	■	■	■	■	■	■	–	■
	Редактор логики		■	■	■	■	■	■	■	–	–	–	■	■	■	■	■	■	–	–
	Обнаруж. броска тока намагн.		–	–	–	–	■	■	■	–	–	●	■	■	■	■	■	■	–	–
	Внешний пуск на отключение		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	–	■
	Управление		■	■	■	■	■	■	■	■	■	–	■	■	■	■	■	■	–	■
	Осциллографирование аналоговых и дискретных сигналов		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	–	■
	Расширенные функции регистрации аварийных процессов		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Регистратор быстро изменяющихся процессов (с большой частотой дискретизации)		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Регистратор медленно изменяющихся процессов (с малой частотой дискретизации)		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Непрерывный регистратор		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Регистратор качества энергии (класс S)		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Регистратор GOOSE		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Регистратор последовательности событий		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Расширенные возможности пуска регистраторов		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Мониторинг и контроль		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	–	■
	Последовательный интерфейс данных защиты		●	●	●	●	●	●	●	■	■	–	■	■	■	■	■	■	–	■
	Количество групп уставок		4	4	4	4	8	8	8	8	8	–	4	4	4	8	8	8	–	8

■ = базовая функция ● = опциональная функция (за доп. плату) – = функция не доступна [1] В процессе разработки [2] Посредством CFC

Другие функции описаны на следующей странице

Комбинированная защита линии (дифференциальная и дистанционная защита)		Высокоомная защита			МТЗ и защита отходящего присоединения / автоматика отходящего присоединения (другие устройства описаны на странице 32[4])																	
SIPROTEC 5		Reyrolle			SIPROTEC easy		SIPROTEC 600er		SIPROTEC Compact			SIPROTEC 4				SIPROTEC 5		Reyrolle				
7SL86	7SL87	7SR23 [1]	7PG23	7SG12	7SJ45	7SJ46	7SJ600	7SJ602	7SJ80	7SJ81	7SC80	7SJ61	7SJ62	7SJ63	7SJ64	7SJ85 [1]	7SJ86	7SR11	7SR12	7SR210	7SR220	7SR224
■	■	■	–	■	–	–	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	–	–	–	–	–	–	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	–	–	–	–	–	–	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	–	–	–	–	–	–	–	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	–	■	–	–	■	■	■	■	■	■	■	■ [2]	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	–	■	–	–	–	–	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	–	■	–	–	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
■	■	■	–	■	–	–	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	–	■	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	●	●	■	■	■	■	■
8	8	8	–	8	1	1	1	1	4	4	4	4	4	4	4	8	8	4	4	8	8	8

Основные функции устройства защиты			Защита генератора / двигателя									Управление присоединением	
		Серия устройства защиты	SIPROTEC Compact		SIPROTEC 5	SIPROTEC 4		Reyrolle	SIPROTEC 4			SIPROTEC 5	
ANSI	Функция	Сокр.	7SK80	7SK81	7SK85 [1]	7UM61	7UM62	7SG17	6MD61	6MD63	6MD66	6MD85	6MD86
	Действие защитных функций на 3ф откл.	3-pole	■	■	■	■	■	■	–	–	–	●	●
	Действие защитных функций на 1ф откл.	1-pole	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
14	Защита от блокировки ротора	$I> + V<$	■	■	–	●	●	■	–	–	–	–	–
21	Дистанционная защита	$Z<$	–	–	–	–	●	–	–	–	–	–	–
FL	Функция ОМП	FL	–	–	●	–	–	–	–	–	–	–	–
24	Защита от перевозбуждения	V/f	–	–	–	■	■	–	–	–	–	–	–
25	Функция контроля синхронизма, синхронизации	Sync	–	–	●	–	–	–	–	–	●	●	■
27	Минимальная защита по напряжению	$V<$	●	●	●	■	■	–	–	–	–	● [1]	● [1]
27TN/59TN	Защита статора от замыкания на землю по 3-ей гармонике	$V0<, >_{(3rd\ harm.)}$	–	–	–	–	●	–	–	–	–	–	–
32	Контроль направления мощности	$P>, P<$	●	●	●	■	■	–	–	–	–	● [1]	● [1]
37	Минимальная защита по току/мощности	$I<, P<$	■	■	●	●	●	■	–	–	–	–	–
38	Мониторинг температуры	$\Theta>$	■	■	●	●	●	●	–	–	–	–	–
40	Защита от потери возбуждения	$1/X_D$	–	–	–	●	●	–	–	–	–	–	–
46	Защита от несимметричной нагрузки	$I2>$	■	■	■	●	●	■	–	–	–	●	●
46	Максимальная токовая защита обратной последовательности	$I2>, I2/I1>$	■	■	■	■	■	■	–	–	–	●	●
47	Контроль порядка чередования фаз напряжения	LA, LB, LC	●	●	■	■	■	–	–	–	–	–	–
48	Контроль времени пуска	I^2_{start}	■	■	■	●	●	■	–	–	–	–	–
49	Защита от тепловой перегрузки	θ, I^2t	■	■	■	■	■	■	–	–	–	■	■
50/50N	МТЗ с независимой выдержкой времени	$I>$	■	■	■	■	■	■	–	–	–	●	●
50Ns	Чувствительная защита от замыканий на землю	$I_{Ns}>$	●	●	●	■	■	–	–	–	–	–	–
50Ns	Защита от перемежающихся замыканий на землю	lie	■ [1]	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
50L	Защита от блокировки ротора	$I>_L$	■	■	■	–	–	■	–	–	–	–	–
50BF	УРОВ	CBFP	■	■	●	●	■	■	–	–	●	–	●
51 /51N	МТЗ с инверсной выдержкой времени	I_p, I_{Np}	■	■	■	■	■	–	–	–	–	●	●
51V	МТЗ с пуском по напряжению	$t=f(I)+V<$	● [1]	–	–	■	■	–	–	–	–	–	–

■ = базовая функция ● = опциональная функция (за доп. плату) – = функция не доступна [1] В процессе разработки [2] Посредством CFC

Другие функции описаны на следующей странице

Busbar protection		Transformer protection								Breaker management		Synchro-nizing		Voltage and frequency protection				Fault recorder
SIPROTEC 600er	SIPROTEC 4	SIPROTEC 4			SIPROTEC 5			Reyrolle		SIPROTEC 4	SIPROTEC 5	SIPROTEC 4	Reyrolle	SIPROTEC 600er	SIPROTEC Compact	Reyrolle		SIPROTEC 5
7SS60	7SS52	7UT612	7UT613	7UT63	7UT85 [1]	7UT86 [1]	7UT87 [1]	7SG14	7SR24	7VK61	7VK87	7VE6	7SG117	7RW60	7RW80	7SG118	7SG15	7KE85 [1]
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	●	–	■	■	■	–	–
■	–	–	–	–	–	–	–	–	–	■	■	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	●	●	–	–	–	●	●	–	–	–	–	●	●	–	–	–
–	–	–	–	–	●	●	●	–	–	●	■	■	■	–	●	–	–	–
–	–	–	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	–	■	■	■	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	●	●	●	●	●	–	–	–	●	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–				–	●	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	●	●	●	●	●	●	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	●	●	●	●	●	●	■	■	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	●	●	●	●	●	●	■	■	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	■	■	■	■	■	■	–	–	–	–	–	–	■	■	–	■	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	■	■	■	■	■	■	●	●	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	●	■	■	■	■	■	■	●	●	●	●	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	●	●	●	–	–	–	●	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	●	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	■	●	●	●	●	●	●	●	■	■	■	–	–	–	–	–	–	–
–	●	■	■	■	■	■	■	●	●	●	●	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

6

Основные функции устройства защиты			Защита генератора / двигателя									Управление присоединением	
		Серия устройства защиты	SIPROTEC Compact		SIPROTEC 5	SIPROTEC 4		Reyrolle	SIPROTEC 4			SIPROTEC 5	
ANSI	Функция	Сокр.	7SK80	7SK81	7SK85 [1]	7UM61	7UM62	7SG17	6MD61	6MD63	6MD66	6MD85	6MD86
55	Коэффициент мощности	cos ф	●	●	■ [2]	●	●	–	–	–	–	–	–
59	Максимальная защита по напряжению	$V>$	●	●	●	■	■	–	–	–	–	●	●
59R, 27R	Защита по скорости изменения напряжения	dV/dt	● [1]	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
64	Чувствительная защита от замыканий на землю (для электрических машин)		–	–	–	■	■	–	–	–	–	–	–
66	Запрет перезапуска	I^2t	■	■	■	●	●	–	–	–	–	–	–
67	Направленная МТЗ	$I>, I_p \angle (V, I)$	–	–	●	■	■	–	–	–	–	–	–
67N	ТНЗНП	$I_N>, I_{NP} \angle (V', I)$	●	●	●	■	■	–	–	–	–	–	–
67Ns	Направленная чувствительная защита от замыканий на землю для сетей с компенсированной или изолированной нейтралью	$I_N>, \angle (V, I)$	●	●	●	■	■	–	–	–	–	–	–
68	Блокировка при качаниях мощности	$\Delta Z/\Delta t$	–	–	–	–	●	–	–	–	–	–	–
74TC	Контроль цепи отключения	TCS	■	■	■	■	■	■	–	–	–	■	■
78	Защита от асинхронного хода	$\Delta Z/\Delta t$	–	–	–	–	●	–	–	–	–	–	–
79	Автоматическое повторное включение	AR	–	–	●	–	–	–	–	–	●	–	●
81	Защита по частоте	$f<, f>$	●	●	●	■	■	–	–	–	–	●	●
81R	Защита по скорости изменения частоты	df/dt	●	●	–	■	■	–	–	–	–	–	–
	Функция обнаружения скачкообразного изменения фазы вектора напряжения	$\Delta\varphi_U>$	–	–	–	●	●	–	–	–	–	–	–
81LR	Включение отключенной нагрузки	LR	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
85	Телеуправление		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
86	Блокировка		■	■	■	■	■	■	–	–	–	–	–
87	Дифференциальная защита	ΔI	–	–	–	–	■	–	–	–	–	–	–
87N	Дифференциальная защита от замыканий на землю	ΔI_N	–	–	–	●	●	–	–	–	–	–	–
	Функция обнаружения обрыва провода для дифференциальной защиты		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
90V	Автоматическое регулирование напряжения		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
PMU	Измерение параметров синхронных векторов	PMU	–	–	●	–	–		–	–	–	●	●

■ = базовая функция ● = опциональная функция (за доп. плату) – = функция не доступна

[1] В процессе разработки [2] Посредством CFC

Другие функции описаны на следующей странице

Busbar protection		Transformer protection								Breaker management		Synchro-nizing		Voltage and frequency protection				Fault recorder
SIPROTEC 600er	SIPROTEC 4	SIPROTEC 4			SIPROTEC 5			Reyrolle		SIPROTEC 4	SIPROTEC 5	SIPROTEC 4	Reyrolle	SIPROTEC 600er	SIPROTEC Compact	Reyrolle		SIPROTEC 5
7SS60	7SS52	7UT612	7UT613	7UT63	7UT85 [1]	7UT86 [1]	7UT87 [1]	7SG14	7SR24	7VK61	7VK87	7VE6	7SG117	7RW60	7RW80	7SG118	7SG15	7KE85 [1]
–	–	■	■	■	●	●	●	–	–	–	–	–	–			–	–	–
–	–	–	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	–	■	■	■	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	■	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	●	●	●	–	–	–	●	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	●	●	●	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	● [1]	● [1]	● [1]	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	●	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	–	■	■	■	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	■	■	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	●	●	●	●	●	●	●	–	●	●	–	■	■	●	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	●	–	■	■	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	●	–	–	●	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	●	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
■	–	■	■	■	●	●	●	■	■	■	■	–	–	–	■	■	–	–
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	●	●	●	■	■	■	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	■	■	■	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	■	–
–	–	–	–	–	●	●	●	–	–	–	●		–	–	–	–	–	■

Основные функции устройства защиты			Защита генератора / двигателя									Управление присоединением	
		Серия устройства защиты	SIPROTEC Compact		SIPROTEC 5	SIPROTEC 4		Reyrolle	SIPROTEC 4			SIPROTEC 5	
ANSI	Функция	Сокр.	7SK80	7SK81	7SK85 [1]	7UM61	7UM62	7SG17	6MD61	6MD63	6MD66	6MD85	6MD86
	Дополнительные функции												
	Измеряемые величины		■	■	■	■	■	■	●	■	■	■	■
	Счетчики статистики коммутации		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Редактор логики		■	■	■	■	■	–	–	■	■	■	■
	Обнаруж. броска тока намагн.		■	■	■	–	●	–	–	–	–	–	–
	Внешний пуск на отключение		■	■	■	■	■	–	–	–	–	–	–
	Управление		■	■	■	■	■	–	■	■	■	■	■
	Осциллографирование аналоговых и дискретных сигналов		■	■	■	■	■	■	–	–	●	■	■
	Расширенные функции регистрации аварийных процессов		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Регистратор быстро изменяющихся процессов (с большой частотой дискретизации)		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Регистратор медленно изменяющихся процессов (с малой частотой дискретизации)		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Непрерывный регистратор		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Регистратор качества энергии (класс S)		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Регистратор GOOSE		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Регистратор последовательности событий		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Расширенные возможности пуска регистраторов		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Мониторинг и контроль		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Последовательный интерфейс данных защиты		–	–	●	–	–	■	–	–	–	● [1]	● [1]
	Количество групп уставок		4	4	8	2	2	8	4	4	4	8	8

■ = базовая функция ● = опциональная функция (за доп. плату) – = функция не доступна [1] В процессе разработки [2] Посредством CFC

Другие функции описаны на следующей странице

Busbar protection		Transformer protection								Breaker management		Synchro-nizing		Voltage and frequency protection				Fault recorder
SIPROTEC 600er	SIPROTEC 4	SIPROTEC 4			SIPROTEC 5			Reyrolle		SIPROTEC 4	SIPROTEC 5	SIPROTEC 4	Reyrolle	SIPROTEC 600er	SIPROTEC Compact	Reyrolle		SIPROTEC 5
7SS60	7SS52	7UT612	7UT613	7UT63	7UT85 [1]	7UT86 [1]	7UT87 [1]	7SG14	7SR24	7VK61	7VK87	7VE6	7SG117	7RW60	7RW80	7SG118	7SG15	7KE85 [1]
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	–
–	–	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	–	■	■	■	–
–	■	■	■	■	■	■	■	–	■	■	■	■	–	–	■	–	–	–
–	–	■	■	■	■	■	■	■	■	–	■	–	–	–	–	–	–	–
–	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	●	■	●	■	■	–	–
–	–	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	–	■	■	■	–
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	■
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	■
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	■
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	■
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	● [1]
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	● [1]
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	● [1]
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	●
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	–
–	–	–	–	–	■	■	■	■	■	–	●	–	■	–	–	■	■	–
1	1	4	4	4	8	8	8	8	8	4	8	4	8	1	4	8	8	–

6

6.3 Автоматизация подстанции

6.3.1 Введение

В прошлом, эксплуатация и наблюдение за автоматизацией в энергетике и оборудованием подстанции было дорого, поскольку это требовало наличия на объектах персонала. Современные решения по автоматизации подстанций предоставляют возможность дистанционного наблюдения и управления всеми ресурсами, основанные на единой коммуникационной платформе, которая интегрирует все элементы, от нижнего уровня до центра управления. Продукты Siemens по автоматизации подстанции могут быть точно подобраны для удовлетворения пользовательских запросов для энергохозяйств, а также для промышленных предприятий и массовых потребителей. Перечень решений компании Siemens охватывает весь диапазон сервисов от анализа до эксплуатации всей системы и обеспечивает полное наблюдение за ресурсами. Благодаря сбору и передаче всех актуальных данных и информации, технологии компании Siemens в области автоматизации подстанции и телемеханики являются залогом стабильной работы сети. Новые приложения, такие как онлайн-мониторинг, могут быть легко интегрированы в существующую ИТ-архитектуру. Это иллюстрирует то, как Siemens позволяет экономить ресурсы и делает возможным оптимальную автоматизицию всего оборудования на протяжении всего его срока службы.

6.3.2 Обзор и решения

В течение последних лет факторы влияния на бизнес энергосбытовых компаний сильно изменились. Подход для работы энергосистемы изменился от статического анализа квази-установившихся процессов до динамического оперативного управления энергосистемой. Повышенные требования в части экономии всех ресурсов в течение всего срока службы оборудования сети приобретают все большее значение.

В результате чего сильно возросла значимость системы автоматизации, а требования к управлению, защите и дистанционному управления претерпели серьезные принципиальные изменения:
- Гибкие и индивидуальные решения для различных приложений
- Безопасное и надежное управление
- Экономически эффективные инвестиции и экономная эксплуатация
- Эффективное управление проектами
- Долгосрочные концепции, перспективные и открытые для новых требований

Решения Siemens в области автоматизации в энергетике предлагает ответы на все актуальные на сегодняшний день вопросы со стороны энергохозяйств. Опираясь на разносторонний ассортимент продукции и многолетний опыт, Siemens разрабатывает и предоставляет решения для всех уровней напряжения и всех видов подстанций (рис. 6.3-1).

Решения Siemens в области автоматизации в энергетике возможны как для реконструкции существующих, так и для строительства новых подстанций «под ключ», и могут быть использованы в классических централизованных или распределенных концепциях. Все функции автоматизации могут выполняться там, где это необходимо.

Гибкие и индивидуальные решения для различных приложений в области автоматизации в энергетике Siemens предлагают ряд унифицированных стандартных конфигураций и функций для многих типовых задач. В то время, как стандартные решения облегчают использование продуктов с гибкой архитектурой, они также могут исползоваться в более сложных и индивидуальных приложениях. Сбор всех видов данных, вычисления и функции автоматизации, а также универсальные средства связи могут быть гибко объединены для формирования конкретных решений, вписывающихся в существующее системное окружение.

Классический интерфейс к первичному оборудованию - централизованный с большим количеством контрольных кабелей, упорядоченных с помощью кросс-шкафов. В таких условиях стандартом являются центральные панели РЗА и централизованные устройства телемеханики (RTU). В качестве интерфейсов данных могут использоваться модули ввода/вывода, размещенные внутри устройства RTU или внешние интеллектуальные терминальные модули, которые могут оснащаться даже дискретными входами под оперативное напряжение 220 в DC или входами для прямого подключения TT/TH.

Рис. 6.3-1: **Продукты автоматизации в энергетике Siemens**

Даже в таких конфигурациях пользователь может воспользоваться преимуществами полной автоматизации и коммуникационных возможностей. Это означает, что в систему включено классическое решение на базе RTU, интерфейсы для связи с другими IED, а ЧМИ для мониторинга и управления станцией можно добавить в качестве опции. Кроме того, устройства РЗА также подключаются к RTU, благодаря чему данные от этих устройств доступны как на локальной операторской станции, так и в удаленном центре управления.

Все компоненты семейства SICAM RTU - AK, TM, BC, CMIC, EMIC и MIC - могут оснащаться различными интерфейсами связи, как последовательными, так и Ethenet (TCP/IP). Доступны различные протоколы согласно стандартам МЭК: МЭК 60870-5-101/103/104, МЭК 61850, МЭК 62056-21, МЭК 61107, а также многие другие популярные протоколы различных производителей.

На рис. 6.3-2 показан пример реконструкции и централизованного сбора данных на подстанции СН. Интерфейс к первичному оборудованию заводится через кросс-шкаф, но возможно использование любого оперативного напряжения (24-220 В DC). Электронные терминальные модули предназначены для замены традиционных клеммных колодок, что позволяет реализовать более экономичный дизайн. Существующие устройства РЗА можно подключить как по протоколу МЭК 60870-5-103, так и по более современному протоколу МЭК 61850.

На новых подстанциях количество кабелей может быть уменьшено путем децентрализации системы автоматизации. Устройства РЗА и контроллеры присоединений располагаются как можно ближе к первичному оборудованию распределительного устройства. Как правило, они расположены в помещении релейного щита (СВН) или непосредственно в шкафах местного управления в помещении КРУЭ (ВН). Прочная конструкция с максимальной ЭМС-защитой обеспечивает высокий уровень безопасности и надежности.

Для управления подстанцией доступны два продукта: SICAM PAS представляет собой программно-ориентированный продукт, основанный на стандартном промышленном аппаратном обеспечении, в то время как контроллеры семейства SICAM RTU представляют собой модульное аппаратно-ориентированного решение, которое заполняет пробел между классическими устройствами телемеханики (RTU) и системой автоматизации подстанции (рис. 6.3-3).

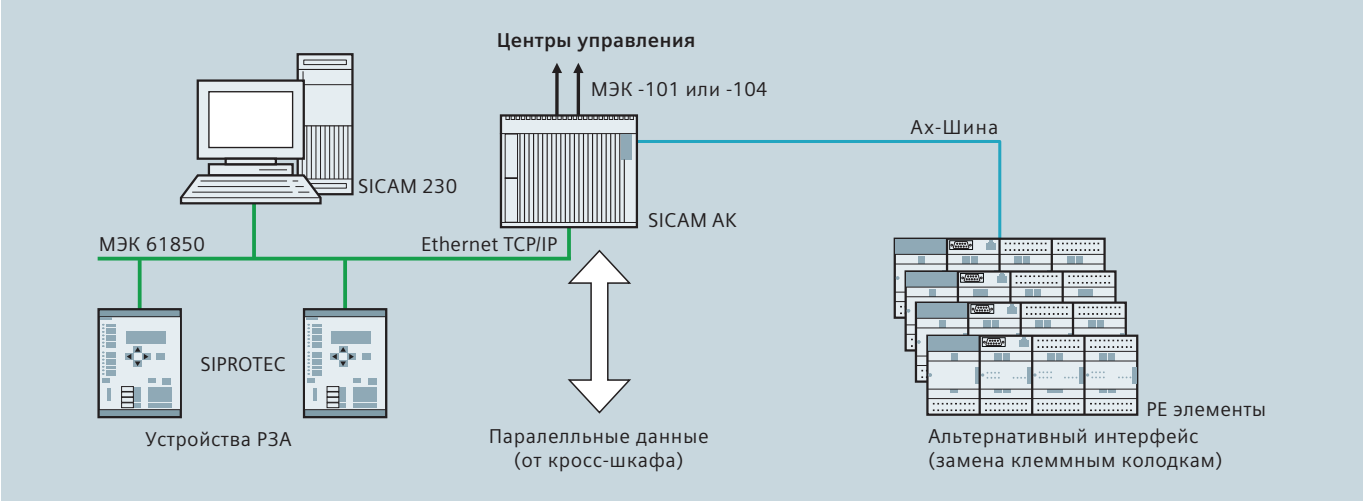


Рис. 6.3-2: **Пример реконструкции и централизованного сбора данных на подстанции СН**

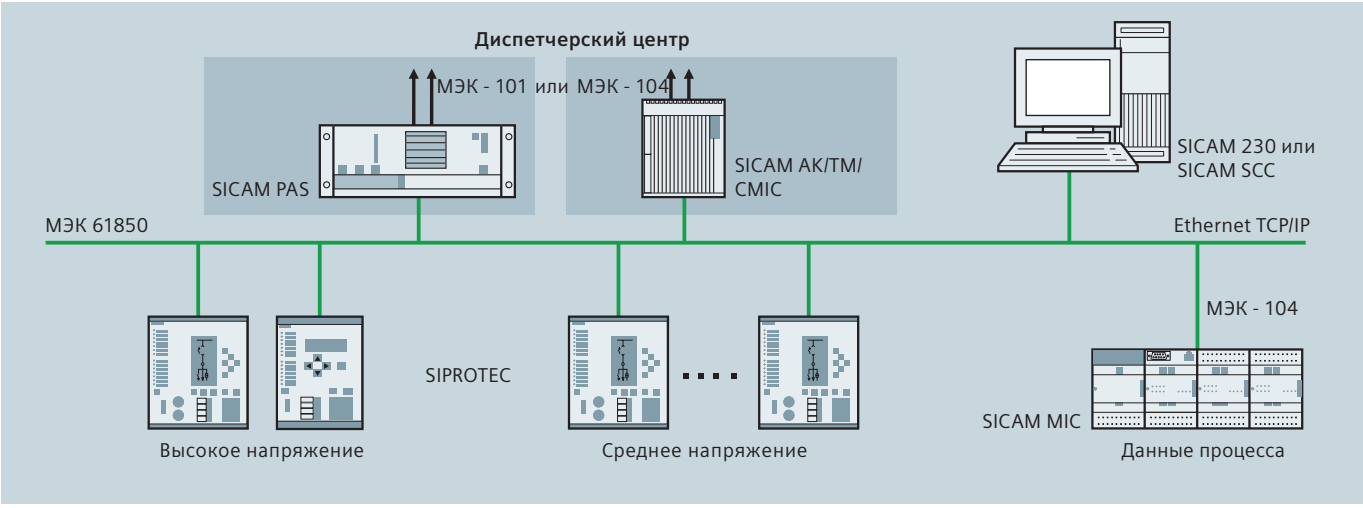


Рис. 6.3-3: **Основной принцип автоматизации подстанции на базе SICAM с альтернативными станционными контроллерами**

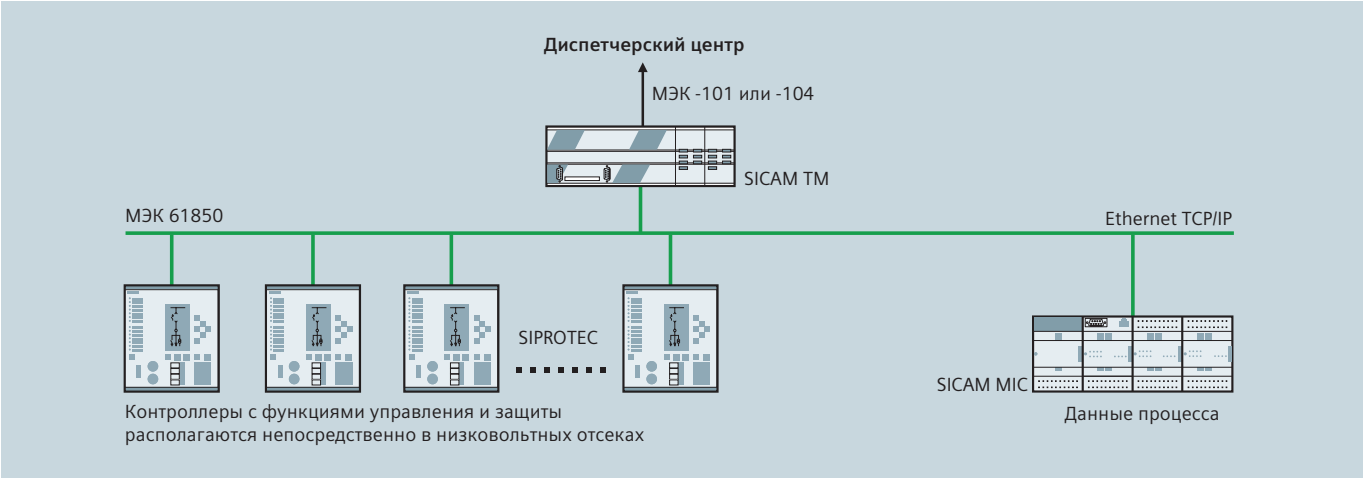


Рис. 6.3-4: **Контроллеры с функциями управления и защиты располагаются непосредственно в низковольтных отсеках**

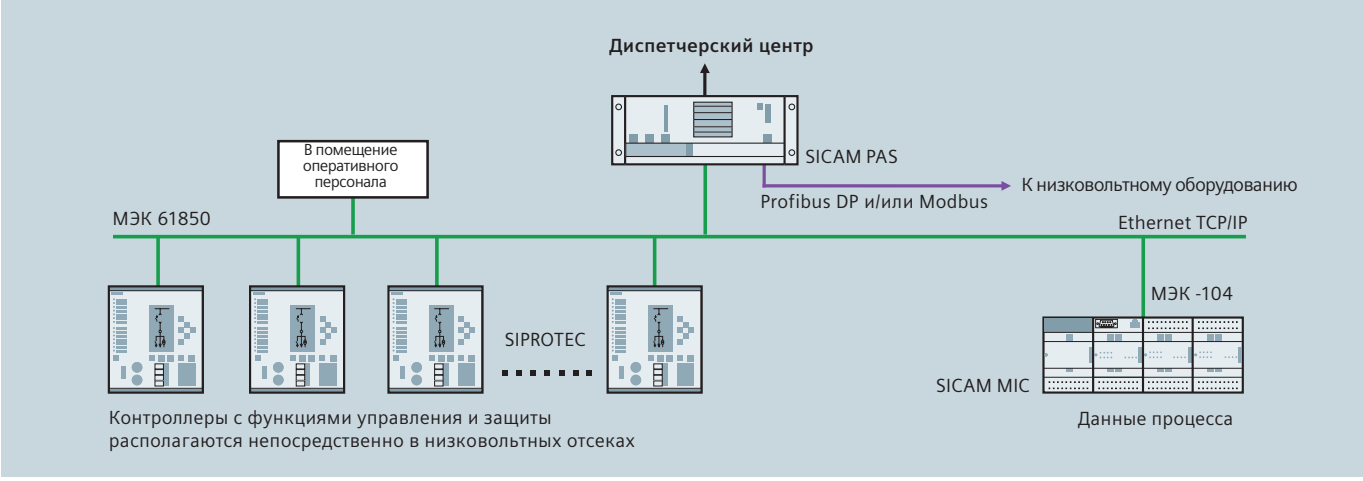


Рис. 6.3-5: **Пример распределительной подстанции для питания промышленных объектов**

Гибкие решения Siemens возможны для каждого вида подстанций:
- Для разных уровней напряжения, от системообразующих подстанций до транзитных подстанций
- Для новых подстанций или для модернизации существующих
- Для элегазовых или воздушных выключателей
- Для внутренней или внешней установки
- Для обслуживаемых и необслуживаемых подстанций

Коммуникации это основа любой системы автоматизации. Решения Siemens предназначены для сбора данных от высоковольтного оборудования и последующего предоставления этих данных различным пользователям: нужную информацию для нужных пользователей в нужное время и в нужном месте с нужным качеством и надежностью. Вот некоторые стандартные примеры типовых конфигураций. Они являются элементами, которые могут быть скомбинированы согласно соответствующим требованиям. Продукты, служащие «кирпичиками» данных конфигураций, являются неотемлемой частью налаженной работы системы и поддерживают принцип единоразового ввода данных при параметрировании. Это означает, что нет необходимости вводить данные несколько раз. Даже если для определенных конфигураций используется несколько программных инструментов, они позволяют экспортировать и ипортировать данные для более эффективного инжиниринга.

Пример небольшой подстанции СН: Как правило, она состоит из 4-16 присоединений СН и не имеет обслуживающего персонала. В большинстве случаев устройства с комбинированным функционалом РЗА и контроллера присоединения располагаются непосредственно в низковольтных отсеках панелей РУ. Единое устройство ЧМИ обычно не требуется, поскольку такие подстанции обычно управляются дистанционно, и в случае локального сервисного / технического обслуживания ими легко управлять с панелей РУ (рис. 6.3-4).

Пример распределительной подстанции для питания промышленных объектов: в принципе, все похоже на конфигурации выше, но объекты часто связаны с центром управления с помощью локальной сети (LAN). Отличительной особенностью является интерфейс для низковольтных распределительных щитов, а иногда даже и для системы промышленной автоматизации для обмена данными. В данном случае совместимость продуктов SIMATIC упрощает интеграцию системы (рис. 6.3-5).

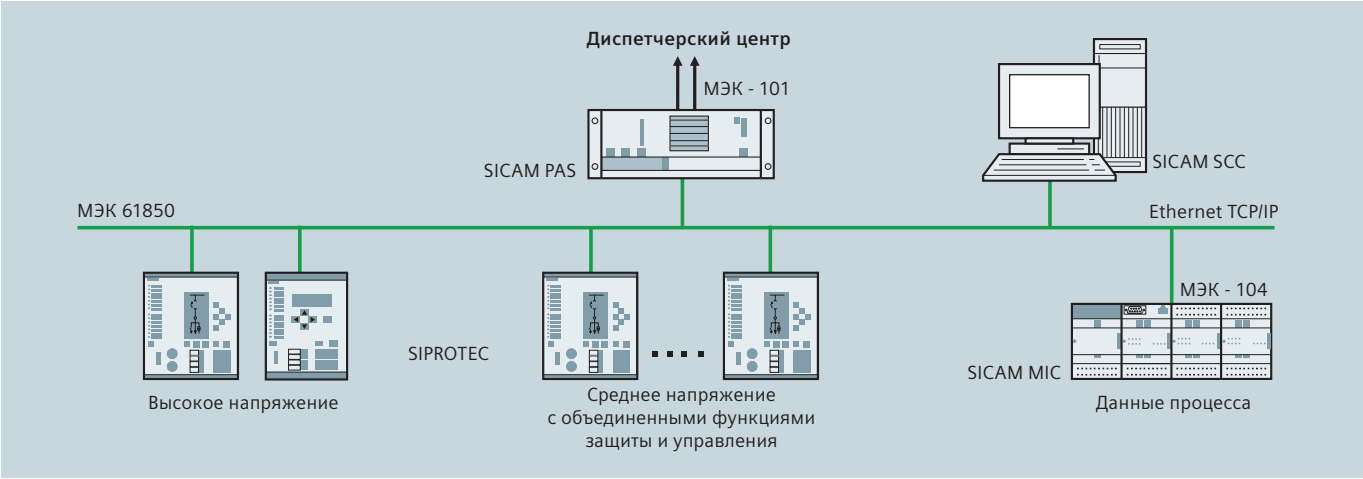


Рис. 6.3-6: **Пример подстанции распределительной сети**

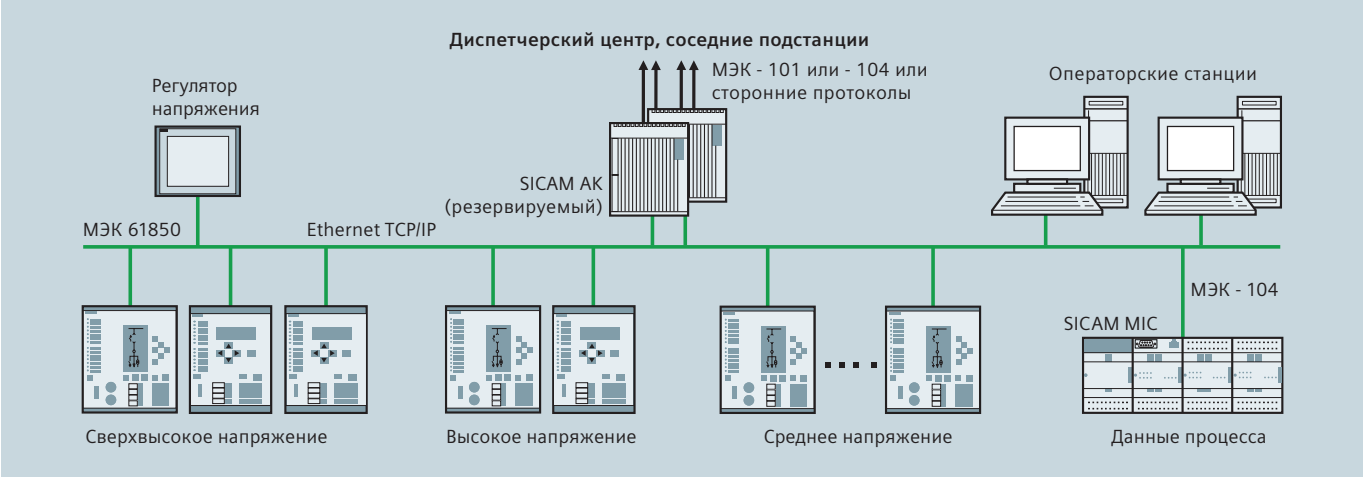


Рис. 6.3-7: **Пример для передачи данных подстанции**

Подстанция распределительной сети требует более сложной системы: на ПС должно быть 2 или 3 уровня напряжения; обычно требуется операторское АРМ; больше количество коммуникационных интерфейсов к внешним устройствам, разделенные устройства для управления и защиты на уровне ВН, мощная локальная сеть на базе протокола МЭК 61850, и удаленный доступ для технического обслуживания являются характерной чертой таких вариантов применения (рис. 6.3-6).

В распределительной подстанции, как правило автоматизирваны от двух до четырех уровней напряжения. Требование надежности для таких ПС имеет наивысший приоритет. Таким образом, резервирование на уровне подстанции, как правило, требуется и для устройств управления, и для устройств эксплуатации ПС. Часто требуется несколько операторских станций, а несколько каналов связи к различным центрам управления или к соседним подстанциям являются стандартной ситуацией. Хотя большинство стандартных приложений использует протоколы МЭК, для устройств сторонних производителей также должны предлагаться специализированные протоколы. Функции комплексной автоматизации поддерживают эксплуатацию и техническое обслуживание таких подстанций, к примеру регулятор напряжения с управлением РПН, контроль синхронизма, автоматические переключающие последовательности и т.д. (рис. 6.3-7).

Устройства также обладают гибкостью: контроллеры присоединений, устройства РЗА, станционные контроллеры АРМ операторов и устройства телемеханики (RTU) могут быть сконфигурированы для применения на любом объекте - от небольших до очень крупных подстанций. Известные продукты серии SICAM и SIPROTEC - это хорошо зарекомендовавшая себя база для решений от Siemens.

Безопасное и надежное управление
Решения Siemens предоставляют человеко-машинные интерфейсы (ЧМИ) для каждого уровня управления и снабжают операторов достоверными данными и простыми и безопасными функциями управления.

На уровне фидера:
- Традиционные панели с кнопками и инструментами для модернизации объекта
- Электронная передняя панель, объединенная с контроллерами присоединений (по умолчанию)
- Точки доступа для передачи данных в контроллеры среднего уровня
- Переносные сенсорные панели управления с беспроводным доступом в определенных зонах

На уровне подстанции:
- Одиночный или резервируемый ЧМИ
- Распределенная архитектура сервер/клиент с несколькими терминалами (возможно, удаленными)
- Интерфейс для инженерных систем здания

Все мнемокадры ЧМИ разработаны в соответствии с эргономическими требованиями, чтобы дать операторам понятную информацию, удобную при работе. Команды управления будут приняты только в случае, если права доступа соответствуют заданным, ключи авторизации управления (местное/дистанционное) находятся в нужном положении, а последовательность команд выполняется в нужном порядке. С особым вниманием проверяется тот факт, что обрабатываются только нужные и правильно сгенерированные команды, которые затем передаются на коммутационный аппарат.

Поддерживаются некоторые функции автоматизации:
- Оперативные блокировки
- Блокировка присоединения или блокировка телемеханики (опция)
- Последовательность команд (опция)
- Автоматическое повторное включение (опция)
- Автоматическое включение резерва (опция) и т.д.

Все мнемокадры ЧМИ организованы иерархически для удобного доступа пользователя к нужной информации и для быстрого поиска неисправностей. Кроме того, сигнализация и журналы событий, графики данных, записи аварийных событий, архивы и гибкая система отчетов помогут проанализировать любую ситуацию в энергосистеме (рис. 6.3-8).

В целях безопасности только специально уполномоченный персонал получает доступ к оперативным и техническим средствам. Гибкие права доступа определены для операторов, разработчиков и обслуживающего персонала, права для наладчиков и оперативного персонала также различаются.

Надежность передачи данных обеспечивается использованием защищенных протоколов и безопасным типом сети. В частности, необходимость в таких сложных мерах появляется из-за легкого дистанционного доступа к подстанциям. Опытные инженеры Siemens обладают всеми необходимыми знаниями о концепции безопасности сети.

Экономически эффективные инвестиции и экономная эксплуатация
Масштабируемые решения от Siemens используются для того, чтобы инвестиции были эффективными. Индивидуальные конфигурации и функции гарантируют, что предлагается только необходимый объем оборудования и услуг. Эффективные инструменты обеспечивают быстроту и простоту проектирования и поддерживают все этапы проектирования системы автоматизации, от сбора данных на подстанции до развертывания всех необходимых функций, и, наконец, отчетов и архивации. Длительный срок службы задействованных перспективных продуктов расширяет период времени между инвестициями в системы автоматизации.

Решения Siemens обеспечивают низкую стоимость владения, принимая в расчет все расходы в течение срока службы. Системы автоматизации не требуют технического обслуживания, и могут быть расширены при необходимости в будущем. Наконец, что не менее важно, мощные инструменты для дистанционного технического обслуживания (диагностики, настройки, обновления, тестирования, и т.д.) обеспечивают очень экономичный способ поддерживать любую подстанцию в актуальном и рабочем состоянии.

Простое применение решений обеспечивается:
- Одинаковым способом работы с ЧМИ на различных уровнях.
- Вертикальной и горизонтальной совместимостью задействованных продуктов.
- Принципом «включил и работай» для запасных частей путем простой замены флэш-карты.

Снижение затрат на проектирование благодаря
- Единому управлению данными, единоразовому вводу данных при параметрировании.
- Легкость настройки и загрузки данных даже при дистанционной работе.
- Интегрированная функция тестирования.

Снижение расходов в течение срока службы
- Интегрированная функция самодиагностики во всех компонентах
- Мощные средства диагностики в понятном текстовом формате
- Удаленный доступ для диагностики, настройки, тестирования, расширения и др.

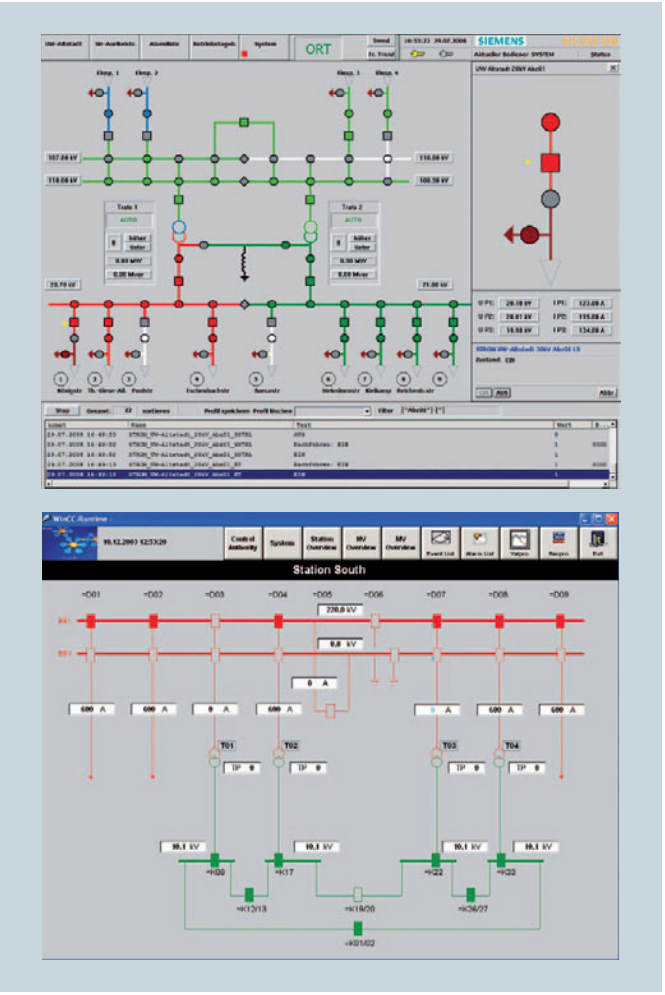


Рис. 6.3-8: **Человеко-машинный интерфейс для каждого уровня**

Уменьшение сложности путем бесшовной коммуникации
- Мировой стандарт МЭК 61850, продвигаемый Siemens
- Интегрированные ИТ-концепции безопасности
- Интегрированные новейшие технологии

Эффективные и современные проекты
Решения для автоматизации в энергетике являются частью обширной программы "Siemens One". Это означает, что решения в области автоматизации в энергетике интегрированы в различные приложения благодаря огромной активности и опыту Siemens:
- Электрические сети передачи и распределения
- Комплексная автоматизация зданий
- Решения для трубопроводов и инфраструктуры
- Железнодорожные системы «под ключ»

Все они используют решения по автоматизации в энергетике и соответствующую передачу опыта для эффективного проектирования и выполнения заказа. Наши центры проектирования располагаются по всему миру (рис. 6.3-9).

Долгосрочная стабильность и перспективные возможности для новых требований
С системой автоматизации в энергетике Siemens каждый пользователь получает преимущества более чем 70-летнего опыта в области дистанционного управления и автоматизаций подстанций. Системы автоматизации в энергетике проектируются с упором на длительный срок эксплуатации. Инновации базируются на существующих продуктах, а совместимость продуктов разных поколений является частью философии развития Siemens.

Широкое применение имеющихся стандартов МЭК решительно поддерживает долгосрочную стабильность и расширяемость. Коммуникационные протоколы, например, МЭК 61850 на подстанции, МЭК 61970 для центров управления и МЭК 60870-5 для дистанционной коммуникации. Они образуют стабильную основу для комплексных решений по автоматизации в энергетике. Кроме того, системы проходят проверку в условиях жесткой окружающей среды и сертифицируются в соответствии с действующими стандартами МЭК.

Инвестиции в наши решениях защищены «вечнозеленой концепцией», которая определяет методы миграции в случаях, когда новое поколение продуктов выводится на рынок, например, решение для миграции SICAM LSA 678, выпускаемых с начала 90-х годов: заменяя станционный контроллер на сегодняшнюю систему SICAM PAS, можно сохранить существующие фидерные устройства и импортировать существующую базу данных с настройками в новый инструментарий SICAM PAS UI. Этот метод значительно сокращает работы по модернизации и расширяет функционал системы: в последующие годы подстанция может быть расширена новыми фидерными устройствами за счет использования МЭК 61850, несмотря на то, что некоторые компоненты системы могут быть старше 15 лет (рис. 6.3-10).

Рис. 6.3-9: **Центры проектирования Siemens по всему миру**

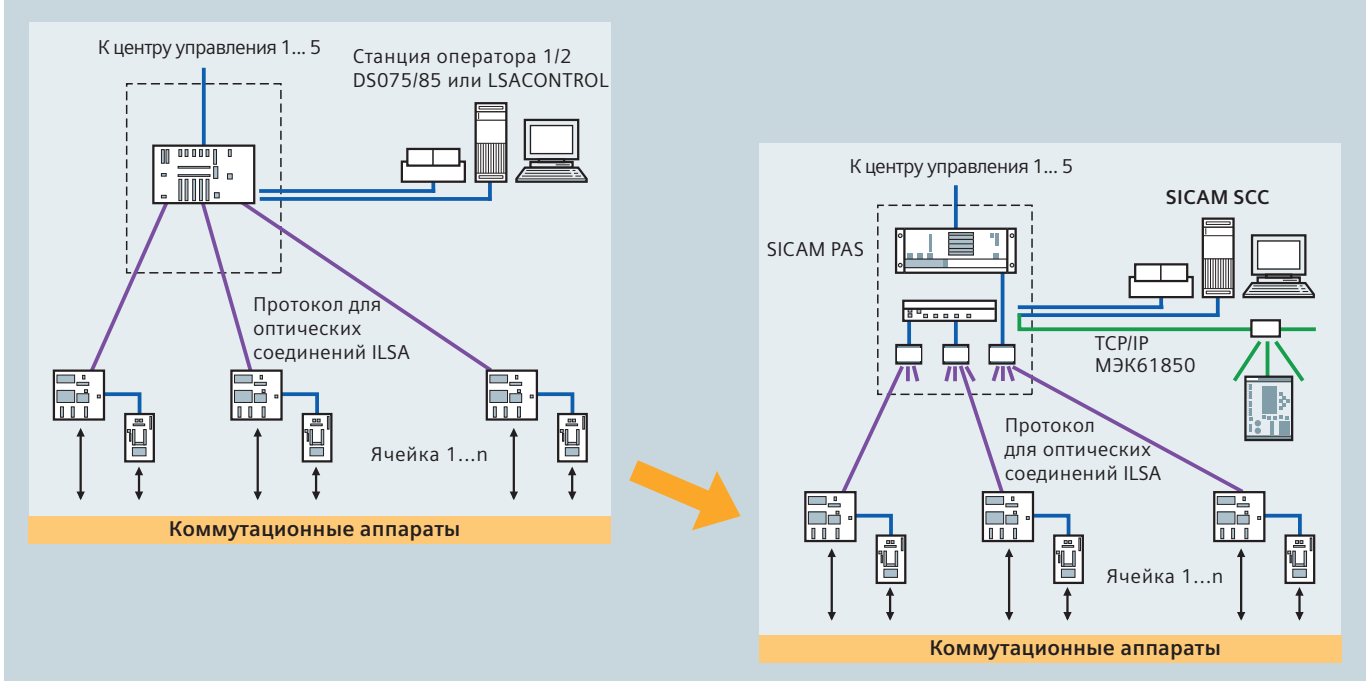


Рис. 6.3-10: **Миграция от LSA к PAS**

Наши решения не только совместимы со старыми устройствами, они также являются инновационными. Siemens была награждена Frost&Sullivan Technology Leadership Award 2006 за новаторские работы по развитию инновационных технологий, МЭК 61850

С решениями Siemens по автоматизации в энергетике каждый пользователь получает надежные решения: сочетание многолетнего опыта и новейших инноваций обеспечивает надежность на много лет вперед.

6.3.3 SICAM PAS

SICAM PAS (PAS - Power Automation System, АСУ ТП) отвечает всем требованиям, которые предъявляются к распределенным системам управления подстанциями - как сейчас, так и в будущем. Среди многих других стандартизированных протоколов связи, SICAM PAS, в частности, поддерживает стандарт МЭК 61850 для связи между подстанциями и между интеллектуальными электронными устройствами (IED). SICAM PAS является открытой системой и - в дополнение к стандартизированным процессам передачи данных - предоставляет пользовательские интерфейсы для интеграции конкретных систем/задач и предлагает различные варианты автоматизации. Система SICAM PAS, таким образом, может быть легко включена в существующие системы и использоваться для системной интеграции. С помощью современных средств диагностики система оптимально поддерживает процесс наладки и технического обслуживания. SICAM PAS четко структурирована и надежна благодаря своей открытой, полностью задокументированой и протестированной системе (рис. 6.3-11).

Обзор системы, приложения и функциональные возможности SICAM PAS

- SICAM PAS является решением по автоматизации в энергетике; системная архитектура обеспечивает масштабируемость продукта.
- SICAM PAS подходит для эксплуатации на подстанции не только с одного компьютера станционного уровня, но также и в сочетании в другими компонентами SICAM PAS или с другими устройствами управления подстанции. Коммуникация в сети основана на мощной локальной сети Ethernet.
- Со своими особенностями и модульной расширяемостью система SICAM PAS охватывает широкий спектр применений и поддерживает распределенную конфигурацию системы. Распределенная система SICAM PAS выполняется одновременно на нескольких компьютерах.
- SICAM PAS может использовать существующие аппаратные компоненты и коммуникации, а также их совместную работу.
- SICAM PAS выполняет мониторинг и управление данными процесса для всех устройств подстанции в рамках поддерживаемых протоколов передачи данных.
- SICAM PAS это коммуникационный шлюз. Вот почему требуется лишь одно подключение для передачи данных к системе управления верхнего уровня.
- SICAM PAS позволяет интегрировать графическую систему визуализации технологического процесса непосредственно на подстанции.
- SICAM PAS упрощает процесс установки и параметрирования новых устройств благодаря своему интуитивно-понятному пользовательскому интерфейсу.
- Система SICAM PAS известна своей возможностью изменения параметров в онлайн-режиме, особенно в случаях, когда система должна быть расширена. Не требуется время на компиляцию, загрузка в целевую систему не требуется совсем, либо только в том случае, если конфигурация выполняется на отдельном инженерном ПК.
- Система SICAM PAS предоставляет интегрированные функции тестирования и диагностики.
- Ее дружелюбный интерфейс, логика управления для оператора, ориентированность на Windows, ее открытая структура идеально подходят под требования пользователей.
- Система SICAM PAS разработана в соответствии с выбранными стандартами безопасности и отвечает современным требованиям, которые предъявляются к безопасному соединению.

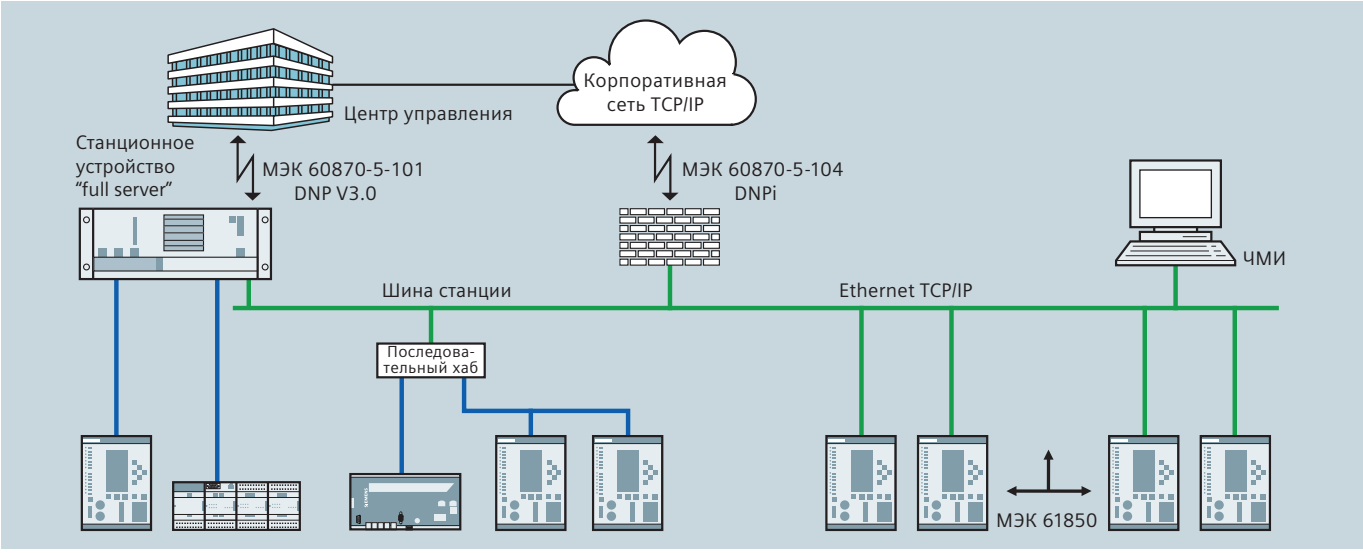


Рис. 6.3-11: **Типовая конфигурация SICAM PAS; интеллектуальные электронные устройства подключаются к станционному устройству по МЭК 61850 и различным другим протоколам (МЭК 60870-5-103, DNPV3.00 и т.д.). Станционное устройство обменивается данными с центром управления по протоколу МЭК 60870-5-101 и / или 104**

Архитектура системы
SICAM PAS работает на промышленном типовом оборудовании с операционной системой Microsoft Windows. Преимуществами данной платформы являются низкие аппаратные и программные затраты, простота эксплуатации, масштабируемость, гибкость и постоянно доступная поддержка. В распределенной системе с большими объемами данных в режиме реального времени приложения могут быть распределены между несколькими компьютерами, повышая, таким образом, производительность, готовность и надежность подключения.

Система баз данных хранит и систематизирует информацию (например, данные конфигурации, данные о состоянии администрирования и т.д.). Функция ведущего устройства («мастера») поддерживает большое количество известных протоколов для обмена данными с интеллектуальными электронными устройствами.

Функция нормализации данных SICAM PAS позволяет выполнять преобразования, например, фильтрацию измеренных значений, вычисление порогового значения и линейных характеристик.

SICAM SCC используется для процесса визуализации. Специально разработанное для применения в энергетике, это ПО помогает оперативному персоналу в оптимизации управления. ПО позволяет управлять различными объектами подстанции и предоставляет четкую и наглядную визуализацию рабочих состояний системы. Программное обеспечение SICAM SCC базируется на основе SIMATIC WinCC, одного из ведущих инструментариев по визуализации технологического процесса, который используются в промышленной автоматизации во всем мире.

Чтобы облегчить анализ аварии, записи аварийных событий извлекаются из устройств защиты и архивируются автоматически в процессе работы системы. Эта функция, в частности, поддерживается для стандартных протоколов МЭК 61850 и МЭК 60870-5-103, а также для PROFIBUS FMS (SIPROTEC 4) и SINAUT LSAS ILSA. Кроме того, регистраторы аварийных событий SIMEAS R также могут быть подключены к системе, а их детальные записи можно считать из устройства и заархивировать.

Для управления архивом записей аварийных событий используется программа SICAM PQ Analyzer с его подпрограммой Incident Explorer. Записи аварийных событий отображаются и оцениваются стандартно с помощью программы Comtrade View. Как вариант можно использовать ПО SIGRA 4 с дополнительными функциями.

Обмен данными
Интерфейсы устройств и коммуникационные протоколы
На подстанции, которая сконфигурирована и работает с SICAM PAS, можно использовать различные виды устройств РЗА, IED, контроллеров присоединения, измерительных преобразователей и регистраторов, а также устройства телемеханики широкого спектра производителей. SICAM PAS предлагает большой ряд коммерчески доступных коммуникационных протоколов для сбора данных от различных устройств через различные коммуникационные каналы. Дальнейшее расширение системы не вызовет никаких сложностей.

Рис. 6.3-12: **Контроллеры присоединения и устройства защиты SIPROTEC 4**

Рис. 6.3-13: **Контроллеры присоединения SIPROTEC 4 с местным управлением**

Протоколы
SICAM PAS поддерживает следующие коммуникационные протоколы (опционально):
- Связь с центром управления МЭК 60870-5-101, МЭК 60870-5-104, DNP V3.00, MODBUS, TG 8979, CDT
- Открытый обмен данными через OPC-сервер, OPC XML DA-сервер, OPC-клиент
- Связь с устройствами подстанции МЭК 61850, МЭК 60870-5-101, МЭК 60870-5-103, МЭК 60870-5-104, DNP V3.00, PROFIBUS FMS (SIPROTEC 4), PROFIBUS DP, MODBUS, SINAUT LSA-ILSA

Рис. 6.3-14: **Универсальная коммуникация с помощью SICAM PAS**

Доступные протоколы:
Эти коммуникационные протоколы и драйверы устройств можно получить в качестве опциональных дополнений к стандартному комплекту SICAM PAS.

- МЭК 61850 (Клиент):
  МЭК 61850 является коммуникационным стандартом для подключения устройств защиты и контроля присоединения и управления станцией на основе Ethernet. МЭК 61850 поддерживает прямой обмен данными между IED, позволяя, таким образом, организовывать оперативные блокировки независимо от станционного устройства управления, например.
- Ведущее устройство МЭК 60870-5-103:
  Устройства защиты, IED, контроллеры присоединений, измерительные преобразователи и регистраторы и устройства АРНТ многих производителей поддерживают протокол МЭК 60870-5-103 и могут быть подключены непосредственно к SICAM PAS.
- Ведущее устройство МЭК 60870-5-101:
  Протокол МЭК 60870-5-101 обычно используется для подключения устройств телемеханики. Поддерживается “симметричный” и “несимметричный” режим трафика.
- Автоматический коммутируемый доступ (Dial up) также поддерживается для подключения к подстанции по этому протоколу. SICAM PAS может устанавливать коммутируемое подключение к подстанции либо циклически, либо по мере необходимости (например, для выдачи команды). В свою очередь, подстанция также может устанавливать соединение циклически или в случае появления событий.
- Ведущее устройство МЭК 60870-5-104:
  Кроме того, также поддерживается подключение подстанций на основе TCP / IP протокола МЭК 60870-5-104.
- DNP V3.0 (Ведущий) – Уровень 3:
  Помимо протоколов МЭК -101 и -104, возможно использование другого стандартизированного протокола - DNP3.0, который поддерживается многими IED и устройствами телемеханики во всем мире. Устройства могут соединяться как последовательно, так и по протоколу TCP/IP (DNPi). Коммуникация на основе TCP/IP может работать с асимметричной процедурой шифрования, таким образом соответствуя требованиям безопасности.
- PROFIBUS DP (ведущий):
  PROFIBUS DP - это мощный протокол полевой шины. Например, он используется в промышленной автоматизации и дл автоматизации поставки электроэнергии и газа. PROFIBUS-DP служит интерфейсом для многофункциональных измерительных приборов, таких как SICAM P (I, U, P, Q, KM (cosφ) или, например, для подключения компонентов ET200 для сбора сообщений и для простых команд. Сообщения, например, могут быть получены от сигнальных контактов разъединителя.
- Ведущее устройство MODBUS
  Кроме PROFIBUS DP, в промышленности также известен протокол MODBUS. SICAM PAS позволяет подключать IED и устройства телемеханики по этому протоколу, как через последовательный порт, так и через TCP/IP-соединение.
- PROFIBUS FMS (SIPROTEC4).
  Большинство контроллеров присоединений SIPROTEC 4 и устройств релейной защиты могут быть подключены к станционному устройству SICAM PAS через PROFIBUS FMS.
- SINAUT LSA ILSA (ведущий)
  Коммуникация по протоколу SINAUT LSA ILSA - это особое преимущество SICAM PAS. Существующие центральные устройства LSA могут быть заменены без изменения конфигурации на уровне ячейки.

Подключение к диспетчерским центрам, распределенное подключение к технологическому процессу и его визуализация

- SICAM PAS работает на базе операционных систем Microsoft Windows. Это означает, что широкая поддержка Windows, которая предлагается для современных протоколов связи также доступна с SICAM PAS.
- SICAM PAS был задуман для простой и быстрой интеграции традиционных протоколов. Пожалуйста, свяжитесь с Siemens в случае возникновения вопросов об интеграции пользовательских протоколов.
- С целью соединения с центрами управления более высокого уровня поддерживаются стандартизированные протоколы телеуправления МЭК 60870-5-101, МЭК 60870-5-104 и DNP V3.00 (последовательный и по IP (DNPi)), а также MODBUS (последовательный и по IP), TG 8979 (последовательный) и CDT (последовательный). Безопасность или “безопасная коммуникация” приобретает все большее значение. Асимметричное шифрование позволяет установить безопасную связь с центром управления верхнего уровня по МЭК 60870-5- 104 и DNP V3.00 через TCP/IP. Для DNP V3.00 в качестве дополнительного механизма безопасности может использоваться аутентификация.
- Распределенное подключение к технологическому процессу на подстанции стало возможным благодаря SICAM PAS Device Interface Processor (DIP) (Процессор интерфейса устройства).
- SICAM PAS также можно устанавливать на компьютеры, объединенные в сеть по TCP/IP. В данном случае один компьютер выполняет задачу так называемого “Full Server”. В качестве DIP могут использоваться до шести других компьютеров. С помощью этой архитектуры система может быть адаптирована к топологии подстанции, а ее производительность также может быть увеличена.
- SICAM PAS позволяет использовать систему визуализации технологического процесса SICAM SCC для централизованного мониторинга и управления технологическими процессами. Для промышленного применения легко настроить интерфейс системы визуализации процесса посредством технологии OPC.
- SICAM PAS может быть сконфигурирован как сервер OPC или как клиент OPC. Переменные процесса SICAM PAS доступны при помощи приложения OPC сервер и могут быть считаны и изменены с OPC-клиентов, работающих либо на том же устройстве, либо на другом, но в пределах одной сети TCP/IP. Этот механизм позволяет, например, установить связь с другими системами визуализации процесса. OPC-сервер включен в базовую систему SICAM PAS. При необходимости функциональность сервера может быть расширена до OPC XML DA для связи с клиентами на базе других операционных систем, а также за пределами брандмауэра. С помощью функции OPC-клиента можно считывать и изменять данные из других OPC-серверов. Типичным применением может быть подключение программируемых контроллеров SIMATIC. OPC-клиент предлагается в качестве опции.
- SICAM Diamond может быть использован для мониторинга системных интерфейсов, для индикации состояния коммутационных аппаратов и актуальных измеренных значений, а также для другой диагностики. Помимо этих диагностических экранов без возможности конфигурирования SICAM Diamond также поддерживает ведение журналов событий и тревог, а также визуализацию процесса в виде однолинейных схем, и таким образом может использоваться в качестве простого человеко-машинного интерфейса. Сообщения и измеренные значения могут быть заархивированы в файлы (ежемесячно). С одной стороны, SICAM Diamond состоит из Diamond Сервера, который подключается непосредственно к SICAM PAS и подготавливает данные для доступа с помощью Веб-браузера, а с другой стороны - из SICAM Diamond клиента, который выступает в качестве интерфейса оператора, используя Microsoft Internet Explorer. За исключением Microsoft Internet Explorer на компьютерах Веб-клиентов не нужно устанавливать

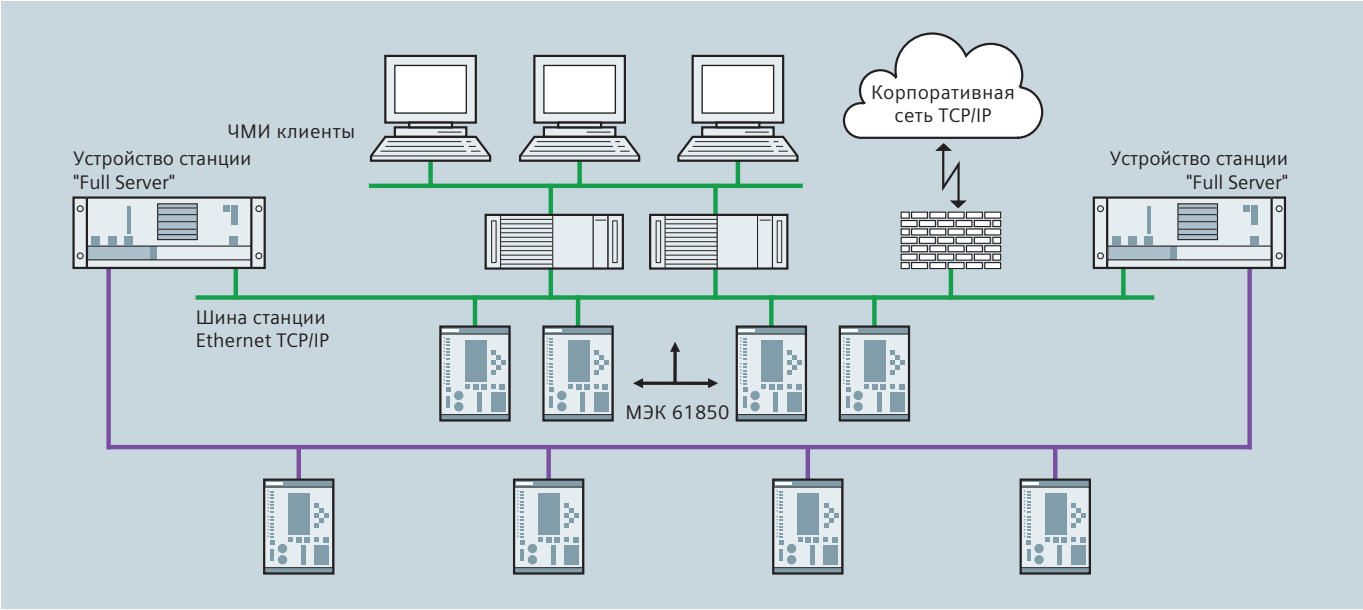


Рис. 6.3-15: **Типичные конфигурации с резервированием: Устройство станции и ЧМИ сервер основаны на избыточной структуре, чтобы повысить стабильность**

дополнительное ПО. SICAM Diamond позволяет получить доступ к архивным файлам и записям аварийных событий через World Wide Web. Архивные файлы могут быть сохранены на Веб-клиенте для анализа, например с помощью Microsoft Excel. Записи аварийных событий могут быть визуализированы непосредственно в Internet Explorer.

Дальнейшие аспекты управления станцией
В течение, например, профилактических работ или по другим причинам оперативного характера, обмен информацией с центрами управления или самой подстанцией может быть заблокирован с помощью функций блокирования телемеханики и блокировки ячейки. Функция блокировки телемеханики также может быть настроена для конкретных каналов с целью предотвратить при эксплуатации передачу информации в определенный центр управления, в том время как информация будет передаваться в другие центры управления. Функции блокировки ячейки и блокировки телемеханики действуют и на сбор сигналов, и на выдачу команд. Права на выполнение коммутационных операций, привязанные к конкретным каналам, позволяют различать местное управление (SICAM SCC) и дистанционное управление, а также различать команды от разных центров отправления. Для этих трех функций можно дополнительно объявить исключения, так что, например, некоторые сообщения будут передаваться несмотря на активную блокировку, либо специализированные команды будут обрабатываться и выдаваться без учета прав на выполнение коммутационных операций. В то время как для IED обычно применяется проверка 1-из-n, т.е. одновременно принимается и выдается только одна команда, в части системы управления подстанциями на базе SICAM PAS поддерживается проверка m-из-n. Это помогает определить, сколько команд одновременно можно обработать для всех IED. Выключателями можно управлять с контролем синхронизма и без.

Задачи автоматизации
могут быть сконфигурированы в SICAM PAS с помощью схем CFC (Continuous Function Chart), которые соответствуют МЭК 61131. В этом редакторе задачи конфигурируются графически, путем организации связей между функциональными блоками. SICAM PAS поставляется с обширной библиотекой функциональных блоков CFC, разработанных и протестированых в системе специально для автоматизации в энергетике. Области применения - от создания простых групповых сообщений до организации оперативных блокировок и сложных переключающих последовательностей. Создание последовательностей поддерживается редактором SFC (Sequential Function Chart).

Дополнительно можно приобрести лицензии на предварительно настроенные и протестированные приложения, такие как частотная разгрузка, мониторинг трансформаторов и параметров элегаза (SF_6). Помимо специальных функциональных компонентов и блоков CFC в комплект поставки также входят графические объекты для мнемокадров ПО SICAM SCC.

Резервирование
SICAM PAS имеет полноценные функции резервирования для повышения надежности системы АСУ ТП:
- Сервер среднего уровня может использоваться в дублированной конфигурации (“резервирование системы”)
- Коммуникация с IED и устройствами телемеханики (RTUs) можно резервировать (“резервирование интерфейсов”)
- Подчиненные устройства можно резервировать (резервирование на уровне присоединений)
- Также поддерживаются устройства, которые разработаны для коммникации только с одним ведущим устройством (например, только с одним последовательным интерфейсом).

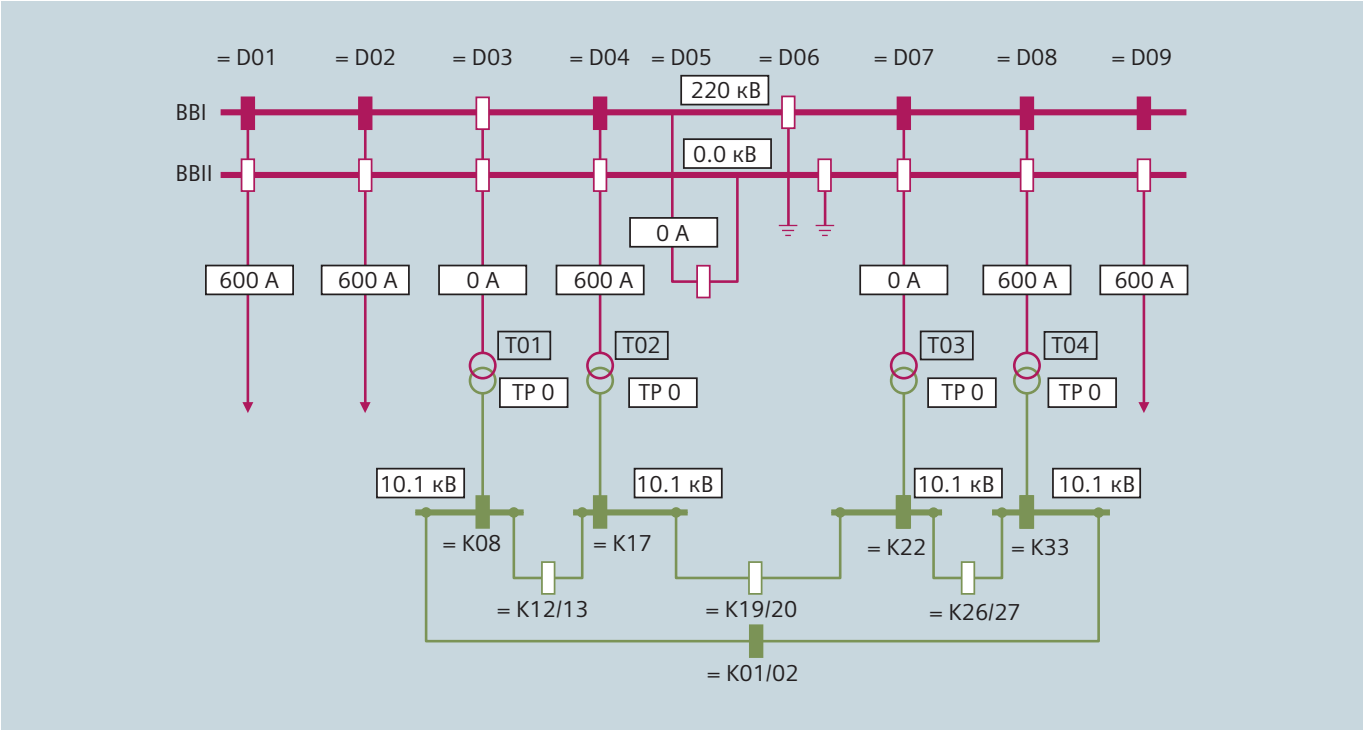


Рис. 6.3-16: **Процесс визуализации с помощью SICAM SCC**

Отдельные приложения (коммуникационные протоколы) работают независимо друг от друга в режиме горячего резерва, т.е. переключение, например, клиента МЭК 61850 с одного сервера среднего уровня на другой из-за нарушения связи не повлияет на связь с центром управления, которая остается на первом сервере без перерыва в коммуникации. Кроме более высокой стабильности в непострадавших участках связи, переключение на резервные компоненты происходит в течение очень короткого времени (в зависимости от приложения и конфигурации, между 250 мс и макс. 3 с). Настройки в процессе работы, такие как блокировка ячейки/телемеханики, права на переключение, а также маркировки команд в SoftPLC для оперативного управления функциями автоматизации, при работе хранятся одновременно на обоих серверах. Текущие настройки также действительны и после переключение на резервное оборудование. SICAM SCC взаимодействует одновременно с обоими резервируемыми серверами. Структура с резервированием также возможна для визуализации процесса с помощью SICAM SCC и архивирования записей аварийных событий с помощью SICAM PQ Analyzer, как показано на рис. 6.3-15.

Объем информации

Объем информации для обработки в SICAM PAS, по сути, определяется следующими факторами:

- Концепция компьютерной сети (несколько компьютеров в сети или система с одной станцией)
- Данные о производительности используемого аппаратного обеспечения
- Данные о производительности сети
- Размер базы данных (RDBMS)
- Скорость изменения значений

Распределенная система PAS с использованием Full server до 6 DIP поддерживает максимум 350 IED и 20 000 точек данных.

Процесс визуализации с помощью SICAM SCC

При работе подстанции SICAM PAS используется для конфигурирования и в качестве мощного концентратора данных. SICAM SCC выступает в качестве системы визуализации процесса. Несколько независимых серверов SICAM SCC могут быть подключены к одной системе SICAM PAS. Также возможно подключение резервируемых серверов. SICAM SCC поддерживает подключение нескольких систем SICAM PAS. В списках сигналов содержатся оригинальные метки времени с разрешением в мс, которые генерируются устройствами. С каждым сигналом также предоставляется ряд дополнительных данных, информация о причинах (спонтанно, по команде), источники событий (близкий, локальный, дистанционный) и др. Помимо сигналов процесса, в журнале также регистрируются команды. Элементы управления IndustrialX используются для управления и мониторинга коммутационных аппаратов. Эти объекты КА поддерживают четыре различные формы отображения (МЭК, DIN, SINAUT LSA, SICAM) для выключателей и разъединителей. Также имеется возможность создавать растровые изображения (определяется для конкретного проекта) для изображений коммутационных аппаратов и связывать эти изображения с объектами. Для большей информативности поддерживается не только номинальное изображение и спонтанные мигания, но также отображение различных состояний устройств и связи с ними (например, актуально / не актуально, блокировка фидера и телемеханики и др.). Измеренные значения и состояния коммутационных аппаратов, которые обновляются непостоянно по причине, например, неисправности устройства, сбоя связи или блокировки фидера, могут быть обновлены непосредственно через панель управления с помощью SICAM SCC (рис. 6.3-16).

В сочетании со станционным устройством SICAM PAS, коммутационными аппаратами можно управлять либо непосредственно, либо с помощью операции “select before operate (выбор перед исполнением)”. При визуализации процесса в виде однолинейных схем для элементов топологии можно использовать различные цветовые схемы. SIMATIC Web - дополнение к WinCC - можно использовать для управления и мониторинга через Интернет. SICAM Valpro можно использовать для оценки измеренных значений и данных счетчиков. Valpro позволяет не только выводить архивные значения в графическом или табличном виде, но также предоставляет возможность последующей оценки функций, такие как минимальные, максимальные и средние значения (каждый час или каждый день). Для устройств РЗА, подключенных по протоколу МЭК 61850, МЭК 60870-5-103, а также PROFIBUS FMS (SIPROTEC 4) или SINAUT LSA ILSA, записи аварийных событий могут извлекаться и архивироваться автоматически. SICAM PQ Analyzer со своим компонентом Incident Explorer используется для анализа записей аварийных событий.

SICAM SCC V7.0 SP1 может также использоваться в качестве системы визуализации процесса для
- Устройств SICAM AK, TM, BC, CMIC, EMIC и MIC
- Устройств МЭК 61850 (например, SIPROTEC 4)

SICAM SCC для SICAM AK, TM, BC, CMIC, EMIC и MIC
Для коммуникации с SICAM AK, TM, BC, EMIC и MIC можно использовать протокол МЭК 60870-5-104 или МЭК 61850. И SICAM TOOLBOX II V5.0, и SICAM SCC V7.0 SP1 поддерживают обмен данными конфигурации.

SICAM SCC для устройств со протоколом связи МЭК 61850
Устройства, обменивающиеся данными по протоколу МЭК 61850, могут подключаться непосредственно к SICAM SCC. Для этой цели импортируются файлы SCL (SCD, ICD, CID). Файлы создаются, например, с помощью системного конфигуратора DIGSI 4.

SICAM SCC для SICAM PAS, SICAM AK, TM, BC, CMIC, EMIC и MIC и устройств МЭК 61850
С помощью SICAM SCC V7.0 SP1 можно реализовать общую систему управления и наблюдения для систем SICAM PAS, SICAM AK, TM BC, CMIC, EMIC и MIC и для устройств МЭК 61850.

SICAM SCC работает на базе программного обеспечения SIMATIC WinCC - мировом лидере среди систем визуализации процесса. SICAM SCC является программным расширением, позволяющим контролировать и управлять процессами систем высокого и среднего напряжения с одной станции. Его особенности:
- Многоязычность
- Поддерживаются функции мониторинга и управления. Помимо визуализации в виде графических объектов поддерживаются также списки событий и тревог, архивы событий и данных процесса, создание отчетов и ведение журналов.
- Простая и эффективная конфигурация

Конфигурация при помощи диалогов, «помощников» и расширенных библиотек.
- Последовательная масштабируемость системы в соответствиями с требованиями: от однопользовательской станции до клиент/серверных решений, в том числе с возможностью подключения через Интернет.
- WinCC/Redundancy - повышает надежность системы с резервированием станций WinCC или серверов мониторинга, контролирующих друг друга, что обеспечивает работоспособность системы и обеспечение полного сбора данных.
- Открытые стандарты для легкой интеграции
  – С помощью внешних инструментов архивные данные можно получить с помощью серии открытых интерфейсов (например, SQL и ODBC) для дальнейшего редактирования.
  – Независимо от их производителя связь с контроллерами нижнего уровня (или с такими приложениями, как MS Excel) возможна через OPC (OLE for Process Control).
- Visual Basic для Приложений (VBA), VBScript или ANSI-C создают идеальные возможности для создания оптимальных решений под конкретный проект.
- Расширяемость при помощи функций и дополнений, таких как
  – WinCC/Dat@Monitor служит для просмотра и оценки текущего состояния процесса и архивных данных на офисных ПК, используя для этого стандартные инструменты, такие как Microsoft Internet Explorer или Microsoft Excel
  – WinCC/Web Navigator представляет собой опцию SIMATIC WinCC для управления и мониторинга системы через Интернет, Интрасеть компании или LAN
  – WinCC/ Connectivity Pack (Пакет подключения) поддерживает два сервера OPC HDA и A&E и WinCC OLE-DB.
  – Система управления сигнализацией ACC
  С помощью системы управления сигнализацией ACC, сообщения от системы сигнализации WinCC могут быть автоматически пересылаться на различные радиоприемники.

Обзор философии оперативного управления и пользовательского интерфейса
Пользовательский интерфейс SICAM PAS основан на обычной технологии Windows, что позволяет пользоваться привычными пользовательскими интерфейсами Windows, как при настройке системы, так и в ходе текущих операций. Система различает режимы конфигурации и эксплуатации подстанции. В SICAM PAS эти две задачи надежно разделяются двумя независимыми программами. SICAM PAS UI - программа конфигурации (рис. 6.3-17), используется для создания и редактирования конфигурации проекта. Для увеличения восприятия на экран выводятся четыре экрана:

- Configuration
- Mapping
- Topology
- Templates.

Общей чертой всех экранов является то, что они имеют окно проводника, которое показывает конфигурацию системы в виде наглядной древовидной структуры. Как и в проводнике Windows, здесь также можно открыть отдельные уровни этой структуры и работать в них. Между тем, остальные уровни могут быть закрыты, чтобы не путать пользователя. В зависимости от текущего уровня навигации и выбранного компонента в контекстном меню (правая кнопка мыши) SICAM PAS предлагает именно те функции программы, которые в настоящее время могут потребоваться.

Операции выполняются поэтапно согласно заданному порядку в окне данных справа. Здесь можно изменять параметры выбранных элементов системы. При этом ориентиром является топология системы согласно технологическому процессу. Пользовательский интерфейс очень прост и структурирован в соответствии с определенными задачами и интуитивно понятен. Пользовательский интерфейс облегчает процесс редактирования, путем отображения описания параметров и сообщений при некорректном вводе параметров. В табличном виде для назначения сигналов (Mapping) и изменения топологии (Topology) внесение изменений облегчается за счет обширных механизмов сортировки и фильтрации, множественного выбора и перетаскивания (Drag & Drop).

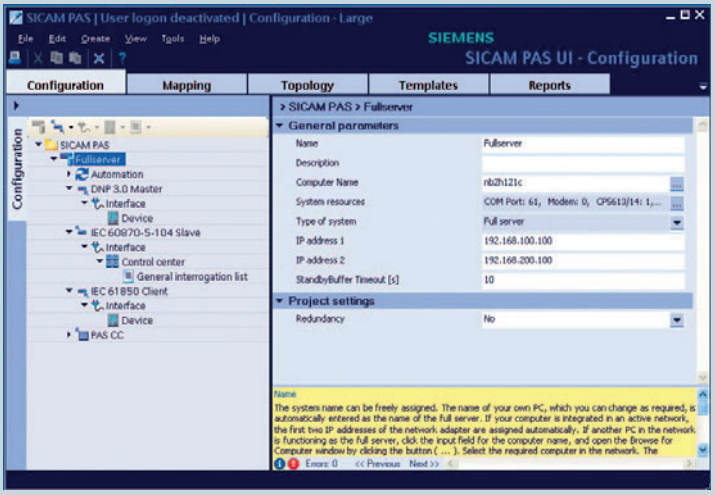


Рис. 6.3-17: **SICAM PAS UI – Configuration (Конфигурация)**

Для обеспечения целостности данных и во избежание дублирования ввода данных, SICAM PAS UI предоставляет обширные функции импорта и экспорта для обмена данными конфигурации, например, с контроллером присоединения или системой визуализации. Для создания новых проектов в PAS и для изменения структуры существующих проектов необходимо приобрести лицензию на использование “SICAM PAS - Configuration” (Конфигурация). Для доступа к чтению данных параметрирования, а также для изменения параметров, программа может быть использована на основании лицензии Runtime (рабочей среды). В SICAM PAS интегрированы все необходимые функции. Помимо рабочей среды (Runtime), ПО “SICAM PAS UI – Configuration“ (Конфигурация) всегда устанавливается на станционном компьютере. Таким образом, конфигурация программы всегда соответствует базе данных проекта, а изменения в настройки проекта можно вносить в любое время, независимо от информации на отдельных инженерных компьютерах.

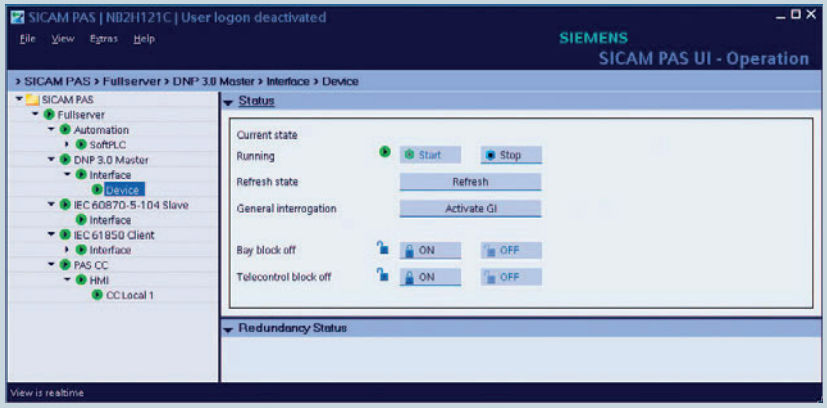


Рис. 6.3-18: **SICAM PAS UI – Operation (Эксплуатация)**

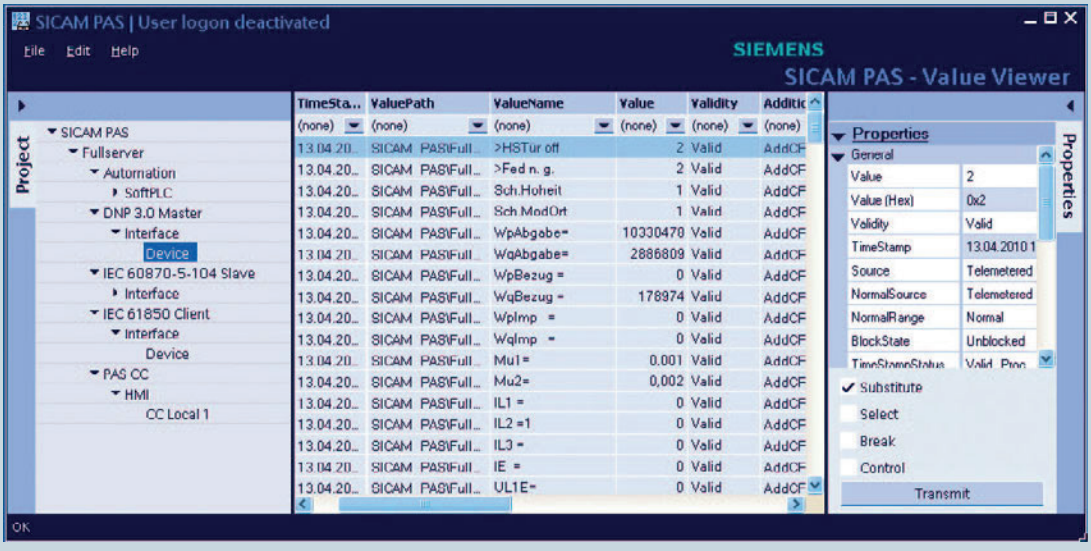


Рис. 6.3-19: **SICAM PAS Value Viewer (Просмотр значений)**

6.3.4 SICAM Station Unit (Станционное устройство)

Аппаратные компоненты SICAM Station Unit
Стандартное промышленное станционное устройство SICAM Station Unit представляет собой надежную, интегрированную аппаратную платформу для ПО SICAM PAS. В ее основе лежит конструктив для монтажа в стойку 19". SICAM Station Unit (рис. 6.3-21) состоит из следующих аппаратных компонентов:

- Дополнительные платы расширения (заказываются дополнительно)
- Модули питания (в соответствии с кодом заказа)
- Блок управления питанием
- 2 USB интерфейса (V2.0) на задней панели (для аппаратного ключа лицензии и флэш-накопителя)
- Три различных модуля ЦП
  - Одноядерный ЦП: классическая версия
    Рекомендуется для использования с более старыми версиями SICAM PAS (например, V5.11) и стандартных конфигураций автоматизации подстанций
  - Двухъядерный ЦП + RAID - оптимизирован для контроля качества электроэнергии
    Рекомендуется для использования приложений контроля качества электроэнергии
  - Двухъядерный процессор - лучшее быстродействие для SICAM PAS
- SDRAM, DDR2, 4 ГБ
- 2 флэш-карты, по 4 ГБ каждая
- Графические характеристики: 2048 x 1536 пикселей, 16.7 млн. цветов
- Интерфейс VGA для монитора

Рис. 6.3-21: **SICAM Station Unit: промышленное оборудование с высокой степенью надежности**

- 4 USB интерфейса (V2.0), например: для клавиатуры / мыши
- 2 RJ45 интерфейса для локальной сети (10 / 100 / 1000BASE-t Gigabit Ethernet)
- 2 COM интерфейса
- Модуль подключения для соедининения с блоком питания и выключателем ВКЛ / ВЫКЛ

SICAM station unit

SICAM PAS station unit V2 является промышленным решением в форм-факторе 19", без вентиляторов, без вращающихся компонентов, 4 внешних USB, 2 внутренних USB, 2 Gbit Ethernet RJ-45, 1 последовательный порт, светодиодная индикация.

Мониторинг с помощью SNMP, аппаратный сторожевой таймер, контроль температуры/напряжения, live-контакты.
Windows XP Embedded service pack 2
SICAM PAS заказывается отдельно.

Блок питания
Основной блок питания
DC 24 – 60 В
AC/DC 110 – 230 В
Дополнительный блок питания
без блока питания
DC 24 – 60 В
AC/DC 110 – 230 В

Тип ЦП
Модуль с одноядерным ЦП
(Celeron® M 440, 1.86 ГГц), 2 x 4 ГБ CF, 2 ГБ RAM, image SU V2 20, backup DVD
Модуль с двухъядерным ЦП
(Core Duo T2500, 2 ГГц), 2 x 4 ГБ CF, 2 ГБ RAM, image SU V2 20, backup DVD
Модуль с двухъядерным ЦП и RAID-массивом
(Intel Core 2 Duo L7500 1.6 ГГц), 2 x 4 ГБ CF, 4 ГБ RAM, Image SU V2 20,
Backup DVD, вкл. RAID-контроллер и система RAID-1, вкл. жесткие диски 2x100 ГБ

Платы ввода/вывода
Нет
Одна плата ввода/вывода (32 контакта)
Две платы ввода/вывода (64 контакта)

PCI-адаптер
без PCI-адаптера
с PCI-адаптером

Расширитель COM-портов
Без расширителя,
8 портов, включая кабель

Расширенная гарантия
Стандартная гарантия 2 года
Гарантия на третий год

Рис. 6.3-22: **Обзор доступных пакетов для станционного устройства**

Дополнительные модули:
- Внешний USB-DVD-привод для записи образа DVD
- Внешний жесткий диск USB для резервного копирования
- USB-флэшка
- PCI-адаптер для максимум 4 PCI-карт
- Платы расширения COM-порта
- Карта PROFIBUS
- GPS / DCF-77 приемник сигнала времени, выпускаемый Hopf
- До 64 дискретных входов/выходов

6.3.5 Примеры Конфигурации

Конфигурация системы для средних и больших объектов
Если подстанция состоит из 30 .. 150 устройств контроля присоединений, SICAM PAS и SICAM SCC должен выполняться на отдельных ПК. Пример ниже иллюстрирует связь устройств контроля присоединений со станционным устройством SICAM (рис. 6.3-23).

Конфигурация системы для больших и очень больших объектов
Для больших и очень больших объектов, имеющих до 350 устройств на уровне присоединений, распределенная система SICAM PAS строится на основе Full server и до 6 DIP. SICAM SCC устанавливается на отдельном компьютере (рис. 6.3-24).

Несколько Full server SICAM PAS, подключенных к ЧМИ
Пример иллюстрирует ЧМИ SICAM SCC с двумя станционными устройствами SICAM, к которым подключены устройства на уровне присоединений. Данная конфигурация системы может использоваться в том случае, когда нет необходимости в использовании распределенного ЧМИ и обеспечении высокой надежности работы SICAM SCC.

Резервный ЧМИ
Подключение нескольких Full server к резервному ЧМИ SICAM SCC представляет собой другой вариант конфигурации. Такая конфигурация увеличивает эксплуатационную надежность системы (рис. 6.3-26).

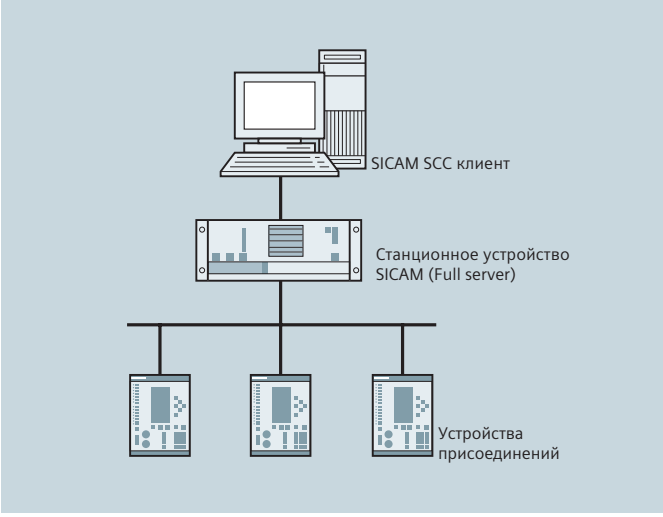


Рис. 6.3-23: **Подключение устройств присоединений к станционному устройству SICAM.**

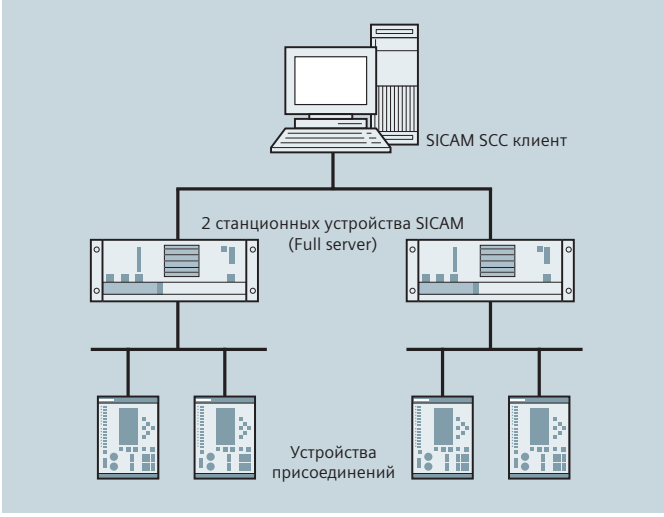


Рис. 6.3-25: **SICAM SCC с несколькими станционными устройствами SICAM**

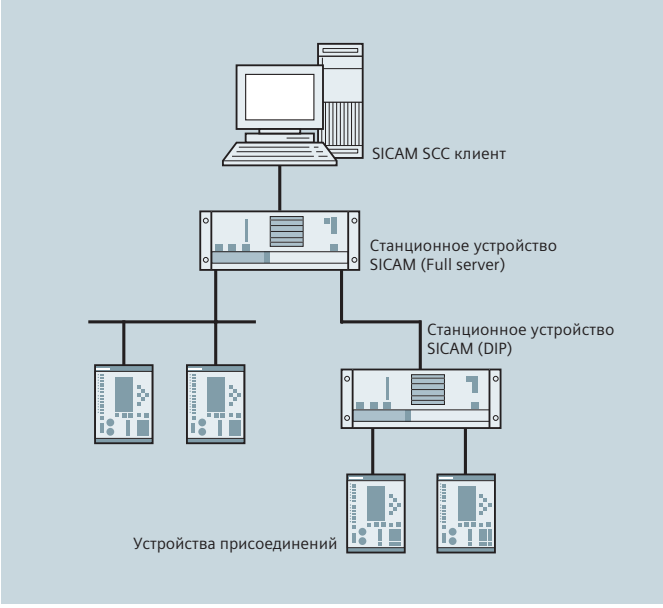


Рис. 6.3-24: **Подключение устройств присоединений в распределенной системе**

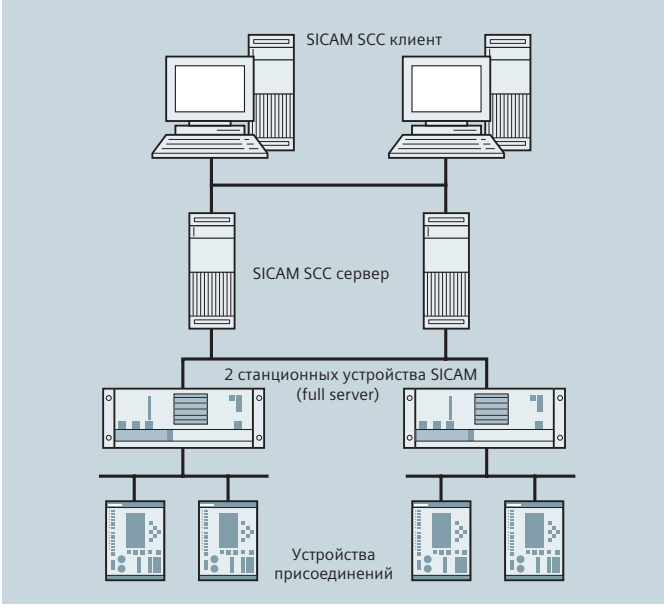


Рис. 6.3-26: **Резервируемая система в конфигурации клиент/сервер**

Распределенная система с Full server и DIP
В примере показана распределенная система SICAM PAS. Она состоит из Full server и DIP и осуществляет связь с центром управления посредством TCP/IP. Устройства контроля присоединений подключаются к распределенной системе при помощи Ethernet и последовательных интерфейсов (рис. 6.3-27).

Резервируемое подключение устройств контроля присоединений и системы управления подстанцией
SICAM PAS поддерживает резервные подключения устройств управления присоединением. Пример иллюстрирует следующую конфигурацию:

- Резервируемые Full server
- Резервируемые SICAM SCC, реализованные в архитектуре сервер/клиент
- Подключение устройств контроля присоединений к двум станциям SICAM PAS

Для выполнения резервного подключения устройств контроля присоединений, эти устройства должны иметь два интерфейса. Резервирование устройств контроля присоединений, имеющих один интерфейс, также можно выполнить путем подключения их через сплиттер (рис. 6.3-28).

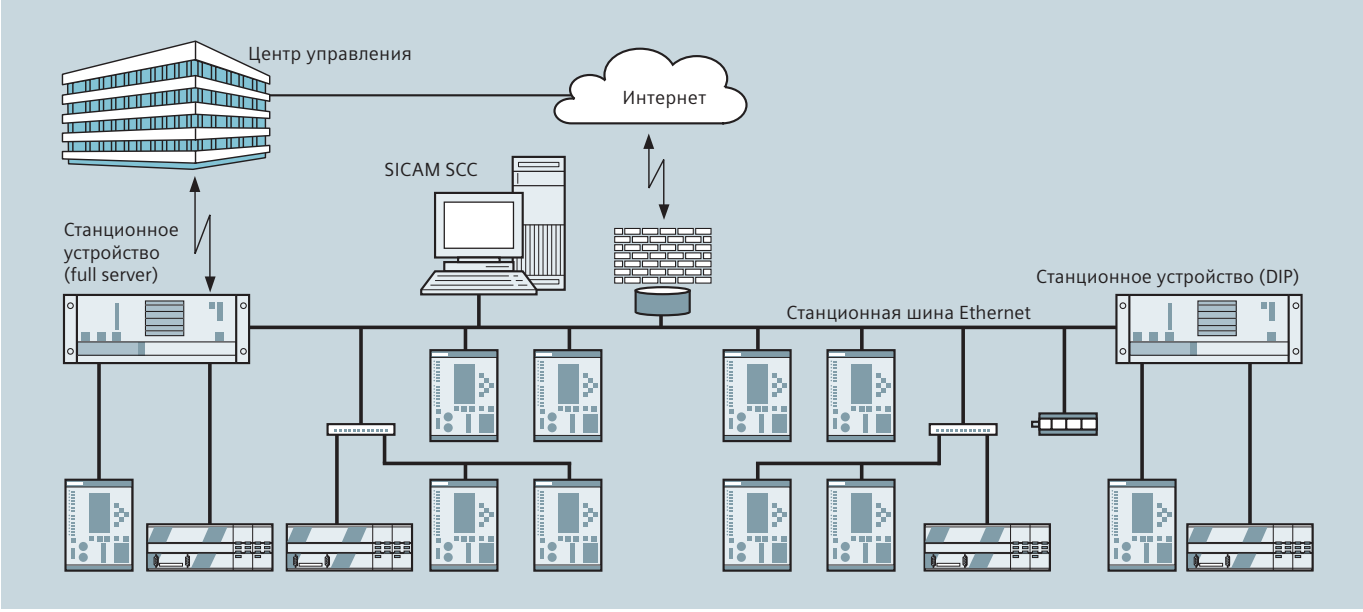


Рис. 6.3-27: **Пример распределенной системы SICAM PAS с Full server и DIP**

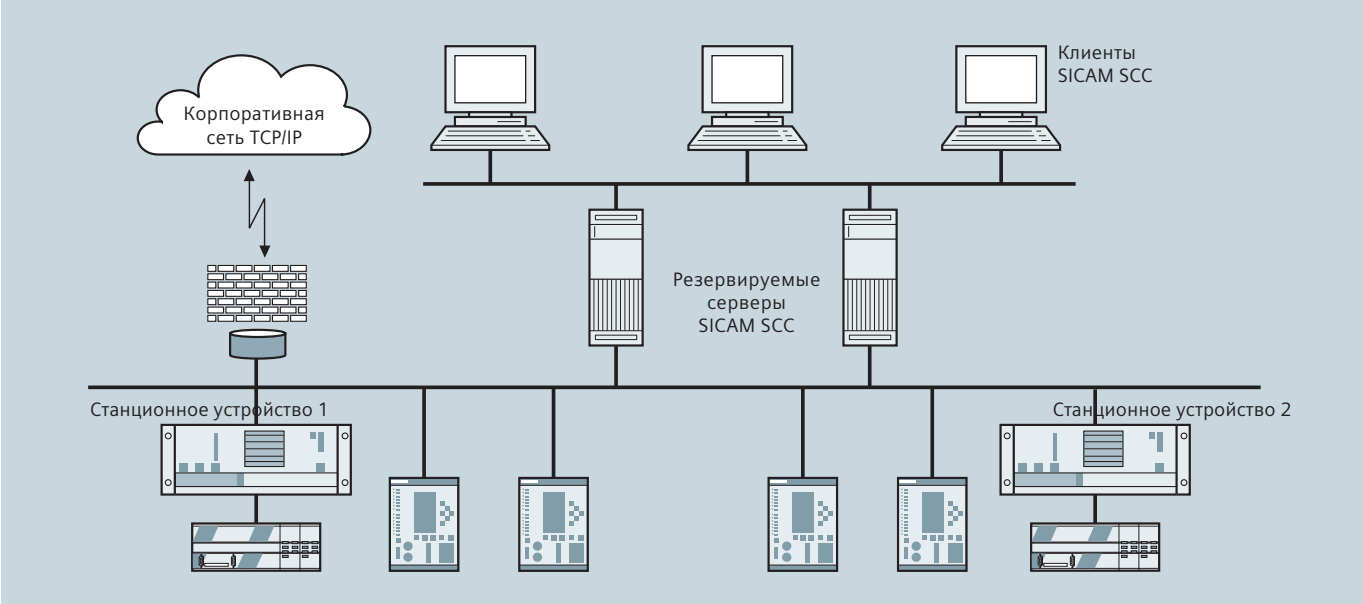


Рис. 6.3-28: **Конфигурация станционной шины SICAM PAS с резервированием подключения устройств контроля присоединений и резервированием SICAM SCC**

6.3.6 SICAM AK, TM, BC, EMIC и MIC

Универсальная функциональность и высокая гибкость имеют фундаментальное значение для современной системы дистанционного управления. Линейка контроллеров SICAM RTU предоставляет полный перечень вариантов коммуникации, автоматизации и интерфейсов технологического процесса. Различные компоненты SICAM AK, TM, BC, EMIC и MIC предлагают оптимальную масштабируемость в отношении количества интерфейсов и сигналов. Тем не менее, эти компоненты основаны на одной системной архитектуре и технологии и обрабатываются теми же инженерными средствами (SICAM TOOLBOX II).

- SICAM AK - крупный компонент автоматизации для гибкого сочетания коммуникационных интерфейсов, автоматизации и входов/выходов. Это позволяет оптимально использовать его в качестве станционного контроллера или устройства телемеханики, шлюза или конечного устройства, с локальными или распределенными входами/выходами. Универсальные концепции резервирования являются еще одним плюсом этих компонентов.
- SICAM TM - это решение для компактных приложений. Этот компонент обеспечивает до 4-коммуникационных интерфейсов, а также функции автоматизации и интерфейс технологического процесса на распределенных терминальных модулях ввода/вывода. Все модули легко монтируются на стандартную DIN-рейку. Терминальные модули могут быть разнесены на расстояние до 200 м с подключением по оптоволокну.
- SICAM BC - это надежный компонент для высочайших требований ЭМС и прямого подключения сигналов до 220 В постоянного тока. Высокая коммутационная способность и прямое подключение измерительных трансформаторов плюс возможность расширения TM модулями обеспечивают гибкое применение в централизованных и распределенных конфигурациях. Имеет до трех коммуникационных интерфейсов и функции автоматизации.
- SICAM MIC - это небольшое устройство сбора информации, которое предлагается либо с последовательным интерфейсом согласно МЭК 60870-5-101 или Ethernet-интерфейсом согласно МЭК 60870-5-104. К нему можно подключить до 8 терминальных модулей входов/выходов. Для удобства параметрирования в систему интегрированы упрощенные функции автоматизации и Веб-сервера.
- SICAM EMIC, новое устройство автоматизации. Благодаря своему функционалу с 3 интерфейсами, SICAM EMIC имеет много различных возможностей для применения. Его можно использовать как обычное устройство телемеханики с любым видом связи с центром управления. Если система SICAM EMIC не предлагает достаточный уровень масштабирования сигналов, можно использовать несколько устройств. Свободно программируемые прикладные программы для локальных функций управления дополняют универсальность SICAM EMIC.

Все компоненты семейства SICAM RTU ACP (AK, TM, BC) используют одинаковые коммуникационные модули, и поэтому они могут использовать все доступные протоколы. В дополнение к стандартам МЭК 60870-5-101 / 103 / 104 и МЭК 61850 (клиент и/или сервер), также в дополнении к различным устаревшим протоколам для подключения сторонних устройств доступны DNP 3.0 и Modbus.

Другой общей чертой всех компонентов является интегрированная флэш-карта, на которой хранятся все параметры и прошивки. Теперь замена компонента выполняется очень просто, для чего нужно только перенести карту памяти в новое устройство.

Программный инструмент SICAM TOOLBOX II обладает всеми функциями для интегрированных комплексных инженерных проектов и работает со всеми компонентами SICAM AK, TM, BC, EMIC и MIC. Он поддерживает все этапы настройки устройства, включая создание функций автоматизации. Обмен данными с DIGSI и PAS UI подразумевает единственную точку входа для инженерных данных и позволяет избежать многократного ручного ввода данных для смешанной конфигурации.

При использовании SICAM AK, TM, BC, EMIC и MIC вы всегда получаете необходимую производительность: Модульные многопроцессорные концепции развиваются с каждой модернизацией системы. Распределенная архитектура и принцип "эволюционного развития" обеспечивают предварительные условия для будущей системы с ожидаемым большим сроком службы и высоким уровнем безопасности инвестиций. Системы SICAM AK, TM, BC, EMIC и MIC несут опыт более 30 лет работы в области телемеханики и автоматизации; множество различных реализованных проектов только подтверждает гибкость применения.

Компонент автоматизации SICAM AK

Долговечность благодаря непрерывности развития и инновациям
Особенностью SICAM AK является высокая функциональность и гибкость за счет внедрения инновационных и надежных технологий на основе надежной платформы этих компонентов.

Для этого концепция системы ACP (Automation, Control and Protection - Автоматизация, Управление и Защита) создает технологические предпосылки. Сбалансированная функциональность позволяет гибко сочетать решения по автоматизации, телемеханике и коммуникации. В сочетании с масштабируемой производительностью и различными вариантами резервирования, достигается оптимальная адаптация к соответствующим требованиям технологического процесса (рис. 6.3-29).

SICAM AK, таким образом, идеально подходит для автоматизации со встроенной функцией телемеханики в качестве:
- Устройства телемеханики или станционного контроллера
- Устройства автоматики с автономными функциональными группами
- Узла данных, устройства управления подстанцией, внешнего интерфейса или шлюза
- С локальной или удаленной периферией
- Для установки на задней панели или в 19-дюймовой стойке

SICAM AK - перспективный продукт
Универсальная коммуникация:
- До 66 последовательных интерфейсов согласно МЭК 60870-5-101 / 103
- Коммуникация LAN / WAN согласно МЭК 60870-5-104
- Коммуникация по локальной сети согласно МЭК 61850
- Возможно применение различных сторонних протоколов

Удобство параметрирования с SICAM TOOLBOX II:
- Объектно-ориентированная модель данных
- Создание программ автоматизации согласно МЭК 61131-3
- Все инженерно-технические задачи также могут осуществляться удаленно

Принципе «включил и работай» (plug and play) для запасных частей:
- Хранение параметров и прошивки на флэш-карте
- Замена запасных частей не требует дополнительной загрузки с SICAM TOOLBOX II

Открытая архитектура системы:
- Модульная, открытая и технологически независимая структура системы
- Системная совместимость при дальнейшем развитии и, следовательно, инновационный и перспективный продукт

Масштабируемое резервирование:
- Резервирование компонентов
- Дублирование процессов / элементов связи

Модули ввода/вывода - SICAM TM, EMIC и MIC:
- Прямое подключение приводов и датчиков с поперечным сечением провода до 2.5 мм^2
- Могут быть разнесены на расстояние до 200 м
- Дискретные входы/выходы, в том числе и для постоянного напряжения 110 / 220 В
- Монтаж на DIN-рейку 35 мм

Универсальные коммуникационные возможности

При использовании SICAM AK для локальной и удаленной связи могут использоваться различные физические среды (проводные соединения, оптоволокно, радио, коммутируемый доступ, GSM, GPRS, WAN, LAN, полевые шины и др.)

Путем простой установки модулей последовательного интерфейса в SICAM AK можно использовать в общей сложности до 66 коммуникационных интерфейсов, при этом разные индивидуальные протоколы могут быть использованы для каждого интерфейса.

Стандартные коммуникационные протоколы согласно МЭК 60870-5-101 / 103 / 104 и МЭК 61850.

Кроме стандартных протоколов существует также множество сторонних протоколов (DNP 3.0, Modbus и т.д.).

Простой процесс взаимодействия
В дополнение к централизованному сбору сигналов и выдаче команд в пределах монтажной корзины SICAM AK можно использовать периферийные элементы SICAM TM, EMIC и MIC (рис. 6.3-30).

Существенной особенностью периферийных элементов SICAM TM, EMIC и MIC является возможность эффективного и простого взаимодействия при обработке сигналов. Это происходит на так называемых модулях входов/выходов, которые имеют прочный корпус, надежные контакты и электронные компоненты. Модули входов/выходов собираются в ряд. Соединение контактов модулей осуществляются пристегиванием к друг другу без каких-либо дополнительных манипуляций. Таким образом, каждый модуль остается взаимозаменяемым.

Рис. 6.3-29: **SICAM AK**

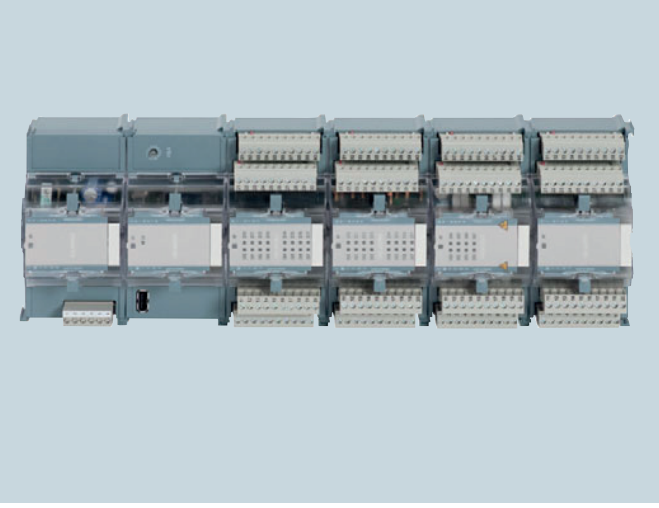


Рис. 6.3-30: **SICAM TM, EMIC и MIC периферийные элементы**

Удобно организованная передняя панель со светодиодной индикацией предоставляет ясную информацию о работе устройства. Структура клеммных колодок позволяет подключить датчик / привод без использования промежуточных клеммников проводом с сечением до 2.5 мм^2. Модули для дискретных входов и выходов до 220 В DC предоставляют дополнительные возможности по экономии на уровне интерфейса.

В зависимости от требований модули входов/выходов можно устанавливать или на электрическую, или на оптическую шину, через которые получение периферийных сигналов может осуществляться как можно ближе к источнику сигналов. Таким образом, длины кабелей можно свести к минимуму.

Простота проектирования
Важным аспектом в целом для учета экономической составляющей являются затраты, которые возникают при установке, эксплуатации и обслуживании системы.

Для этих целей используют надежную систему SICAM TOOLBOX II.
- Объектно-ориентированная модель:
  Объектно-ориентированная модель позволяет также использовать одни и те же характеристики однотипных первичных устройств и эксплуатационного оборудования (например, разъединителей, предохранителей, фидеров и т.д.) для их конфигурации. При параллельной работе в средствах проектирования для электрических схем всего предприятия обеспечивается согласованность и однотипность. Благодаря этому в проектировании имеет место процесс рационализации.
- Программы автоматизации согласно МЭК 61131-3:
  Прикладные программы автоматизации создаются с помощью CAEx plus согласно МЭК 61131-3, стандарта, общепринятого и признанного на рынке. В результате чего время обучения персонала заметно сокращается.
- Все инженерно-технические задачи, от системы диагностики до онлайн-тестирования, могут также осуществляться дистанционно с помощью SICAM TOOLBOX II. Для этого не требуется отдельный канал связи между SICAM TOOLBOX II и SICAM AK: Можно использовать любой доступный коммуникационный интерфейс. Соединяясь последовательно через устройства SICAM TM, AK или BC, SICAM TOOLBOX II может быть удаленно расположен в пределах произвольного количества ступеней иерархии.

Обычно доступ к проектным данным защищен паролем.

Принцип Plug and play (Включил и работай) для запасных частей:
Все данные устройства автоматизации, такие как встроенное программное обеспечение и параметры, хранятся на энергонезависимой сменной флэш-карте. При перезагрузке устройства автоматизации, а также при перезапуске отдельных модулей, все необходимые данные автоматически загружаются с флэш-карты во все процессоры и модули. Следовательно, для замены модулей не требуется повторно заливать конфигурацию в контроллер, поскольку новые модули получат все необходимые настройки с карты памяти. При замене запасных частей начинает использовать принцип «включи и работай» (Plug and play): Специальный инструмент - а также загрузки настроек - больше не требуется.

Таким образом, время работы службы эксплуатации сводится к минимуму.

Открытая архитектура системы:
В основе этой концепции автоматизации лежит модульная, открытая, а следовательно, технологически независимая системная архитектура для обработки, коммуникации и периферийных устройств.

Стандартизированные интерфейсы между отдельными элементами позволяют работать даже с дальнейшим развитием, внедрением новейших технологий, без необходимости менять существующие элементы. Таким образом, может быть обеспечена долговечность продукта и, как следствие инвестиционная безопасность и непрерывность (рис. 6.3-31).

Каждая плата и каждый модуль, на которых может быть запущено микропроцессорное программное обеспечение, формируют вместе с нужным микропроцессорным программным обеспечением один элемент системы.

Адаптация к конкретным условиям применения достигается за счет индивидуальной конфигурации и посредством загрузки стандартной прошивки и параметров. В определенных пределах параметры, тем самым, не только влияют на поведение функции прошивки, но и на функции оборудования. Учитывая это, для всех типов модулей не требуется никаких механических настроек, таких как, например, переключение перемычек, что позволяет не только изменять параметры в режиме онлайн, но также обеспечивает единую документацию по вводу параметров через SICAM TOOLBOX II и упрощает хранение информации.

Обзор системы
Механика
На рис. 6.2-32 и 6.2-33 показаны два типа корпуса (монтажной корзины): CM-2832 с 9 слотами и CM-2835 с 17 слотами.

Корпус CM-2833 (здесь не показан) - это дополнительная монтажная корзина для расширения основного устройства на 16 (максимум) периферийных плат.

При разработке корпуса был сделан упор на гибкость и простоту использования. Монтажная корзина предназначена для установки на задней панели или в раму 19".

Почти все необходимые внешние разъемы (например, для коммуникации, периферийных устройств, внешней периферийной шины) могут быть подключены с помощью стандартных кабелей или поставляемых заводских кабелей без каких-либо дополнительных инструментов (рис. 6.3-34, 6.3-35 и 6.3-36).

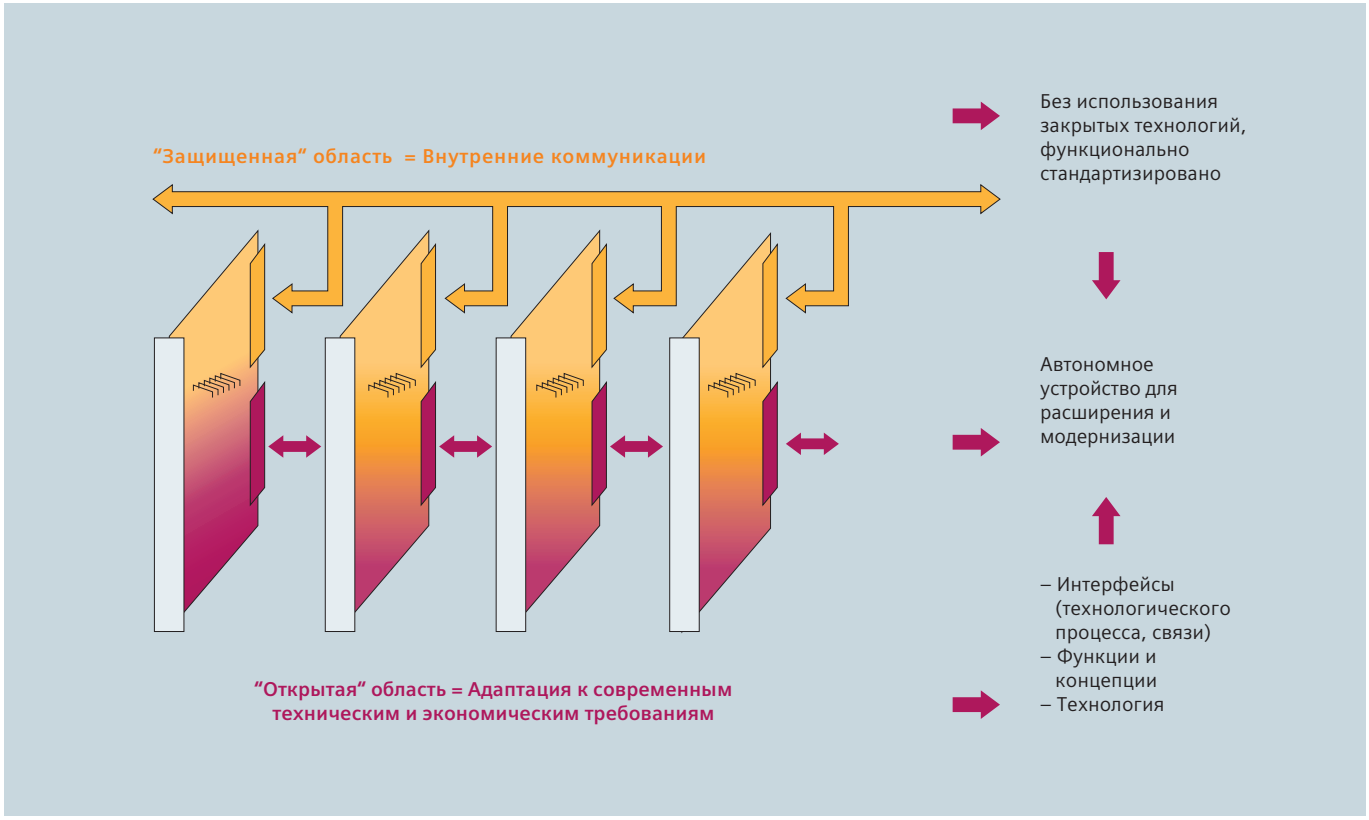


Рис. 6.3-31: **Открытая архитектура системы:**

Рис. 6.3-32: **CM-2832 - Монтажная корзина SICAM AK с 9 слотами**

Рис. 6.3-33: **CM-2835 - Монтажная корзина SICAM AK с 17 слотами**

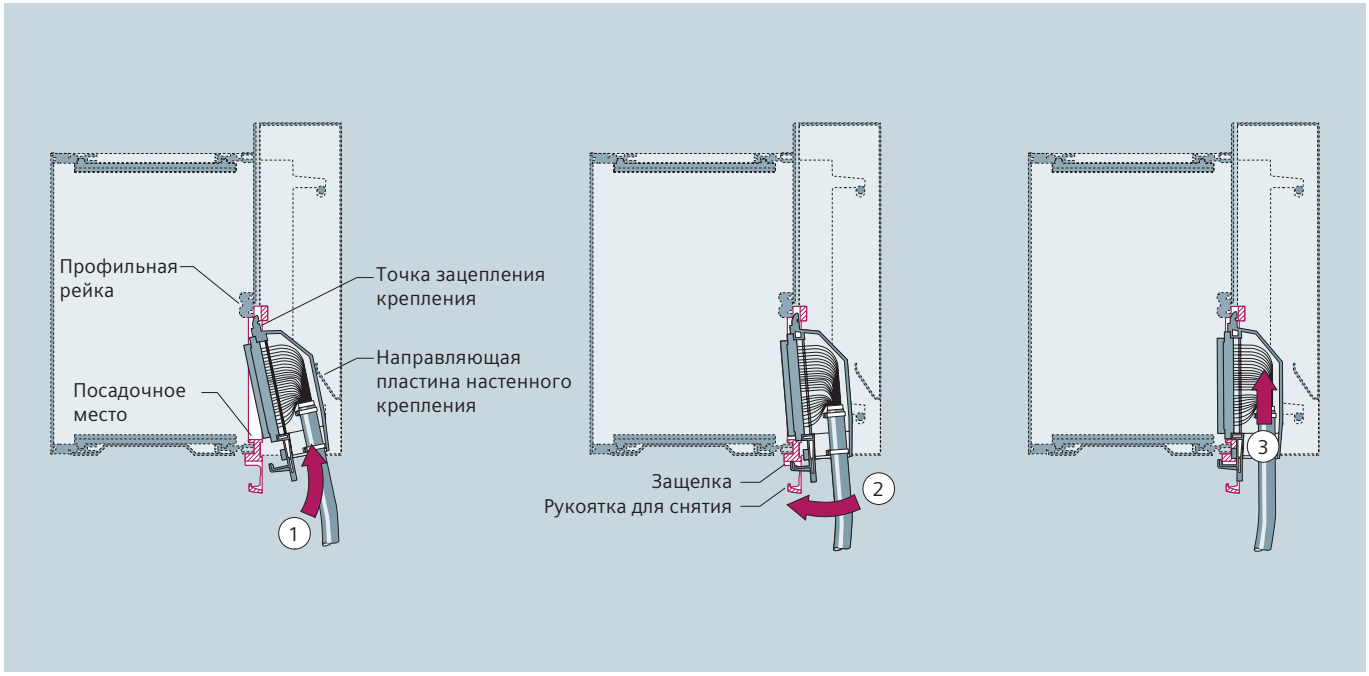


Рис. 6.3-34: **Технология подключения периферийных сигналов**

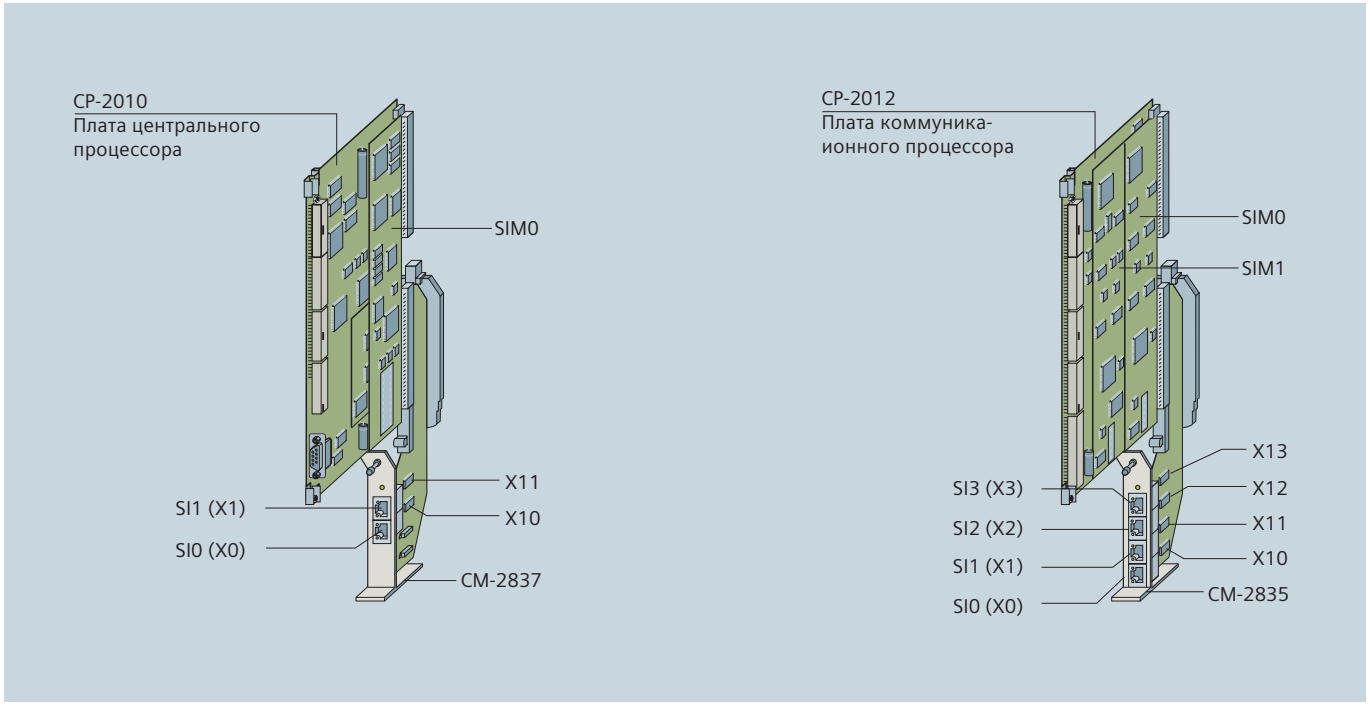


Рис. 6.3-35: **Коммуникация на базе подключения разъема RJ45**

Рис. 6.3-36: **Подключение на базе разъема RJ45 для внешней периферийной шины Ax 1703**

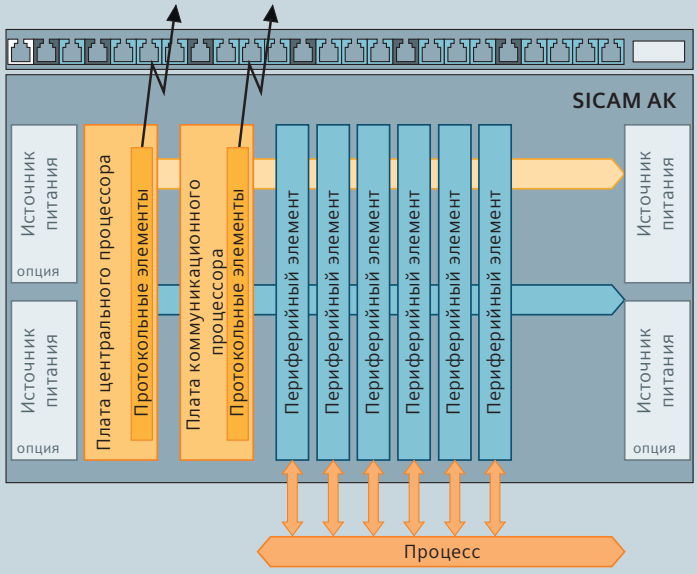


Рис. 6.3-37: **Стандартный монтаж в стойку периферийной шины SICAM AK**

Архитектура системы
Архитектура системы представлена на рисунке 6.3-37.

Конфигурация
SICAM AK состоит из следующих элементов:
- Плата центрального процессора
- Плата(ы) коммуникационного процессора
- Протокольные элементы (*)
- Периферийные элементы (*)
- Монтажная корзина с блоками питания (от 1 до 4 БП)

Части, помеченные (*), являются системными элементами

Периферийные элементы могут быть также установлены вне монтажной корзины.

Конфигурация периферийной шины Ax 1703 показана на рис. 6.3-38, на следующей странице.

Конфигурация
- 1 плата центрального процессора
  - Формирует независимую периферийную шину AXPE-C0, к которой можно подключить до 16 периферийных элементов
- До 16 плат коммуникационного процессора
  - Каждая плата коммуникационного процессора формирует независимую периферийную шину AXPE-Cn (n = 1...16), к которой можно подключить 16 периферийных элементов
- Всего до 272 периферийные элементов
- До 66 протокольных элементов (интерфейсы с индивидуальным коммуникационным протоколом)
  - До 2 протокольных элементов на центральной процессорной плате
  - До 4 протокольных элементов на плате коммуникационного процессора

Периферийная шина Ax 1703
Подключение к шинам Ax PE-Cn (n = 1...16) возможно через разъемы. Это позволяет подключать периферийные элементы, расположенные вне основной монтажной корзины. При этом одна из шин может быть выбрана для того, чтобы подключить периферийные элементы, которые установлены внутри основной монтажной корзины.

Периферийные элементы вне основной монтажной корзины
Периферийные элементы могут быть:
- установлены в основную монтажную корзину (как показано выше), и / или
- установлены в дополнительную монтажную корзину и подключены, и / или
- установлены в удаленных местах и подключены с помощью электрического или оптического кабеля

Системные элементы
Системный элемент является функциональным устройством и состоит из аппаратного и программного обеспечения. Прошивка обеспечивает аппаратной части необходимую функциональность.

Плата центрального процессора
Плата центрального процессора (рис. 6.3-39) формирует сердце устройства автоматизации.

Функции платы центрального процессора:
- Коммуникация с установленными периферийными элементами через последовательную периферийную шину Ax 1703
- Логика программ автоматизации, свободно программируемая пользователем согласно МЭК 61131-3, например, по принципу блок-схем.
- Коммуникация с другими устройствами автоматизации через протокольные элементы, устанавливаемые на центральной процессорной плате (до 2-х интерфейсов)
- Централизованный координирующий элемент для всех системных служб и функций, таких как, например:
  - Управление потоком данных
  - Функции мониторинга
  - Диагностика
  - Управление временем и синхронизация времени с помощью минутного импульса, последовательного сигнала точного времени (DCF77 / GPS-приемник), последовательного канала связи, NTP - сервера через LAN / WAN
  - Локальное подключение SICAM TOOLBOX II
  - Хранение параметров и прошивки на флэш-карте

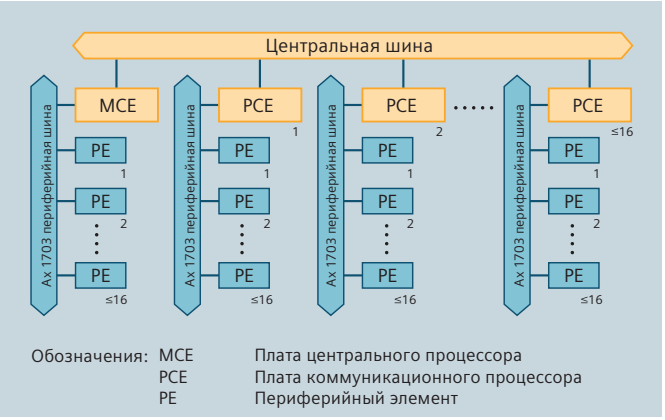


Рис. 6.3-38: **Конфигурация устройства SICAM AK**

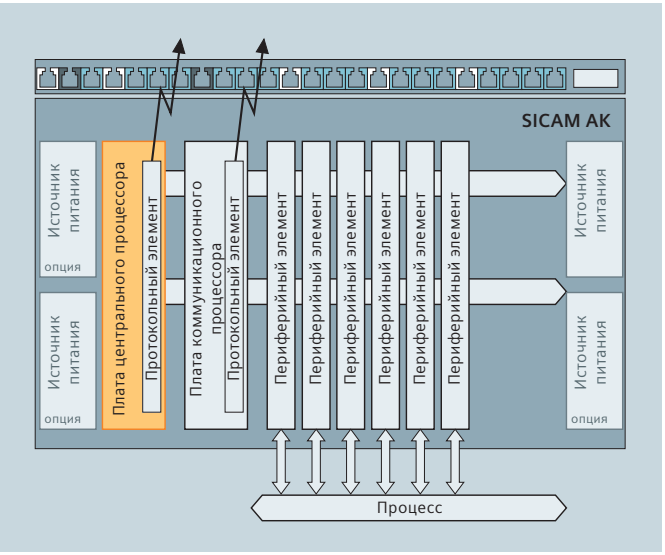


Рис. 6.3-39: **Плата центрального процессора**

Плата коммуникационного процессора

Функции плат коммуникационного процессора (рис. 6.3-40):

- Коммуникация с подключенными периферийными элементами через последовательную периферийную шину Ax 1703.
- Логика программ автоматизации, свободно программируемая пользователем согласно МЭК 61131-3, например, по принципу блок-схем.
- Коммуникация с другими устройствами автоматизации через протокольные элементы, устанавливаемые на плате коммуникационного процессора (до 4-х интерфейсов).

Периферийный элемент

Периферийные элементы, как показано на рис. 6.3-41, используются для сбора или вывода информации технологического процесса и выполняют адаптацию, мониторинг и обработку сигналов в каждой точке, где сигналы входят или выходят из устройства автоматизации. Обработка выполняется посредством:

- аппаратных средств (например, фильтр, АЦП, ЦАП) и
- прошивки (например, сглаживание измеренных значений, метки времени)

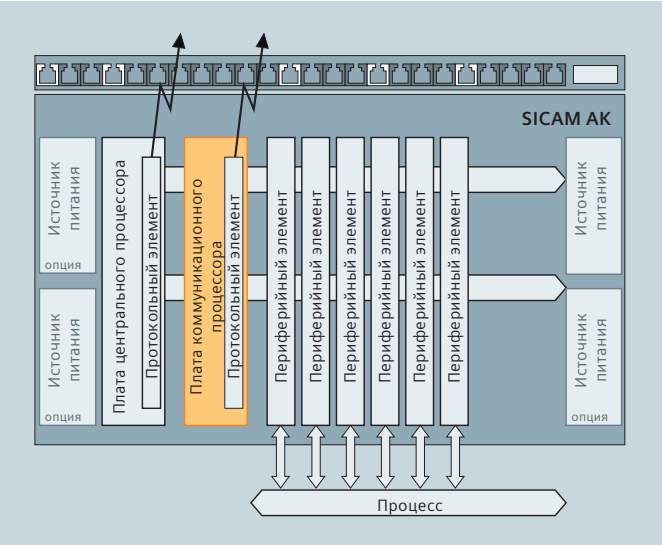


Рис. 6.3-40: **Плата коммуникационного процессора**

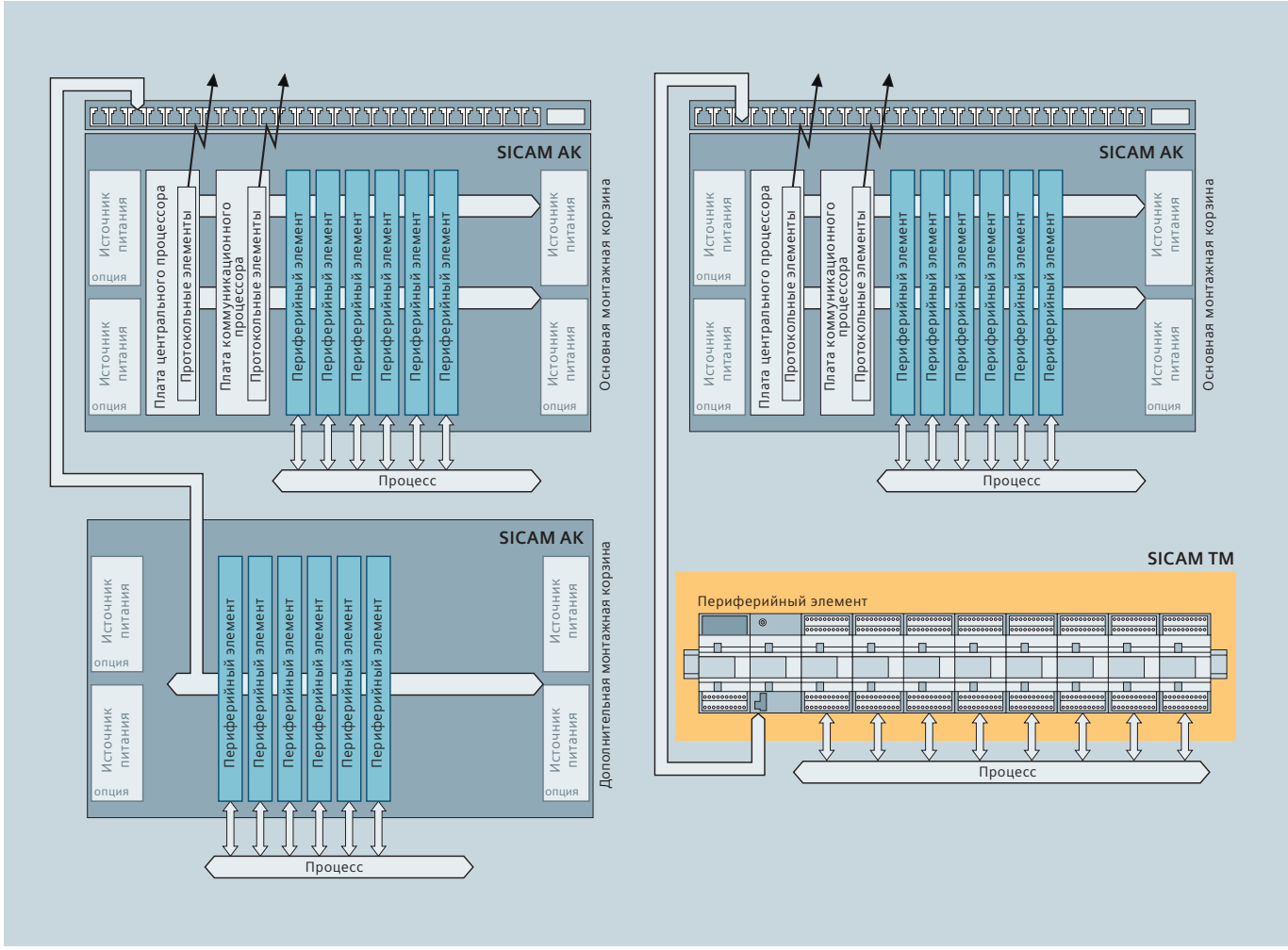


Рис. 6.3-41: **Периферийные элементы**

Периферийные элементы через периферийную шину Ax 1703 передают:
- периодическую информацию,
- сообщения с информацией о процессе и
- сообщения с системной информацией (например, диагностическая информация)

и получают
- сообщения с информацией о процессе,
- периодическую информацию и
- сообщения с системной информацией (например, параметры)

Протокольный элемент
Протокольный элемент (рис. 6.3-42) используется для обмена данными и, следовательно, для передачи сообщений через коммуникационный интерфейс другим устройствам автоматизации или устройствам сторонних производителей, например, системам управления.

Аппаратное обеспечение протокольного элемента это коммуникационный интерфейс, который в зависимости от системы и интерфейса может выполняться в различных формах:
- Интегрированный в плату центрального процессора
- На последовательном интерфейсном модуле (SIM), который устанавливается - непосредственно или в каскад (SIM на SIM) - на процессорные платы

Для каждого интерфейса, предоставленного SIM, можно с помощью TOOLBOX II загрузить прошивку протокола, который может быть использован на данном интерфейсе.

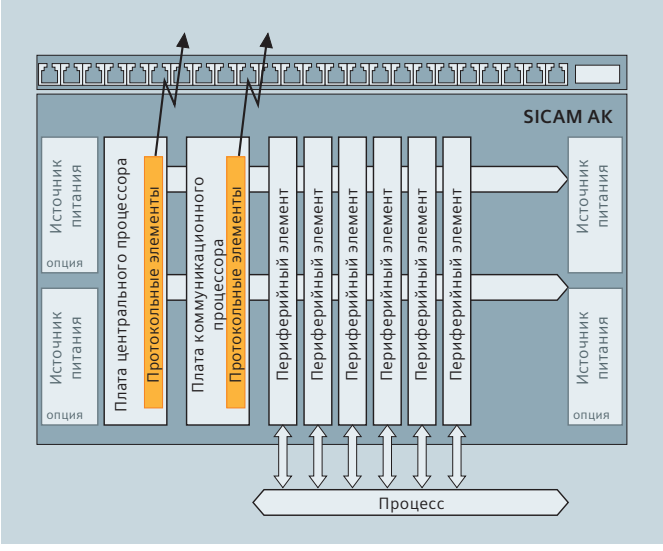


Рис. 6.3-42: **Плата связи**

Элементы системы SICAM AK

Плата центрального процессора

Модуль	Обозначение
CP-2010 / CPC25	Системные функции, обработка и коммуникация

Плата коммуникационного процессора

Модуль	Обозначение
CP-2017 / PCCX25	Обработка и коммуникация

Периферийные элементы SICAM AK

Модуль	Обозначение
DI-2100 / BISI25	Входной дискретный сигнал (8 × 8, DC 24 – 60 В)
DI-2110 / BISI26	Входной дискретный сигнал (8 × 8, DC 24 – 60 В)
DI-2111 / BISI26	Входной дискретный сигнал (8 × 8, DC 110 / 220 В)
DO-2201 / BISO25	Дискретный выход (Транзистор, 40 × 1, DC 24 – 60 В)
AI-2300 / PASI25	Аналоговый вход/выход (16 × ± 20 мА + 4 × 2 опции расширения)
AI-2301/TEMP25	Аналоговый вход (32 × Pt100)
AI-2302 / PASI25	Аналоговый вход/выход (16 × ± 20 мА + 4 × 2 опции расширения)
DO-2210 / PCCO2X	Вывод команды (с проверкой цепей) (64 × DC 24 – 60 В)
DO-2211 / PCCO2X	Вывод команды (с проверкой цепей) (64 × DC 60 – 125 В)
MX-2400 / USIO2X	Ввод/вывод сигналов (DC 24 - 60 В, ± 20 мА, опция расширения)

Поддерживаемые периферийные модули SICAM ™

Модуль	Обозначение
PE-6410 / USIO66	Периферийный контроллер (Ax-PE электрическая шина)
PE-6411 / USIO66	Периферийный контроллер (1x Ax-PE, оптическая шина)

Источник питания
Корпуса CM-2832, CM-2835 и CM-2833 оборудуются блоками питания 80 Вт следующих типов:

Обозначение	
PS-5620	Блок питания (DC 24 - 60 В)
PS-5622	Блок питания (DC 110 – 220 В, AC 230 В)

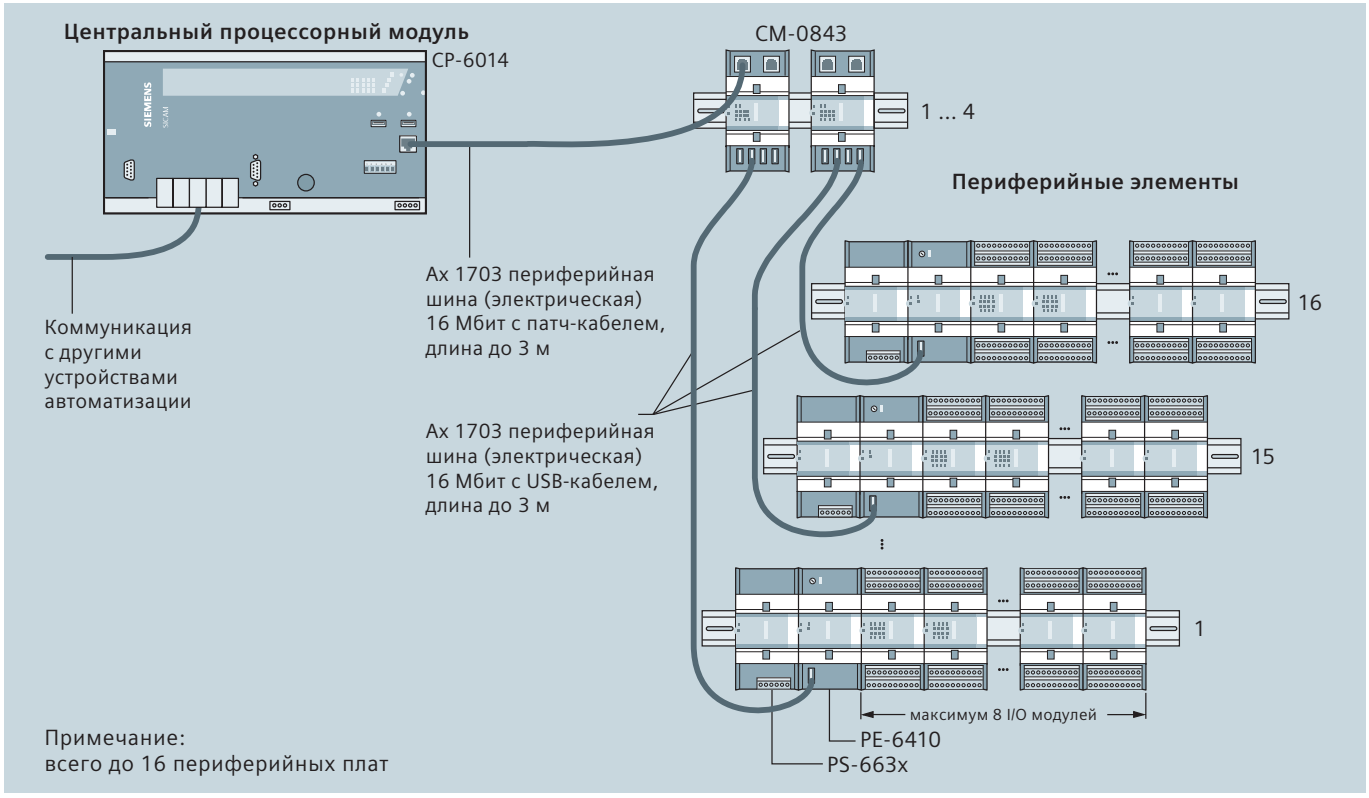


Рис. 6.3-43: **SICAM TM архитектура системы: подключение до 16 периферийных элементов через интерфейс шины (электрические соединения)**

Функциональные возможности

Телеуправление

Функции телемеханики:

- Процесс ввода и вывода на периферийные элементы
- Коммуникация с другими устройствами автоматизации
- Протокольные элементы
- Автоматичесая маршрутизация потоков данных
- Хранение данных
- Контроль приоритетов
- Резервные каналы передачи данных
- Коммуникация в пределах устройства автоматизации
- Управление протокольными элементами и информация обратной связи от них

Автоматизация

Функции автоматизации:

- Процесс ввода и вывода на периферийные элементы
- Функции телеуправления
  - Обработка команд согласно МЭК 60870-5-101 / 104
  - Мониторинг изменений и генерации сообщений с меткой времени
- Создание программ автоматизации

Системные службы

"Системные службы" - это набор функций, обеспечивающий работу основных служб и функций в устройстве автоматизации:

- Связь с инжерной станцией (TOOLBOX II)
- Управление потоком данных
- Адресация
- Управление временем
- Общий опрос
- Самотестирование
- Диагностика и сигнализация
- Автономность

Концепция системы SICAM TM

Система SICAM TM разработана специально для обеспечения простоты установки и высокой производительности. Благодаря своему последовательному развитию она оптимально подходит как для автоматизации, так и телеуправления (рис. 6.3-43).

Существенной особенностью SICAM TM является эффективный и простой способ организации интерфейса для обработки сигналов. Это достигается за счет так называемых модулей входов/выходов, имеющих прочный корпус и надежные контакты. Модули входов/выходов располагаются рядом друг с другом. Связь между ними устанавливается как только они стыкуются друг с другом, не требуя каких-либо дальнейших действий. Несмотря на это всегда есть возможность заменить каждый модуль отдельно.

Светодиоды на передней панели обеспечивают простую и наглядную индикацию, позволяя проверить обстановку на объекте. Структура клеммных колодок позволяет подключить датчик/привод без использования промежуточных клеммников.

Модули входов/выходов в зависимости от требований могут быть оборудованы либо электрической, либо оптической шиной, благодаря чему сигналы могут собираться в непосредственной близости от источника. Таким образом, длины кабелей можно свести к минимуму.

В системе SICAM TM выделяют следующие ориентированные на будущее возможности:
- Модульная, открытая и технологически независимая структура системы
- Прямое подключение периферии без промежуточных клеммников
- Программное изменение настроек (как программных, так и аппаратных)
- Изменение параметров онлайн-режиме
- Светодиоды для отображения оперативных и технологических состояний
- Упрощенная обработка подключения благодаря "интеллектуальным терминалам"
- Международная стандартная профильная рейка 35 мм
- Надежная внутренняя коммуникация для всех шин
- Не требуется длительного обучения
- Хранение данных с помощью мультимедийной карты (для запасных частей используется принцип «включил и работай»)
- Периодическая обработка и создание автоматизированных функций осуществляется с помощью инструмента CAExplus
- Поддержка спонтанной обработки и передачи данных телемеханики включает в себя:
- Параметрируемая обработка сигналов от периферийных устройств
- Мониторинг изменений, создание сигналов и присвоение меток времени данным событий при периодической обработке
- Разделение сигналов по времени и приоритетность передачи с помощью алгоритма детерминированного приоритета
- Определение приоритета сообщений
- Сбор данных учета электроэнергии
- Расширенный температурный диапазон (– 25 ...+ 65 °C / – 13 ... 149 °F)
- Высокая ЭМС
- Увеличенная электрическая прочность (класс 2)

Архитектура системы
SICAM TM входит в семейство устройств автоматизации SICAM AK, TM, BC, EMIC и MIC и состоит из следующих компонентов:
- Центральный процессорный модуль
- Модульные, расширяемые и съемные периферийные элементы
- Протокольные элементы для связи монтируются на центральном процессорном модуле (рис. 6.3-44).

Центральный процессорный модуль
Центральный процессорный модуль является сердецм устройства SICAM TM. Ввод и вывод данных процесса осуществляется подключением внешних сигналов через периферийные модули. Интерфейсы связи могут быть установлены непосредственно внутри центрального процессорного модуля.

Рис. 6.3-44: **SICAM TM для монтажа на 35 мм DIN-рейки**

Функции центрального процессорного модуля:
- Связь с периферийными элементами через последовательную периферийную шину Ax 1703
- Логика программ автоматизации, свободно программируемая пользователем согласно МЭК 61131-3, например, по принципу блок-схем.
- Параметрирование функций телемеханики
- Управление временем и синхронизация времени с помощью минутного импульса, последовательного сигнала точного времени (DCF77 / GPS-приемник), последовательного канала связи, NTP-сервера через LAN / WAN
- Связь через установленные протокольные элементы
- Проектирование с помощью SICAM TOOLBOX II
- Хранение параметров и прошивки на флэш-карте

Центральный процессорный модуль обеспечивает работу программ автоматизации и/или параметрируемых функций телемеханики, а также функций связи по последовательным интерфейсам и LAN / WAN. Следовательно, он также служит центральным координирующим элементом для всех функций системы и всех внутренних и общих концепций.

Эта архитектура обеспечивает
- детерминированную работу логики устройства с гарантированным временем реакции,
- автономную работу (например, в случае потери связи), и
- интеграцию функций телемеханики (спонтанная обработка и передача данных), а также функций автоматизации (периодическая обработка и связь с периферией) в одном устройстве автоматизации.

Подключение модулей ввода/вывода к центральному устройству происходит через периферийный элемент, который располагается рядом с устройством.

Для этой цели
- центральный процессорный модуль имеет два USB-разъема, и
- периферийный элемент имеет USB-разъем.

До 2 периферийных элемента можно подключить к центральному устройству напрямую.

При использовании дополнительных модулей интерфейса шины можно подключить до 16 периферийных элементов к одному центральному устройству. Так же при необходимости можно использовать оптическую шину для больших расстояний (до 200 м).

Периферийные элементы
Периферийный элемент состоит из
- 1 блока питания,
- 1 периферийного модуля управления, и
- до 8 модулей входов/выходов (рис. 6.3-45)

В документации на устройство указано, сколько модулей входов/выходов можно фактически использовать в каждом периферийном элементе, и в каком порядке их нужно устанавливать.

Ключевая особенность системы SICAM TM состоит в том, что она обеспечивает эффективное и простое подключение и обработку сигналов. Это достигается за счет так называемых модулей входов/выходов, имеющих прочный корпус и надежные контакты.

Модули входов/выходов последовательно подключаются к периферийному модулю управления. Связь между ними устанавливаются как только они стыкуются друг с другом, не требуя каких-либо дальнейших действий. Даже в этом случае каждый отдельный модуль входов/выходов всегда можно заменить и установить на DIN-рейку отдельно. Его можно установить горизонтально или вертикально.

Съемные клеммные колодки (разъемы входов/выходов) используются для простой работы с модулями, если их необходимо установить или заменить. Поскольку все цепи подключаются к клеммникам, то при замене устройств нет необходимости отключать эти цепи.

Периферийные элементы подключаются к центральному процессорному модулю или к модулю интерфейса шины с помощью обычного USB-кабеля. Если используются модули с оптическим интерфейсом, то подключение происходит при помощи оптического патч-корда.

Периферийная шина Ax 1703 обеспечивает защищенную последовательную внутреннюю связь между центральным процессорным модулем и периферийным элементом. Последовательная коммуникация также предоставляет возможность разнести отдельные или все периферийные элементы с помощью оптической связи до 200 м от ведущего элемента, причем система сохранит полную функциональность.

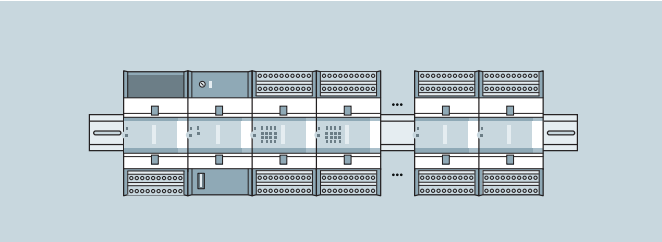


Рис. 6.3-45: **Периферийный элемент**

Функции периферийного модуля управления:
- Безопасный обмен данными с центральным процессорным модулем
- Безопасный обмен данными с подключенными модулями входов/выходов через шины TM (Terminal Module Bus)
- Мониторинг подключенных модулей входов/выходов
- Предварительная обработка входных и выходных сигналов

Функции модулей входов/выходов:
- Сбор и вывод двоичных и аналоговых сигналов технологического процесса,
- Безопасный обмен данными с периферийным модулем управления через шину TM

Связь между модулями входов/выходов и периферийного модуля управления осуществляется посредством шины TM в соответствии с принципом ведущий / ведомый, при этом модули входов/выходов являются ведомыми. Устанавливая различные модули бок о бок, контакт будет между ними будет создаваться автоматически по всей шине TM, таким образом, никаких дополнительных кабелей не требуется.

Обмен данными
Функция коммуникации используется для обмена данными и, следовательно, для передачи сообщений через протокольные элементы к другим устройствам автоматизации или системам управления.

Аппаратная часть протокольных элементов - это модули последовательного интерфейса (SIM), которые могут быть установлены в центральном процессорном модуле. В одном центральном устройстве можно установить до 2-х SIM-модулей.

Характеристики модуля последовательного интерфейса :
- Два последовательных коммуникационных интерфейса, или
- один LAN интерфейс (Ethernet) плюс дополнительный последовательный интерфейс, или
- один Profibus-интерфейс (DP-мастер)

Поскольку коммуникационный интерфейс соответствует одному протокольному элементу, в общей сложности для каждой SICAM TM можно использовать до 4 протокольных элементов. Таким образом, существует возможность комбинирования вариантов связи. В одном центральном устройстве можно установить до 2-х SIM-модулей.

Обзор продукта

Центральный процессорный модуль

Модуль	Обозначение
CP-6014 / CPCX65	Обработка и коммуникация

Модуль интерфейса шины

Модуль	Обозначение
CM-0843	Ax-шина интерфейса, электрическая
CM-0842	Ax-шина интерфейса, оптоволокно

Периферийные устройства

Модуль	Обозначение
PS-6630	Источник питания (DC 24-60 В (EMC+))
PS-6632	Источник питания (DC 110 / 220 В (EMC+))
PE-6410 / USIO66	Периферийный модуль управления для электрической перефирийной шины Ax
PE-6411 / USIO66	Периферийный модуль управления для оптической двойной периферийной шины Ax
PE-6412 / USIO66	В сочетании с SICAM AK в конфигурациях резервирования
DI-6100	Дискретный вход (2 × 8, DC 24-60 В)
DI-6101	Дискретный вход (2×8, DC 110 / 220 В)
DO-6200	Дискретный транзисторный выход (2 × 8, DC 24-60 В)
DO-6212	Дискретный релейный выход (8 × DC 24-220 В / AC 230 В)
DO-6220	Вывод команды базового модуля (4 × DC 24 – 110 В)
DO-6221	Вывод команды базового модуля измерения (4 × DC 24 – 110 В)
DO-6230	Модуль выходных командных реле (16 × DC 24 – 110 В)
AI-6300	Аналоговый вход (2 × 2 ± 20 мА / ± 10 мА / ± 10 В)
AI-6307	Аналоговый вход (2 × 2 ± 5 мА)
AI-6310	Аналоговый вход (2 × 2 Pt100 / Ni100)
AO-6380	Аналоговый выход (4 × ± 20 мА / ± 10 мА / ± 10 В)

Компактный RTU SICAM MIC

Система SICAM MIC, являясь частью линейки SICAM RTU, разработана для использования в компактных системах телемеханики.

Установка происходит на 35-мм рейке. Возможна как горизонтальная, так и вертикальная установка.

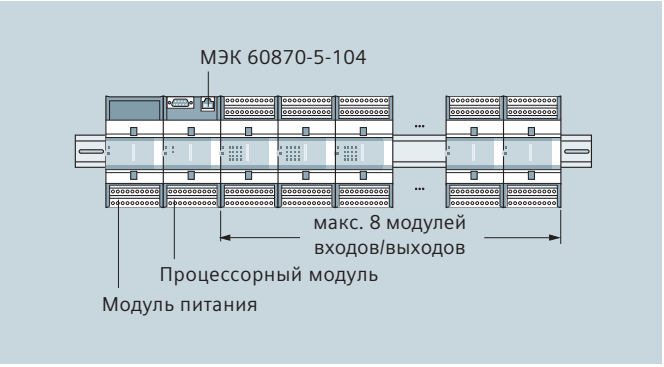


Рис. 6.3-46: **SICAM MIC архитектура системы**

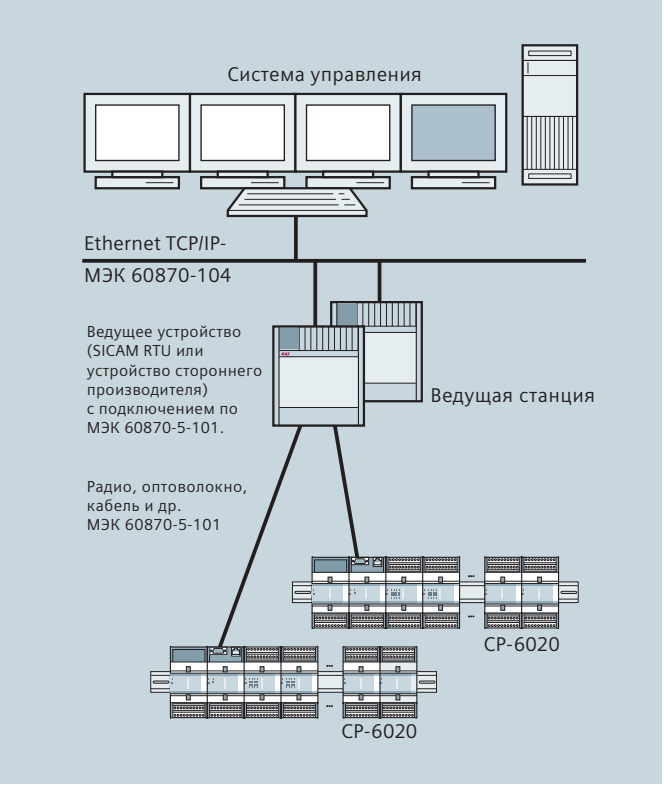


Рис. 6.3-47: **Конфигурация SICAM MIC - многоточечный трафик**

Последовательность модулей, слева направо или сверху вниз следующая:
- Модуль питания
- Процессорный модуль
- До 8 модулей входов/выходов (рис. 6.3-46)

Модуль питания и шина TM электрически соединяются в процессе установки. Каждый модуль ввода/вывода можно заменить по отдельности.

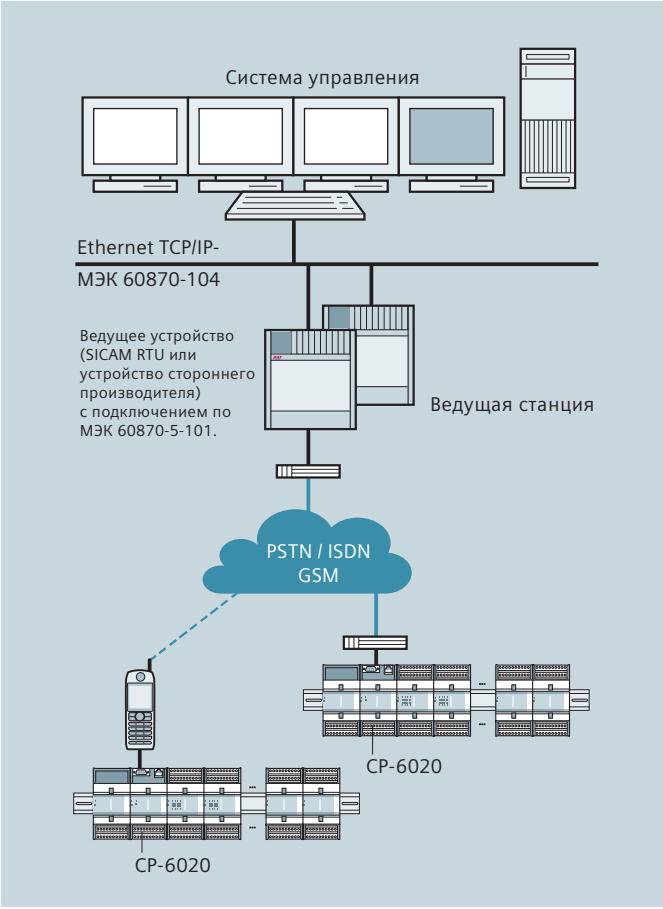


Рис. 6.3-48: **Конфигурация SICAM MIC - простой модемный трафик**

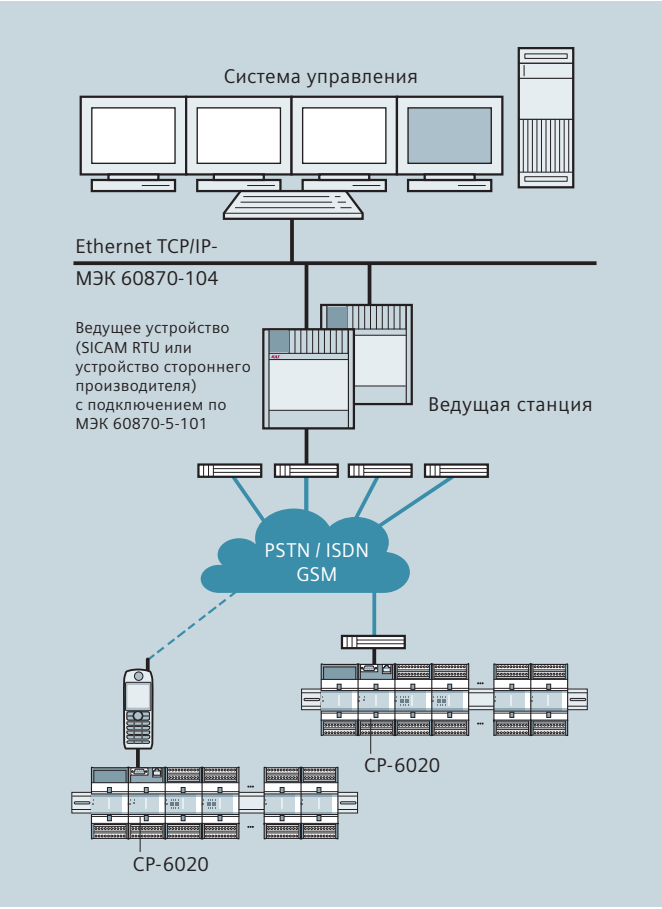


Рис. 6.3-49: **Конфигурация SICAM MIC - трафик при коммутируемом соединении для нескольких ведущих устройств**

Центральные процессорные модули:
- Модуль CP-6020 (V.28 / 8 модулей)
- Модуль CP-6040 (Ethernet 10BASE / V.28 / 8 модулей)

Конфигурация
На следующих рисунках показаны конфигурации многоточечного трафика (рис. 6.3-47), трафика при коммутируемом доступе (рис. 6.3-48), трафика коммутируемого доступа для нескольких ведущих устройств (рис. 6.3-49), LAN / WAN (рис. 6.3-50) и GPRS (рис. 6.3-51).

Устройства управления ячейками
Устройство контроля присоединения (BCU) является связующим элементом между уровнем управления оборудованием подстанции и основной системой. Оно устанавливается в шкаф управления присоединением.

Таким образом данное устройство предназначено для работы в сложных электромагнитных и температурных условиях и выполняется на базе контроллера SICAM BC.

Устройство контроля присоединения собирает все относящиеся фидеру данные технологического процесса и их метки времени с разрешением в 1 мс. Все функции выполняются автономно в блоке управления присоединением:
- Оперативные блокировки
- Контроль синхронизма
- Автоматическое регулирование напряжения через РПН трансформатора (опция)
- Контроль дугогасящего реактора (опция)
- Счетчик циклов операций
- Расчет среднеквадратичных значений токов и напряжений, активной и реактивной мощности

Локальная панель управления для работы с присоединением
Устройство контроля присоединения поставляется в двух типоразмерах (рис. 6.3-53): компактная версия SICAM BC/C для небольших фидеров (обычно распределительные сети); модульная версия SICAM BC/M для большего количества входов/выходов (типовой случай в сети передачи электроэнергии).

Обе версии основаны на одинаковой системной архитектуре и используют одни и те же модули. Их прочная конструкция позволяет располагать их как можно ближе к первичному оборудованию с высокими требованиями EMC и широким температурным диапазоном, а модули входов/выходов предназначены для прямого сбора сигналов процесса без каких-либо промежуточных уровней (например, промежуточные реле, измерительные преобразователи и др.). Это означает, возможность использования оперативного напряжения до DC 220 В или прямое подключение измерительных цепей трансформаторов от 1 А до 6 А или AC 110 / 220 В.

Архитектура SICAM BC
SICAM BC является представителем семейства SICAM RTU и состоит из следующих элементов:

- Плата центрального процессора (*)
- Плата обработки данных (защита) (*)
- Протокольные элементы (*)
- Периферийные элементы (*)
- Панель управления с дисплеем
- Корпус с одним или двумя блоками питания

Корпус (монтажная корзина) доступен в двух размерах:
- Компактный SICAM BC/C может вместить до 2 периферийных элементов
- Модульный SICAM BC/M может вместить до 15 периферийных элементов

Бесшовная коммуникация
SICAM BC предлагает комплексное решение на основе стандартов МЭК (МЭК 60870-5-101 / 103 / 104 и МЭК 61850).

Последовательный интерфейс интегрирован в плату центрального процессора и позволяет коммуникацию согласно МЭК 60870-5-103 Ведомый с системой верхнего уровня с использованием оптической связи. Локальная связь с ноутбуком для работы с инженерным ПО осуществляется с помощью 9-контактного разъема на передней стороне устройства. Кроме того, для расширения коммуникационных возможностей можно установить модуль SIP (Serial Interface Processor) с двумя последовательными интерфейсами или модуль NIP (Network Interface Processor) с одним Ethernet-интерфейсом, или комбинацию модулей SIP+NIP с одним последовательным и одним Ethernet-интерфейсом.

Части, отмеченные (*), являются системными платами

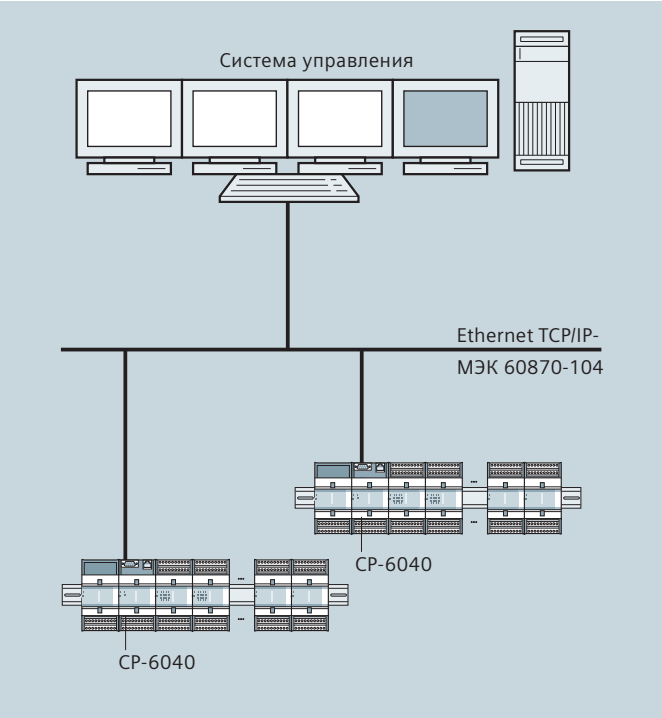


Рис. 6.3-50: **Конфигурация SICAM MIC – LAN / WAN**

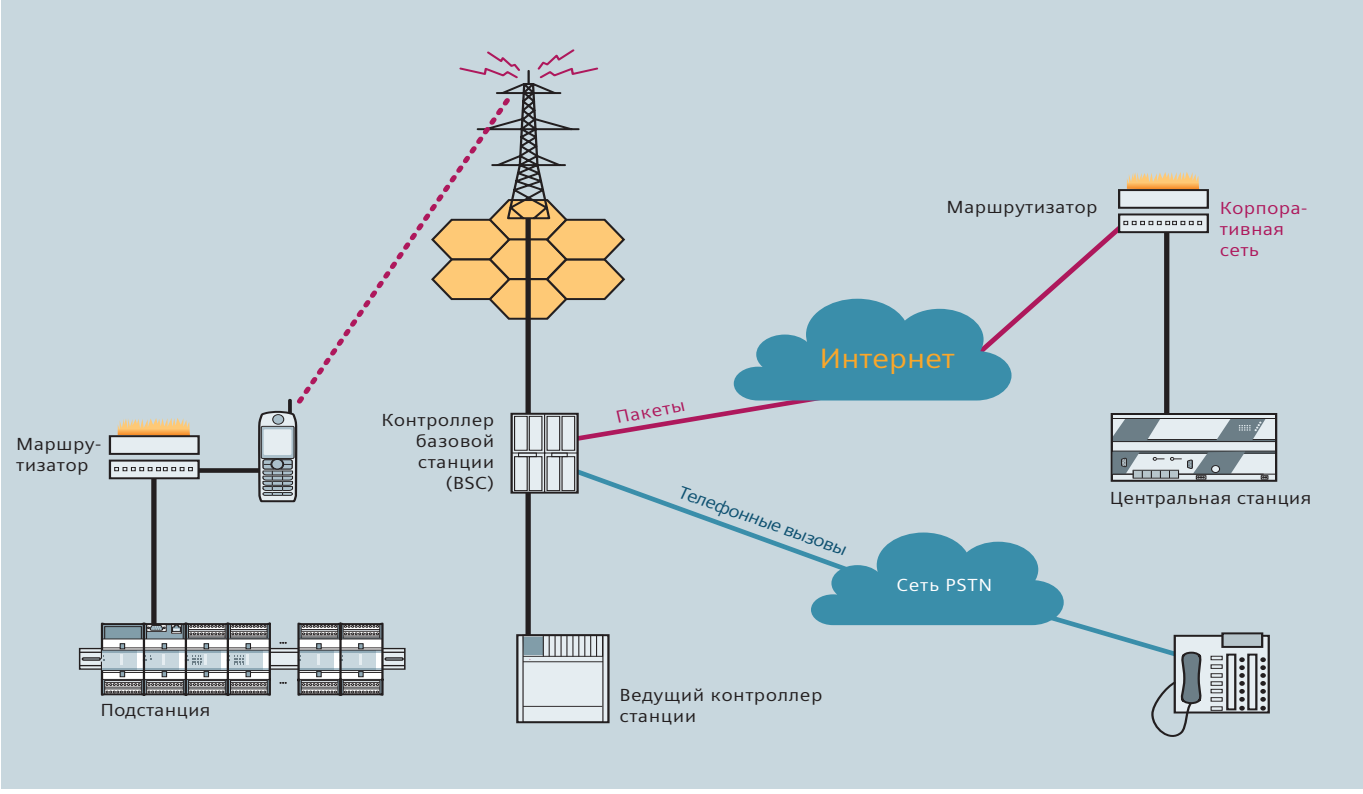


Рис. 6.3-51: **Конфигурация SICAM MIC - GPRS**

Принцип Plug and play (Включил и работай) для флэш-карты:
Параметры и прошивки хранятся непосредственно на флэш-карте. Это означает, что не требуется дополнительных инструментов для замены модулей. Этот удобно при техническом обслуживании и эксплуатации. С помощью инженерного ПО можно создать дополнительную флэш-карту.

Основные характеристики
- Питание DC 110-220 В / AC 230 В (80 Вт) или DC 24-60 В (80 Вт), можно добавить второй источник питания для обеспечения резервирования
- Сбор сигналов с частотой опроса 1 мс в режиме реального времени.

Как показано на рисунке, устройства контроля присоединения предназначены для тяжелых электрических и температурных условий.

Рабочая температура находится в диапазоне – 25 ... + 70 °C/ – 13 ... + 158 °F. Возможно размещение в шкафах наружной установки.

ЧМИ устройства контроля присоединения
Для того, чтобы система была проще для персонала с точки зрения эксплуатации и технического обслуживания непосредственно в местном шкафу управления, SICAM BC можно управлять через дисплей (рис. 6.3-52).

Локальная панель управления разработана как специализированное решение для отображения всей необходимой информации о статусе устройства в ясной и простой форме, а также для простого и безопасного локального управления непосредственно на присоединении. Она разработана для установки на двери локальных шкафов управления присоединением на всех уровнях напряжения подстанции. Поэтому она соответствует высочайшим требованиям ЭМС и широкому диапазону рабочих температур.

Устройство предоставляет интерфейс для использования с SICAM BC и может быть объединено как с компактной, так и с модульной версией контроллера присоединения. Устройство может быть непосредственно подключено к SICAM BC или использоваться отдельно при помощи двух соединительных кабелей (до 3 м). Интегрированная и раздельная рамы позволяют выполнять или навесной монтаж без необходимости делать большой вырез в двери, или утопленный монтаж. Панель управления и дисплей были организованы в соответствии с эргономическими принципами и совместимы с аналогичными принципами на терминалах управления. Дисплей отображает состояние динамической однолинейной схемы присоединения, а также выбранную информацию об измеряемых величинах. При выборе других изображений оператор получает информацию о всех доступных измерениях, статистических данных, важных сигналах и т.д. Дополнительные светодиоды сигнализируют о важных состояниях и аварийных сигналах и располагаются рядом с дисплеем, так чтобы любое необычное состояние можно было бы распознать сразу. На полоске, которая вставляется рядом со светодиодом, указано его описание. Таким образом, изображение и его статус показываются одновременно. Два ключа управление позволяют выбрать рабочий режим: один для режима локально / дистанционно / тест, а другой для работы с / без оперативных блокировок. Инициация команд надежно выполняется в несколько этапов. Таким образом, это позволяет избежать случайного ввода команды.

Диапазон температур: – 25 ... + 70 °C / – 13 ... + 158 °F. Дисплей имеет ограниченную читаемость ниже – 10 °C / 14 °F. Внешние размеры (В x Ш x Г) : 280 x 220 x 37 мм / 11.0236 x 8.6614 x 1.45669 дюймов.

Рис. 6.3-52: **Устройства контроля присоединениями (BCU)**

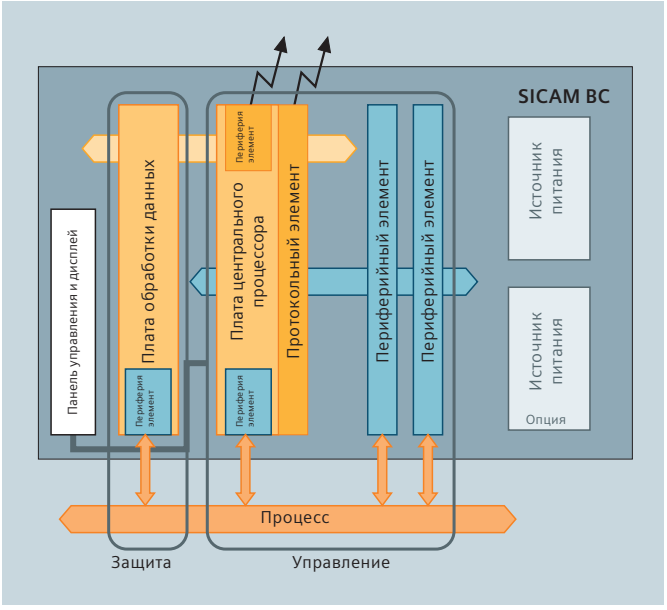


Рис. 6.3-53: **SICAM BC**

6.3.7 SICAM EMIC - один из продуктов зарекомендовавшего себя семейства SICAM

С растущим желанием снижения затрат практически во всех процессах возрастает необходимость автоматизировать мелкие подстанции, чтобы лучше и надежнее использовать существующее оборудование. Современные, высокопроизводительные системы автоматизации позволяют интегрировать мелкие станции для обеспечения универсального и надежного управления сложными процессами. Но сами маленькие станции также оснащают дополнительными функциональными возможностями из-за возросшего спроса на получение дополнительной информации.

От простого мониторинга до функций управления и интеграции дополнительного оборудования, современные системы должны предлагать широкий спектр функциональных возможностей.

Гибкое использование SICAM EMIC
Как логическое продолжение этих запросов, SICAM EMIC представляет собой расширение зарекомендовавшего себя продукта SICAM MIC. SICAM EMIC это недорогая, гибкая и модульная станция телеуправления, которая является частью семейства SICAM RTU. Аппаратная часть состоит из процессорного модуля и различных модулей входов/выходов; устройство предназначено для монтажа на DIN-рейку. Можно использовать проверенные модули входов/выходов, которые подходят ко всем продуктам семейства SICAM RTU.

Процессорный модуль используется для питания модулей входов/выходов и связи с ними, а также имеет три коммуникационных интерфейса (1 Ethernet и 2 последовательных), чтобы соответствовать широкому диапазону требований. Также обеспечивается полная гибкость благодаря тому, что различные коммуникационные протоколы могут быть свободно респределены между интерфейсами. Функция автоматизации дополняет список возможностей SICAM EMIC.

Интегрированный веб-сервер для простоты настройки
Простота настройки является одним из главных приоритетов SICAM EMIC - процессорный модуль имеет встроенный веб-сервер для настройки, диагностики и тестирования, так что никаких специальных инструментов или дополнительных лицензий не требуется. Инструментарий уже интегрирован в SICAM EMIC и управляется с помощью стандартного веб-браузера. Проектирование, диагностика и тестирование SICAM EMIC может также осуществляться с помощью проверенного ПО SICAM TOOLBOX II, интегрированные инструменты которого подходят для всего семейства SICAM RTU. Все функции SICAM EMIC реализованы на одной плате, а данные и параметры хранятся на флэш-карте. Следовательно, актуальные параметры всегда доступны локально, и необходимость загружать данные с ПК отсутствует. Это делает замену устройств в процессе эксплуатации простой и соответствующей принципу Plug & Play (включи и работай). Перенос конфигурации тоже выполняется очень просто, и для этого достаточно заменить флэш-карту. По этой причине, а также благодаря комплексным функциям удаленной диагностики, простои могут быть сведены к минимуму. Благодаря своей сетевой функциональности SICAM EMIC имеет много различных возможностей применения. SICAM EMIC можно использовать как обычное устройство телемеханики с любым видом связи с центром управления. Если SICAM EMIC не имеет достаточного объема сигналов, то можно задействовать дополнительные устройства SICAM EMIC. Свободно программируемые прикладные программы для локальных фунций управления дополняют универсальность SICAM EMIC.

Очень гибкие настройки для связи с центром управления
- Многоточечный трафик
  - Внешнее оборудование передачи данных - можно подключить через интерфейс V.28 для передачи многоточечного трафика.
- Коммутируемый доступ
  - Кроме стандартного коммутируемого доступа поддерживается широкий диапазон возможностей передачи данных (аналоговый, ISDN, GSM, TETRA).
- LAN/WAN
  - Коммуникация по МЭК 60870-5-104/DNPi на базе Ethernet TCP/IP используется для связи по LAN/WAN сетям.

SICAM EMIC - система в деталях

Функции процессорного модуля:
- Централизованные функции обработки
- Хранение параметров и прошивки на флэш-карте
- Взаимодействие и питание модулей входов/выходов
- 3 коммуникационных интерфейса, с разными индивидуальными коммуникационными протоколами (МЭК 60870-5-101, 103, 104, Modbus, DNP 3.0, а также другие протоколы по запросу)

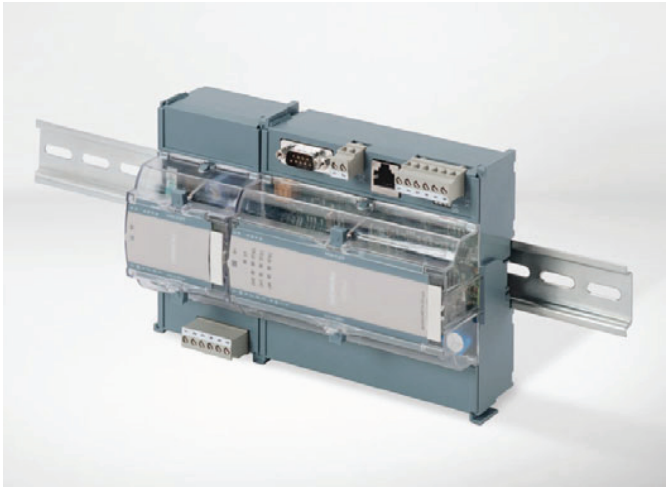


Рис. 6.3-54: **SICAM EMIC - новый член зарекомендовавшего себя семейства SICAM RTU**

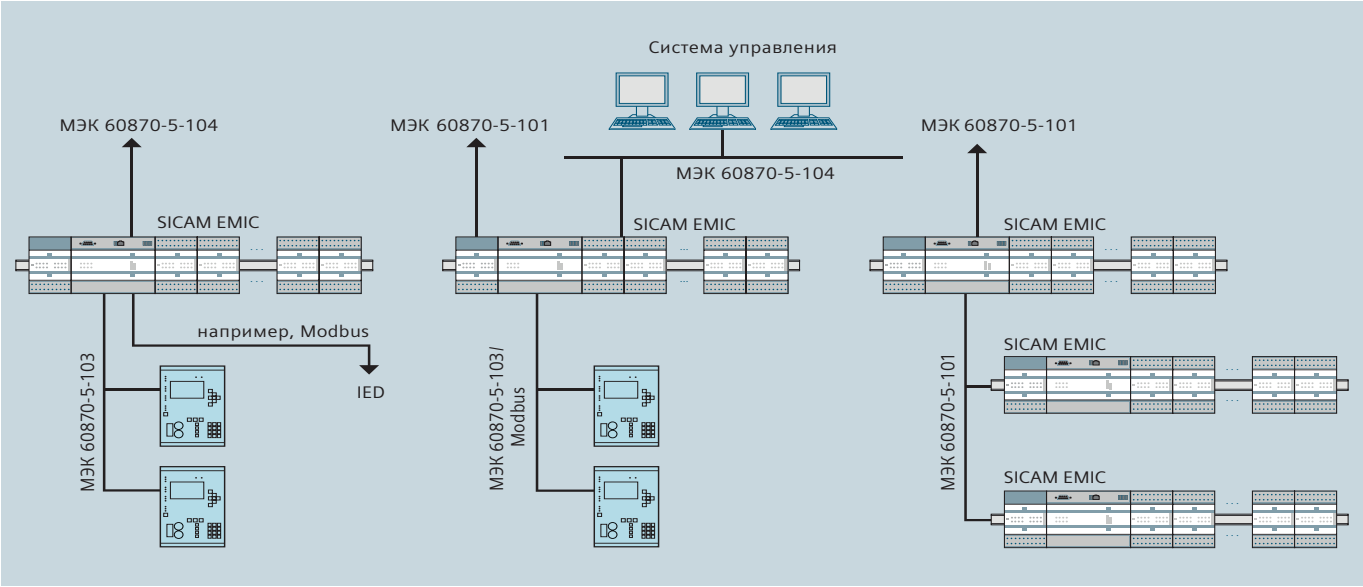


Рис. 6.3-55: **Практическое применение SICAM EMIC**

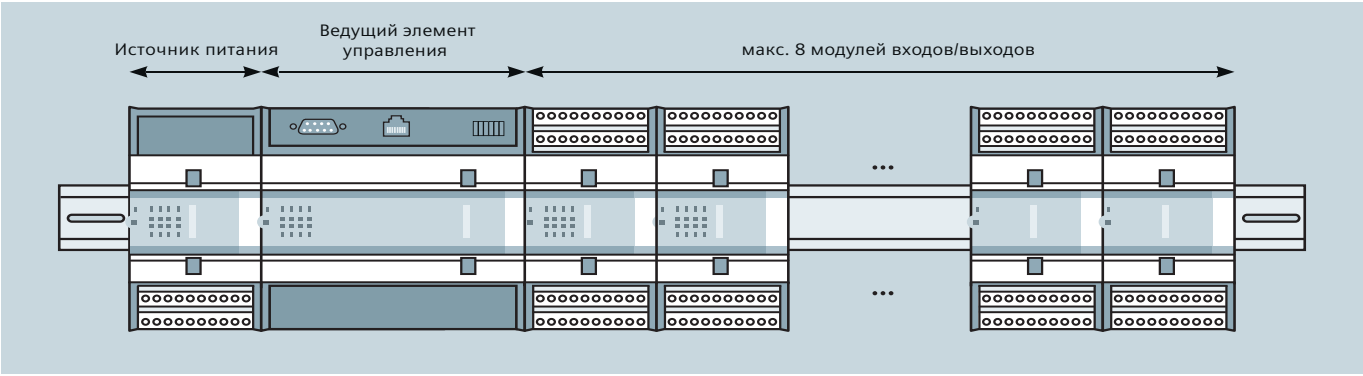


Рис. 6.3-56: **Архитектура SICAM EMIC**

Подробная информация
www.siemens.com/sicam

6.4 Качество электроэнергии и измерения

6.4.1 Введение

Качество электроэнергии

Качество электроснабжения
Качество, как правило, рассматривается как важный показатель любой системы электроснабжения. Потребители беспокоятся и о высоком качестве, и о низких ценах. Цена и качество дополняют друг друга. Вместе они определяют ценность, которую потребители получают как услуги энергоснабжения.

Качество электроснабжения, предоставляемого конечному потребителю, есть результат ряда показателей качества, за которые несут ответственность различные секторы электрической промышленности. Качество обслуживания в электрической сети имеет ряд различных факторов, которые могут быть сгруппированы по трем основным разделам: коммерческие взаимоотношения между поставщиком и пользователем, непрерывность поставок и качество напряжения.

Во избежание высоких затрат из-за повреждения оборудования все потребители должны быть уверены в том, что они получают электроэнергию удовлетворительного качества, и что их электрооборудование сможет работать согласно требованиям даже в случае небольших возмущений. На практике напряжение никогда не может быть идеальным.

Электроснабжение – это одна из самых главных основных услуг, поддерживающая промышленное общество. Для потребителей электроэнергии эта основная услуга должна отвечать требованиям:
- должна быть всегда доступна (т.е. высокий уровень надежности);
- обеспечивать безопасную и удовлетворительную работу всего электрооборудования всех потребителей (т.е. высокий уровень качества энергии).

Качество напряжения
Качество напряжения, также называемое качеством электроэнергии (PQ/КЭ), включает в себя разные характеристики энергосистемы. Главная среди них – качество формы кривой напряжения. Существует несколько технических стандартов, определяющих критерии качества напряжения, но непосредственно качество определяется способностью должного функционирования оборудования клиента. В практике имеют место технические явления такие как: изменение частоты, колебания величины напряжения, кратковременные изменения напряжения (провалы, скачки и кратковременные перерывы), длительные колебания напряжения (перенапряжения или пониженное напряжение), переходные процессы (временные переходные перенапряжения), искажения формы и прочее. Во многих странах качество напряжения регулируется, часто с использованием принятых отраслевых стандартов или практики, приводятся ориентировочные характеристики.

В наши дни все знают о влиянии плохого качества энергии, но немногие действительно контролируют его. Уровни отклонения качества электроэнергии необходимо еженедельно контролировать, иногда даже ежедневно, чтобы принять соответствующие профилактические меры до наступления серьезных последствий.

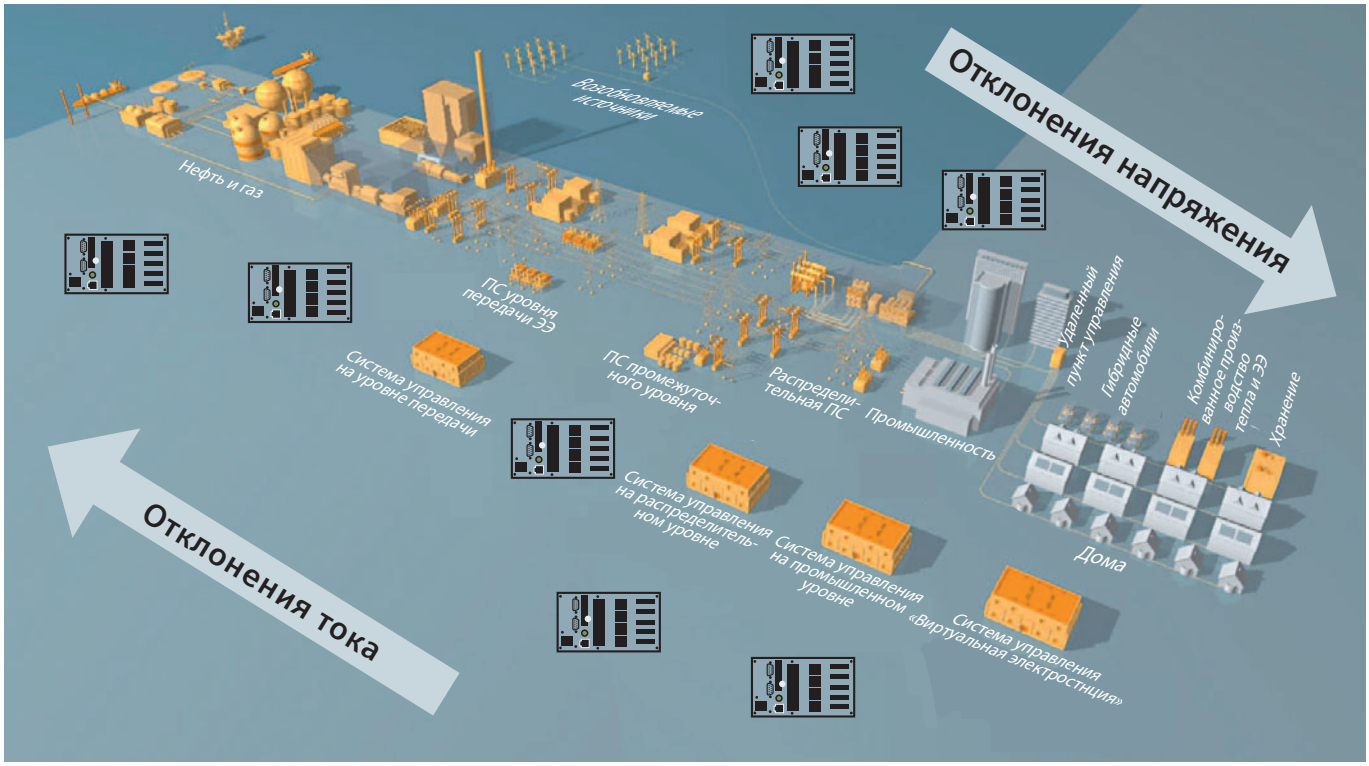


Рис. 6.4-1: **Контроль качества энергии важен для всех – местной коммунальной компании, потребителя, местной экономики и окружающей среды.**

Поэтому энергосистема заинтересована в контроле качества, демонстрируя, что она действует правильно и улучшает свои ноу-хау, примененные в системе. При таком подходе качество и надежность электроснабжения удовлетворяет требованиям потребителя.

Доступность и качество энергии еще более важны распределяющим компаниям. Либерализация электрического рынка сделала распределяющие компании зависимыми от действий других участников электроснабжения. Ситуация стабилизируется, и качество энергии становится основным приоритетом в процессе реструктуризации. Потребитель стал понимать, что для эффективного энергоснабжения нужно больше уделять внимания качеству.

Большинство проблем связанных с качеством электроэнергии напрямую затрагивают конечного потребителя или ощущаются на этом уровне. Конечные пользователи должны контролировать качество электроэнергии и содействовать мероприятиям по снижению негативного воздействия на сеть. Впрочем, часто потребители обращаются в таких случаях к коммунальному предприятию, и оказывают давление с целью получения энергоснабжения требуемого качества.

Стандарт качества электроэнергии EN 50160 описывает основные характеристики напряжения на вводах питания заказчика в сети низкого, среднего напряжения, и, в ближайшем будущем, системы высокого напряжения, при нормальных условиях эксплуатации.

Кто несет ответственность?
Интересная проблема возникает, когда рынок электроэнергии не обеспечивает потребности потребителя. Если заказчик не может найти оборудование, рассчитанное выдержать кратковременные перерывы питания, заказчик может, например, оказывать давление на поставщика энергии и регуляторный орган для увеличения качества энергии по всей распределительной системе. Поставщик может быть заинтересован помочь потребителю с решением проблем качества энергии и надежности на местном уровне.

Система электроснабжения может рассматриваться как ресурс открытого доступа. На практике, почти все подключены к ней и могут «свободно» питать ее. Теперь такая свобода ограничена стандартами и/или соглашениями. В странах Европы обычно используется Европейский стандарт EN 50160 как основа для определения качества энергоснабжения, часто так же называемое качеством напряжения или электроэнергии. На данный момент существует стандарт качества тока только для оборудования, но не для точки подключения. Взаимодействие между напряжением и током усложняет разделение ответственности за качество электроэрнергии между сетевой компанией и потребителем. Качество напряжения (за которое обычно считается ответственной сеть) и качество тока (за которое часто несет ответственность потребитель) влияют друг на друга.

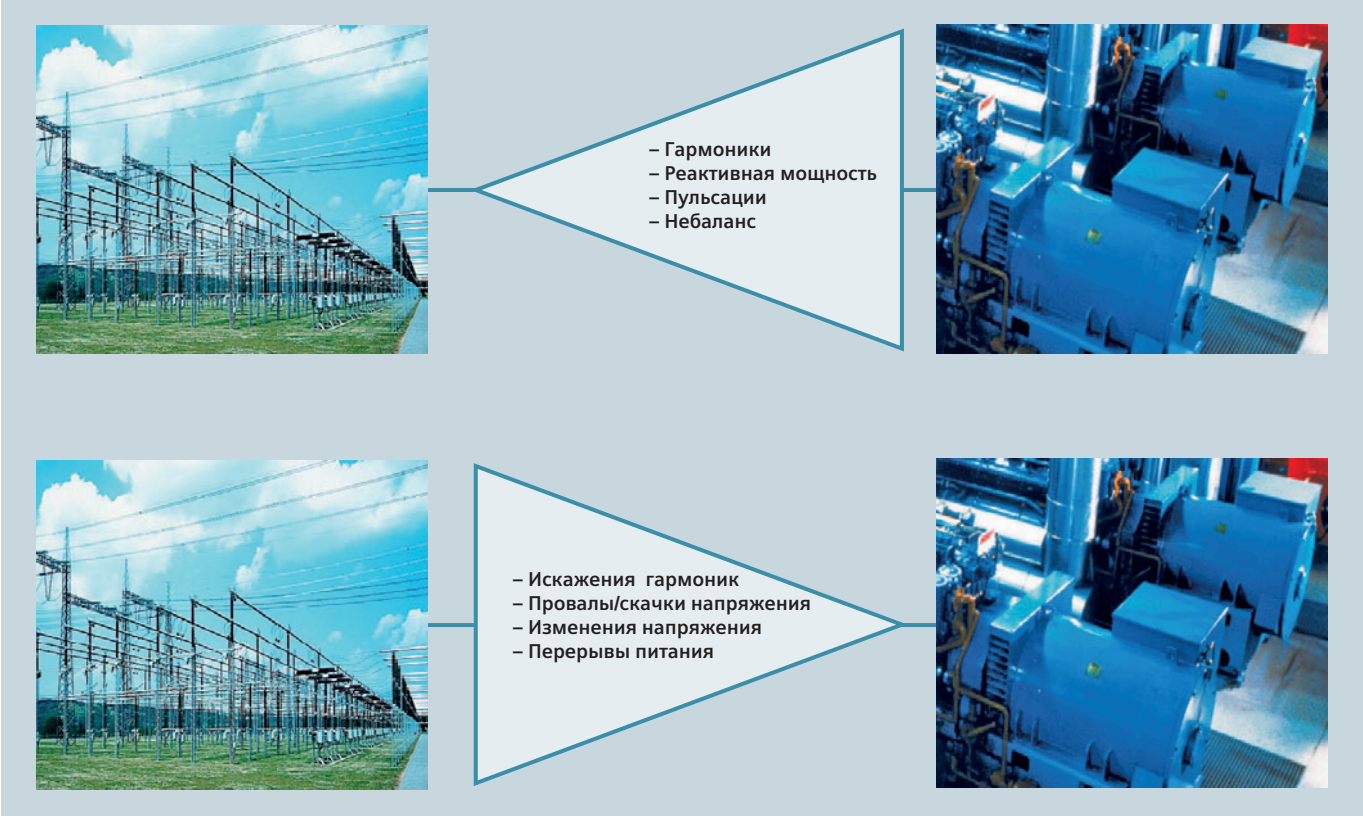


Рис. 6.4-2: **Энергокомпания и промышленность, равно несут ответственность за качество напряжения**

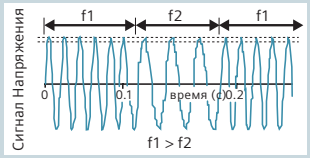
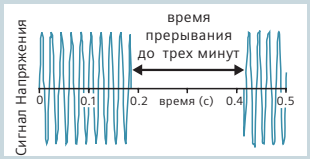
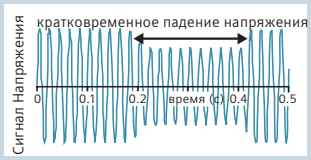
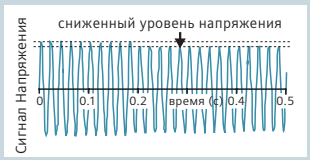
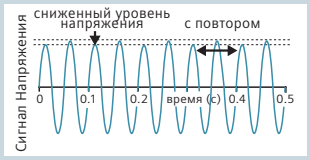
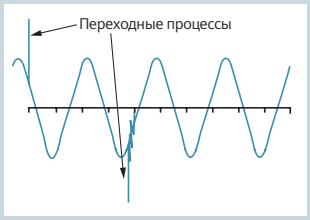
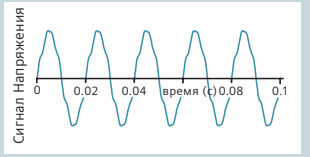
Проблема	Описание	Причина	Эффект
	**Изменения частоты:** Изменения частоты включают в себя изменения частоты выше или ниже обычной стабильной частоты 50 или 60 Гц	• Пуск или отключение очень мощного оборудования потребителя, например, двигателя • Нагрузка и разгрузка генератора или небольших генерирующих станций • Источники питания нестабильной частоты	• Неправильная работа, потеря данных, сбои системы и повреждение оборудования и двигателя • Для определенных типов двигательной нагрузки двигателя, например, в текстильном производстве, важен постоянный контроль частоты
	**Прерывание питания:** Запланированная или случайная общая потеря питания на определенном участке, мгновенные прерывания, длящиеся от половины секунды до 3 секунд, кратковременные длительностью от 3 секунд до минуты и длительные прерывания более 1 минуты	• Оперативные переключения с попыткой изолировать поврежденный участок и подача питания к участкам потребителей • Несчастные случаи, силы природы и т.д. • Предохранители, действие защитной функции, например, цикл автоматического повторного включения	• Чувствительные к потере питания технологические процессы и отключение или повреждение системы • Потеря памяти компьютера/контроллера • Производственные потери или повреждение
	**Провал напряжения / спад или возрастание:** Всякое кратковременное (от половины периода до 3 секунд) уменьшение (спад) или увеличение (возрастание) напряжения	• Запуск или выключение очень большого элемента потребительского оборудования, например, двигателя • Короткие замыкания (повреждения) • Электрическая цепь с недостаточным запасом • Повреждение, ввод-вывод вспомогательного оборудования	• Потеря памяти, ошибки данных, тусклый или яркий свет, искажения на дисплях, отключение оборудования • Опрокидывание или остановка двигателя и сокращения срока его службы
	**Изменение напряжения питания:** Колебания уровня напряжения выше или ниже номинального напряжения в обычных рабочих условиях	• Амплитуда линейного напряжения может меняться в результате обычной ситуации изменения нагрузки	• Отключение оборудования от защит из-за недостаточного напряжения или даже перегрев и/или повреждение оборудования в связи с избыточным напряжением • Пониженная эффективность или сокращенный срок службы электрического оборудования
	**Пульсации:** Впечатление нестабильности визуального восприятия в результате легкого изменения яркости, изменения освещенности во времени	• Прерывистые нагрузки • Пуск двигателя • Дуговые печи • Сварочные агрегаты	• Изменение яркости может привести к визуальным явлениям, называемым мерцание, нарушающим концентрацию человека, вызывающим головные боли т.д.
	**Переходный процесс:** Переходный процесс – это внезапное изменение напряжения вплоть до нескольких тысяч вольт. Он может быть импульсного или колебательного типа (также называется импульс, всплеск или пик) Провал - это резкое изменение полярности в форме сигнала	• Коммутационные операции в системе, пуск и остановка тяжелого оборудования, подъемников, статические разряды сварочного оборудования и молния	• Нарушения в технологии • Потеря данных • Блокировка чувствительного оборудования • Сгоревшие печатные платы
	**Помехи:** Это нежелательный электрический сигнал высокой частоты от другого оборудования **Гармоника:** Искажение – изменение чистой синусоидальной волны в результате нелинейной нагрузки	• Помехи, вызванные электромагнитным излучением от приборов, например, микроволновая печь, радио и телетрансляция, дуговая сварка, нагревательные приборы, лазерные принтеры, термостаты, нарушенная проводка и неправильное заземление • Гармонические искажения вызванные нелинейной нагрузкой	• Помехи для чувствительного электронного оборудования • Они могут вызвать ошибки обработки и потерю данных • Гармонические искажения вызывают перегрев двигателя, трансформатора и проводки • Неправильная работа выключателей, реле или предохранителей

Таблица 6.4-1: **Основные проблемы с качеством электроэнергии**

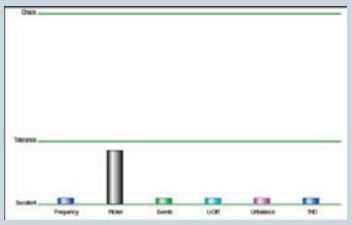
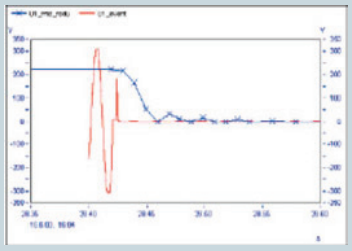
Применение КЭ	Описание	Аппаратное обеспечение	Измерения	
Регулирование качества электроэнергии:	Регуляторный анализ КЭ использует сравнение качества напряжения или мощности с принятыми стандартами (например, EN 50160) или с качеством, определенным в контрактах энергоснабжения. Периодически создается отчет соответствия.	Регистраторы качества энергии (главным образом класс A)	Параметры качества напряжения (как минимум) в выбранных системных интерфейсах и точках снабжения потребителя (например, EN 50160) для: Характеристики энергосистемы, уровни планирования (т.е. внутренние задачи), специальные контракты заказчиков	
Описание качества электроэнергии:	Пояснительный анализ КЭ осуществляется для обеспечения понимания, что происходит в каждом определенном случае, например, анализ сбоя - для поддержания более широкой стабильности системы. Цель этого процесса – документальный анализ соблюдаемого качества энергии и увеличение уровня понимания, в т.ч. по возможности исследование причин, последствия и возможное смягчение их влияния на качество энергии.	Регистраторы КЭ Класса A.S или B и регистратор аварийных событий / PMU	U+Irms, формы волны, состояние дискретных сигналов, качание мощности, трансформаторы среднего напряжения, сборные шины и нагрузки	

Таблица 6.4-2: **Программы контроля качества электроэнергии**

Этапы качественного контроля электроэнергии

Рис. 6.4-3: **Этапы контроля качества электроэнергии в 5 шагов**

Стандарты

Цель индексов качества энергии и измерений – характеризовать уровни нарушений в энергосистеме. Такие индексы можно определить как «характеристика напряжения» и описать с помощью кода сети, применяемом в интерфейсах электрической системы. Коды сети КЭ позволяют использовать существующие стандарты или руководящие принципы для определения индексов тока и напряжения примененных к интерфейсам в системах низкого, среднего и высокого напряжения, например , EN 50160. Этот стандарт определяет и описывает основные характеристики напряжения на вводах питания заказчика в сети низкого, среднего напряжения. Индексы для ВН-СВН также будут описаны в новой редакции EN 50160. Поскольку электрическая система в различных регионах и странах разная, также существует множество региональных или национальных рекомендаций, определяющих специальные или адаптированные предельные величины.

Эти местные стандарты обычно являются результатом практического измерения качества или системным опытом, принятым в постоянном и глубоком исследовании поведения электрической системы. Но измерения согласно EN 50160 – это только часть процесса оценки качества энергии. Еще один важный стандарт измерения качества энергии это - МЭК 61000-4-30, определяющий методы измерения.

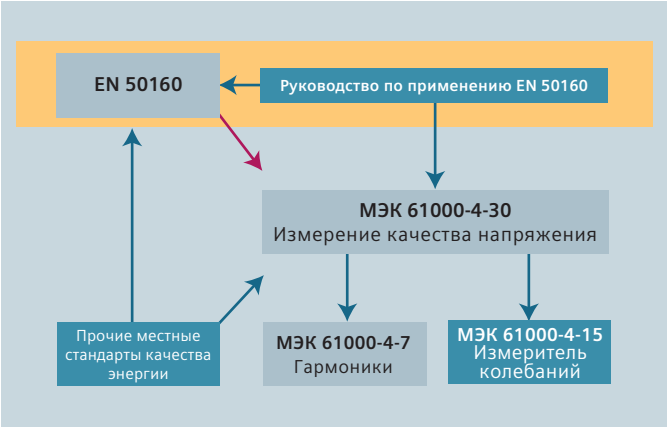


Рис. 6.4-4: **Обзор международных и национальных стандартов качества энергии**

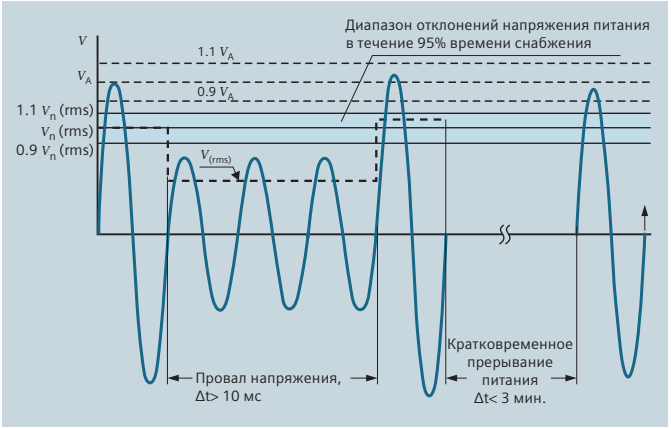


Рис. 6.4-5: **Иллюстрация провала напряжения и кратковременного прерывания питания, классифицированные в соответствии с EN 50160; UN – номинальное напряжение системы питания (действ.), UA – амплитуда напряжения питания, U(действ.) – фактическое действующее напряжение питания**

Параметр	Характеристики напряжения питания согласно EN 50160
Частота сети	НН, СН: среднее значение основных измерений в течение 10 с ± 1 % (49.5 - 50.5 Гц) для 99.5 % недели - 6 % / + 4 % (47 - 52 Гц) для 100 % недели
Колебания величины напряжения	НН, СН: ± 10% на 95 % недели, в среднем 10 минутные действующие значения (рис. 6.4-5)
Быстрое изменение напряжения	НН: 5 % нормально 10 % не часто Plt< 1 для 95 % недели СН: 4 % нормально 6 % не часто Plt< 1 для 95 % недели
Провалы напряжения питания	В норм. режиме: длительность < 1 с, глубина < 60 %. Локально ограниченные провалы, вызванные включением нагрузки: 10 - 50 %, СН: 10 - 15 %
Кратковременные прерывания напряжения питания	НН, СН: (до 3 минут) несколько десятых – несколько сотых/год, продолжительность 70 % из них < 1 с
Длительные прерывания напряжения питания	НН, СН: (более 3 минут) < 10 - 50 / год
Временные, перенапряжения частоты сети	< 1.5 кВ действ. СН: 1.7 UC (глухозаземленная или резистивное сопротивление), 2.0 UC (без заземления или резонансное заземление)
Переходные перенапряжения	НН: в общем < 6 кВ, иногда выше; время повышения: мкс до мс СН: не определено
Несбалансированное напряжение питания	НН, СН: до 2 % для 95 % недели, в среднем 10 минутные действующие значения, до 3% в некоторых точках
Гармоники/THD (суммарный коэффициент гармонических искажений)	Гармоники НН, СН; THD: 8
Напряжение промежуточных гармоник	НН, СН: под рассмотрением

Таблица 6.4-3: **Согласно EN 50160**

Нечетные гармоники				Четные гармоники	
Некратные 3		Кратные 3			
Порядок гармоники	Относительное напряжение (%)	Порядок гармоники	Относительное напряжение (%)	Порядок гармоники	Относительное напряжение (%)
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1.5	4	1
11	3,5	15	05	6...24	0.5
13	3	21	0.5		
17	2				
19	1.5				
23	1.5				
25	1.5				

Таблица 6.4-4: **Значения напряжения индивидуальных гармоник на клеммах питания для порядков до 25, указанные в процентах VN**

МЭК 61000-4-30 определяет также классы точности: класс «высокая точность» и класс S «низкая точность». Другими словами, если EN 50160 определяет, «что» измерять, то МЭК 6100030 определяет, «как» это измерять. Конечный результат процесса измерения должен представлять собой полностью автоматическую документацию всех измерений согласно стандарту.

Вычисление эффективных величин каждые пол периода – это критерий измерительного устройства класса А по МЭК 61000-4-30. Для определения диапазона состояний нормального напряжения для обнаружения событий уточняется диапазон гистерезиса. SICAM Q90 соответствует требованиям точности для измерительного устройства класса А согласно стандарту МЭК 61000-4-30.

МЭК 61000-4-30, Ed. 2, 2008-10:
Методы измерения качества электроэнергии: Этот стандарт определяет методы измерения и интерпретации результатов для параметров качества энергии в системах питания переменного тока.

МЭК 61000-4-15:1997 + A1:2003:
Измеритель пульсаций, функциональные и конструктивные технические характеристики. В этом разделе МЭК 61000 приводятся функциональные и конструктивные технические характеристики для аппаратуры измерения пульсаций выделяющих допустимый диапазон пульсаций из сигналов напряжения всех существующих форм.

МЭК 61000-4-7, Ed. 2, 2002-08:
Общее руководство по гармоникам и интер-гармоникам потребителей. Это общее руководство по измерениям и инструментам гармоник и интер-гармоник, для систем энергоснабжения и подключенного к ним оборудования.

Определение точки измерения и цели измерения качества энергии
Измерения качества энергии направлены на характеристики энергии, описывая качество каждого индивидуального интерфейса в электрической системе и в сетях различных клиентов. Обнаружение, определение, профилирование точек измерения качества – это важные задачи в определении проекта качества энергии. Впрочем, электрическая система динамична по своей природе, поэтому оптимизация точек измерения – это процедура, формирующаяся в ходе повседневного контроля. Это может не помочь предсказать измерения, но поможет более эффективно реагировать на них.

Идентификация точек измерения
Точки измерения можно определить так, как это показано в табл. 6.4-5.

Для измерения качества энергии требуется не только эффективный выбор точек измерения, но также определенные цели для анализа КЭ в точках измерения.

Мы обычно классифицируем мониторинг «качества энергии» как смесь технологий сбора данных, распределенных по целям или применению.

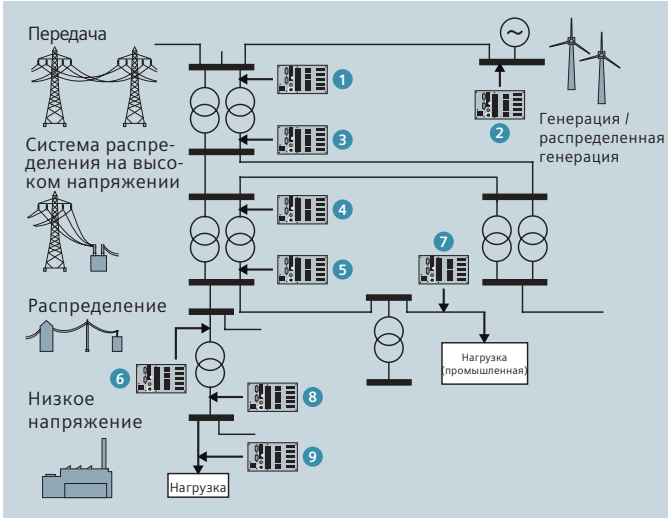


Рис. 6.4-6: **Общая схема системы**

№	Точки измерения	Место расположения.
1	Фидер передачи (линия или трансформатор)	Сборные шины
2	Генераторная станция / распределенная генерация	Шина, трансформатор или соединение генератора
3	Распределение на высоком напряжении	Шина (например, где шина принадлежит и эксплуатируется передающей компанией)
4	Фидер подпередачи (линия или трансформатор)	Удаленный конец линии (например, где линии принадлежат и эксплуатируются передающей компанией)
5	Распределение, питание линии	Вторичная сторона трансформатора или кабель к соседней подстанции
6	Фидер распределения (линия или трансформатор)	Понижающие трансформаторы
7	Распределительная нагрузка	Понижающие трансформаторы (например, где трансформаторы принадлежат и эксплуатируются распределительной компанией)
8	Питание НН	Трансформатор распределительной компании
9	Нагрузка НН	Нагрузка или трансформатор у потребителя

Таблица 6.4-5: **Точки измерения и расположения в системе**

6.4.2 Счетчики энергии SICAM P

SICAM P – это счетчик энергии для панельной установки с графическим дисплеем и фоновой подсветкой или стандартной установкой на монтажную DIN-рейку, используемый для сбора и/или отображения измеренных значений в системах электрического энергоснабжения. Позволяет измерять более 100 значений, в т.ч. действующие значения напряжений (межфазное и/или фаза-земля), токи, активную, реактивную и полную мощность и энергию, коэффициент мощности, фазовый угол, гармоники токов и напряжений, полное гармоническое искажение на фазу плюс коэффициент частоты и симметрии, выход энергии, а также внешние сигналы и состояния.

SICAM P доступен с монтажными параметрами 96 мм x 96 мм и его можно заказывать с дисплеем или без него.

SICAM P стандартно поставляется с двумя дискретными выходами, которые можно конфигурировать для счетчиков энергии, предельных изменений параметров или сигналов состояния. Под заказ SICAM P можно оснастить 1 дополнительным модулем аналогового входа или выхода.

Модуль также может активизироваться при достижении устанавливаемых пределов. Эта функция может быть запрограммирована для получения выборочных измерений или действующих значений. SICAM P генерирует список минимальных, средних и максимальных значений для тока, напряжения, мощности, энергии и т.д. Независимые настройки для тока, напряжения, активной и реактивной мощности, коэффициента мощности и т.д также возможны. В случае превышения этих пределов устройство формирует аварийный сигнал. До 6 групповых аварийных сигналов можно сформировать с использованием логических комбинаций И/ИЛИ. Аварийные сигналы можно использовать для увеличения значений счетчика, для запуска функции осциллографа, для генерации импульсов дискретного выхода и т.д.

Рис. 6.4-7: **SICAM P - счетчик энергии**

Обзор функции

- Измерение напряжения, тока, активной и реактивной мощности, частоты, активной и реактивной энергии, коэффициента мощности, коэффициента симметрии, гармоник напряжения и тока до 21-й, суммарных гармонических искажений.
- Однофазное, трехфазное сбалансированное или несбалансированное подключение, 4-проводное подключение
- Обмен данными: PROFIBUS-DP, MODBUS RTU I ASCII или МЭК 60870-5-103, MODBUS RTU/ ASCII (только SICAM P50 Series) протокол связи
- Простое параметрирование фронтальной клавишей или через коммуникационный порт RS485 с использованием ПО SICAM P PAR

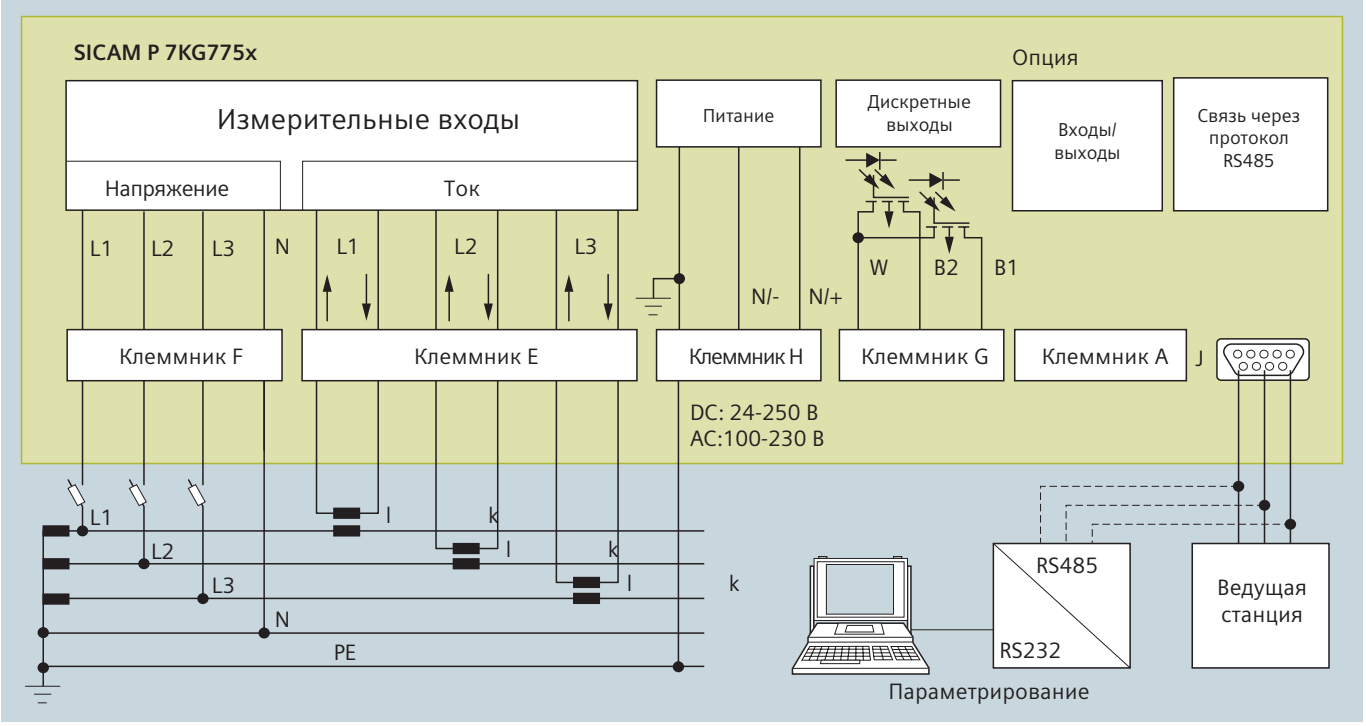


Рис. 6.4-8: **Входы/выходы для серии P50**

- Графический дисплей с фоновой подсветкой с программируемыми экранами в количестве до 20 шт.
- Часы реального времени: измеренные значения и состояния записываются с метками времени.
- Управление 1 МБ памяти: распределение энергонезависимой памяти измерений программируется.
- Запись и отображение превышения предельных значений с записью в журнал.
- Батарея: такие записи как превышение предельных значений или значения счетчика энергии безопасно сохраняются в памяти до 3 месяцев в случае пропадания питания.

Приложения
Системы контроля энергии с постоянно установленной системой SICAM P, позволяют вести непрерывную запись данных, связанных с энергией, и предоставляют информацию по рабочим характеристикам электрических систем. SICAM P помогает идентифицировать источники потребления энергии и время пикового потребления. Благодаря этим данным можно распределить и сократить энергозатраты.

Основная сфера применения – контроль и запись значений мощности на уровне среднего и низкого напряжения. Основные типы информации – измеряемые значения, аварийные сообщения и информация о состоянии.

SICAM P50/P55:

Модули входов и выходов
SICAM P50/P55 можно оснастить дополнительными модулями аналогового входа или выхода. SICAM P50/P55 поставляется с 1 слотом, в который можно установить модуль. Для различных сфер применения доступно 5 разных модулей.

Применение.
Входные модули можно использовать для сбора, отображения и дальнейшей обработки внешних сигналов с диапазоном измерений 0 - 20 мА DC

Измеренные значения можно отображать вместе с единицами измерения на дисплее. Также возможна передача текущего состояния измеренного сигнала на центральную ведущую станцию через PROFIBUS-DP V1, MODBUS RTU / ASCII или МЭК 60870-5-103.

Кроме того, средние значения всех внешних аналоговых каналов, а также состояния цифровых каналов можно записывать и сохранять в памяти.

Все записанные данные и информацию о дискретных состояниях можно считать и оценить конфигурационным ПО SICAM P Manager.

Выходные модули можно использовать для преобразования любого электрического параметра (ток, напряжение и т.д.) в исходящий сигнал 0 - -20 / 4 - 20 мА DC, генерации импульсов для измерения, указания о превышении предельных значений, а также операций переключения.

Назначение модулей
Комплектация различными аналоговыми/цифровыми модулями может быть сделана только в процессе заказа SICAM P. Изменения или модернизация модулей существующих SICAM P не представляется возможным.

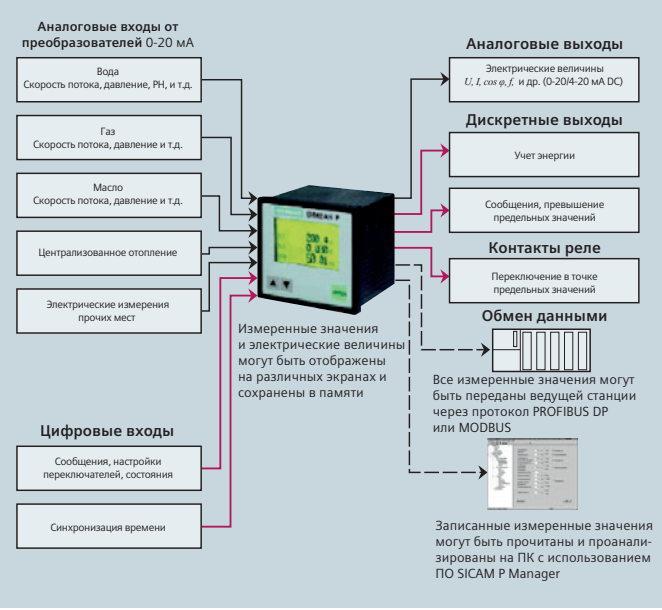


Рис. 6.4-9: **SICAM P примеры приложений**

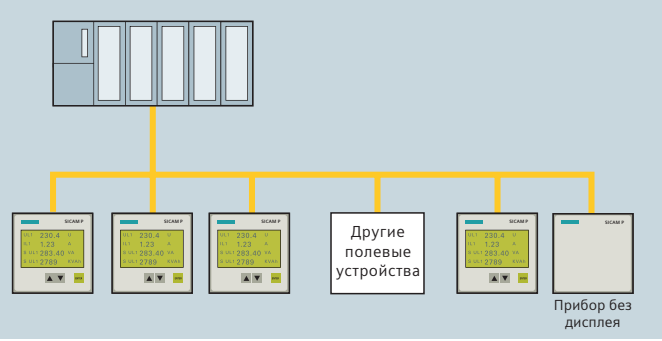


Рис. 6.4-10: **SICAM P с PROFIBUS-DP, MODBUS и МЭК 60870-5-103**

На рис. 6.4-9 показан пример расширенного входа/выхода для различных применений.

Пример применения 1 (рис. 6.4/-10)
SICAM P как устройство, монтируемое на панель или с зажимами, для использования на шине процесса.

Сети могут быть связаны с интегрированным портом RS485 со стандартным коммуникационным протоколом PROFIBUS-DP и MODBUS RTU/ASCII. Кроме того, можно интегрировать SICAM P50 в коммуникационные сети с МЭК 60870-5-103 как стандартный протокол. Это обеспечивает возможность отображения, анализа и обработки нескольких параметров, измеряемых SICAM P, на центральной мастер-станции.

Основная сфера применения – интеграция в системы ПЛК в качестве преобразователя.

6.4.3 Преобразователь цифровых измерений SICAM T

SICAM T – это преобразователь цифровых измерений, который позволяет измерить электрические величины в электрических сетях в одном блоке. В промышленности, на электростанциях и подстанциях преобразователи используются для передачи измеряемой величины (например, тока, напряжения, мощности, фазного угла, энергии или частоты) для дальнейшей обработки через аналоговые выходы или коммуникационный интерфейс для выполнения задач точного управления, уведомления или визуализации.

Тип устройства
- Устройство, монтирующееся на рейку
- Пластиковый корпус 96 мм x 96 мм x 100 мм/ 3.7795 x 3.7795 x 3.9370 дюймов (ШхВхГ)
- Класс защиты IP20.

Входные и выходные цепи
- 4 входа для измерений значения переменного напряжения
- 3 входа для измерений значения переменного тока до 10 A длительно
- 4 дополнительных аналоговых выхода постоянного тока, которые могут свободно конфигурироваться:

Постоянные токи: от 0 мА до 20 мА, от 4 мА до 20 мА и от -20 мА до 20 мА

Постоянное напряжение: от 0В до 10В и от -10В до 10В
- Отдельно программируемые дискретные выходы.

Светодиодные индикаторы (СИД) сигнализации
- Автоматически контролируют правильность функционирования своих аппаратных средств, ПО и компонентов прошивок.

Обмен данными
- Ethernet: МЭК 61850 или коммуникационный протокол MODBUS TCP
- Дополнительный последовательный интерфейс RS485, который позволяет устройству обмениваться данными через коммуникационный протокол MODBUS TCP или МЭК 60870-5-103.

Измеряемые величины

Из измеренных величин можно записать или рассчитать следующие измеряемые величины:
- TRMS (Истинное RMS) для переменного напряжения и тока

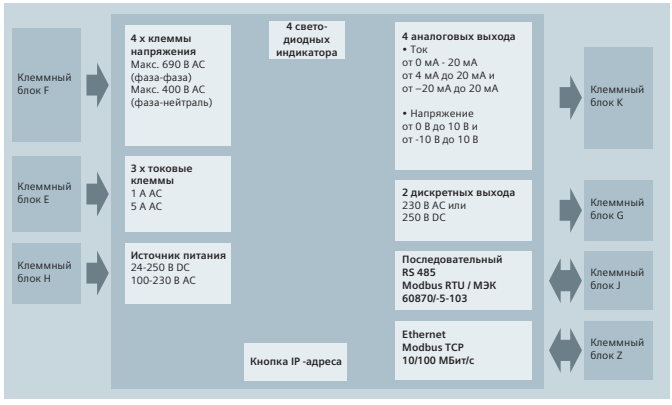


Рис. 6.4-11: **Блок-схема SICAM T 7KG9661**

Рис. 6.4-12: **Преобразователь цифровых измерений SICAM T**

- Активная, реактивная и полная мощность
- Активная, реактивная и полная энергия
- Частота сети
- Фазный угол
- Коэффициент мощности и коэффициент активной мощности
- Несимметричность напряжения и тока
  - Среднее значение 3-фазных напряжений: Ucp
  - Среднее значение 3-фазных токов: Icp

Синхронизация времени

Для общего базиса времени при обмене данными с периферийными устройствами и присвоении меток времени данным процесса.
- Внешняя синхронизация времени через Ethernet NTP
- Внешняя синхронизация времени через шину данных, с использованием коммуникационного протокола MODBUS TCP или МЭК 60870-5-103
- Внутренняя синхронизация времени через RTC (если внешняя синхронизация времени недоступна).

Время срабатывания для аналоговых и дискретных выходов

Более быстрое время срабатывания аналогового и дискретного выхода является важной характеристикой устройства SICAM T, которое обеспечивает надежный отклик управляющих применений. Время срабатывания устройства составляет 120 мс при 50 Гц и 100 мс при 60 Гц.

Приложения
- Преобразование и интеграция измеряемых величин в систему автоматизации подстанции, защиты или процесс SCADA через RTU и/или через протоколы МЭК 61850 (для модели 7KG9662), MODBUS TCP,
- МЭК 60870-5-103 для задач дальнейшего управления и/или контроля
- Контроль более низких уровней напряжения и управление нагрузочным режимом, например, кондиционирования воздуха и двигателей
- В зависимости от типа устройства входные цепи для измерения напряжения могут быть спроектированы как делители напряжения, либо могут быть изолированы гальванически. Устройства с гальванической изоляцией в системах электроснабжения типов IT, TT и TN могут использоваться без трансформаторов напряжения. Устройства с делителями напряжения также могут использоваться в этих системах, однако для систем IT необходим расположенный выше трансформатор напряжения.

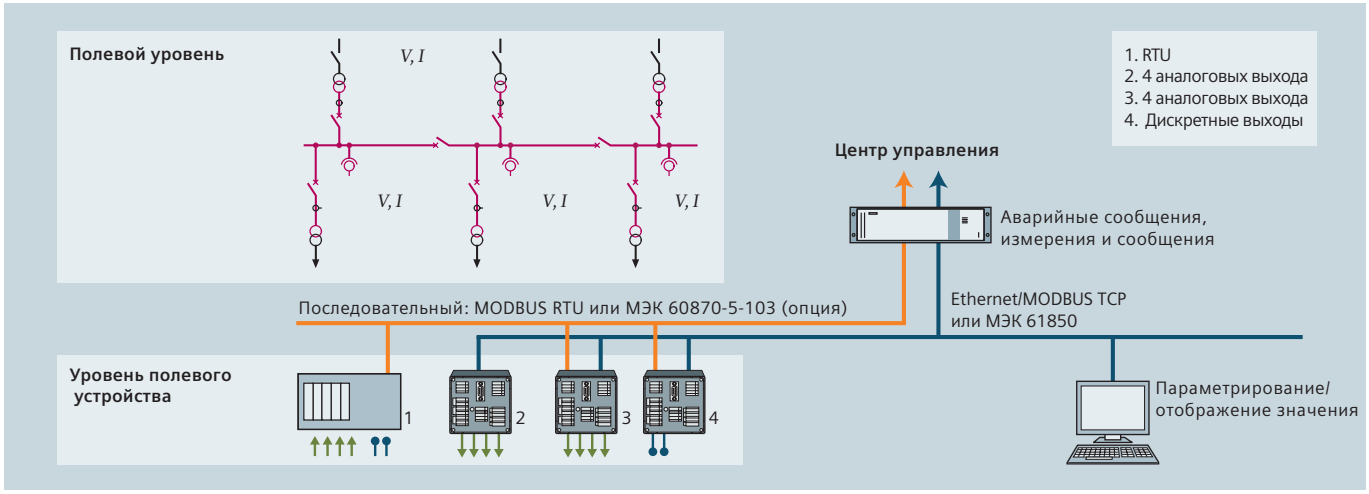


Рис. 6.4-13: **Применения SICAM T**

Основные возможности

- Исполнение: Компактное и прочное устройство для использования на промышленных объектах и в коммунально-бытовой сфере
- Подключения к 1-фазным системам, 3-х и 4-х проводным системам
- Применение: Подходит для применения в энергосистемах, промышленном и коммерческом секторах
- Измерения: доступно до 60 измеряемых или рассчитываемых значений
- Температурный диапазон: от -25 °C до +55 °C/ от -13 до 131 °F
- Высокая точность: обычно 0,1% для напряжения и тока при номинальном входе МЭК 60688 и 0.2 с в соответствии с МЭК 62053-21
- Высокая защищенность ЭМС: в соответствии со стандартами EN 61000-6-2 и EN 61000-6-4 для директив ЭМС, а также стандартом EN 61010-1 для директивы о низком напряжении
- Сертификация UL: Данный продукт сертифицирован лабораторией по технике безопасности (организация UL США) в соответствии со стандартом UL 61010-1.

Применения SICAM T:

Для целей местного контроля или управления через передачу на аналоговые выходы до 60 доступных электрических параметров, уведомлений через дискретные выходы или интеграцию в системы SCADA/контроля через коммуникационный интерфейс, например, последовательный или Ethernet (см. рис. 6.4-13).

Основные показатели

- Гибкий диапазон измерения тока (до 2x Iном)
- 4 быстродействующих аналоговых выхода (срабатывание примерно 120 мс при 50 Гц и 100 мс при 60 Гц) для надежного управления
- 2 отдельных дискретных выхода для быстрого переключения, вывода сообщений (например, о превышении предельных допусков) и контроля рабочего состояния
- 4 светодиодных индикатора для отображения местного состояния
- Связь Ethernet через МЭК 61850 и MODBUS TCP и последовательный интерфейс через MODBUS RTU или МЭК 60870-5-103
- Внутренняя батарея для часов реального времени и сохранения показаний счетчиков электроэнергии в случае отключения электроэнергии
- Удобная работа через веб-сервер (не требует никакого дополнительного ПО для параметрирования, никаких конвертеров или дополнительных кабелей)
- Часы реального времени (RTC), возможна синхронизация шины данных или синхронизация сети через NTP.

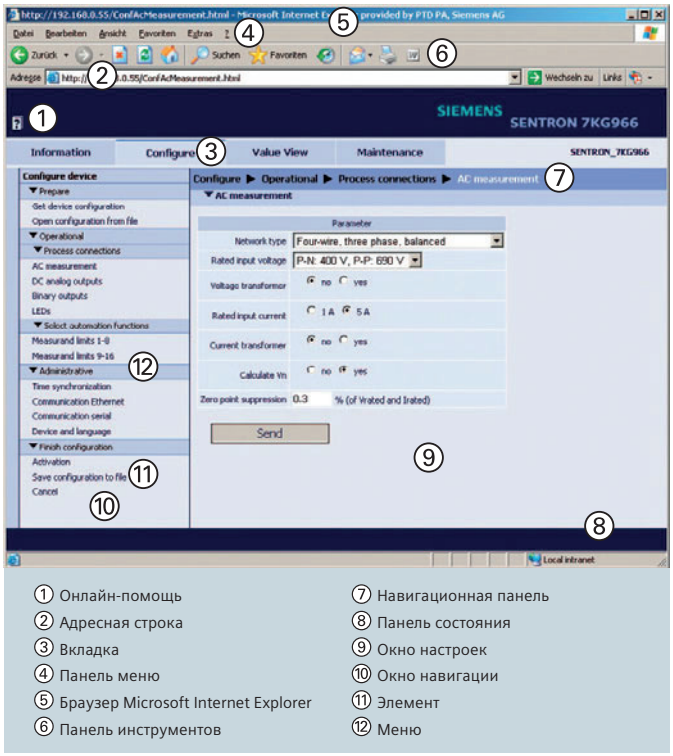


Рис. 6.4-14: **Структура пользовательского интерфейса SICAM T GUI**

Графический пользовательский интерфейс

Программное обеспечение по параметрированию и контролю

Конфигурацию устройства можно выполнить только с подключенного ПК или ноутбука. В устройстве реализован пользовательский интерфейс SICAM T GUI (GUI = Графический пользовательский интерфейс), что означает, что для выполнения всей работы и параметрирования устройства не требуется никакого дополнительного программного обеспечения. Осуществлять навигацию можно с помощью браузера Microsoft Internet Explorer, используя кнопки, расположенные на панели инструментов.

Состояние устройства, подключения, параметрирование, файлы системного журнала, просмотр значений и обслуживание можно легко обрабатывать через интерфейс SICAM T GUI.

6.4.4 Мониторинг и анализ качества напряжения с SICAM Q80

Качество энергии – это комплексный вопрос. Качество напряжения зависит от всех участников связанных в энергосистеме: энергосистемы передачи и распределения, производители электроэнергии и конечные потребители. Неадекватное качество энергии негативно влияет на надежность нагрузок в системе энергоснабжения и может иметь серьезные последствия. SICAM Q80 – это компактный и мощный регистратор, предназначенный для энергосистем и промышленности, для непрерывного контроля качества энергии на соответствие нормативам (например анализ по стандарту), а также записи на основе событий с объяснительной целью (например, запись формы волны), от генерирующей установки к последнему потребителю в цепи энергоснабжения.

Используя SICAM Q80 можно постоянно контролировать качество системы энергоснабжения. Это может быть основано на критериях качества, определенных в Европейском стандарте качества систем энергоснабжения EN 50160 или на других критериях оценки. Кроме того, данные выше или ниже определенного порогового значения сохраняются и могут использоваться для общего анализа. Он обеспечивает информацию, с которой можно видеть полное электрическое состояние энергосистемы!

Сфера применения SICAM Q80
- Применение нормирования показателей качества энергии: измерения, сравнения и профилирования показателей качества электрической энергии в отдельных сегментах электрической системы таких как производство, передача, субпередача и система распределения.
- Применение анализа показателей качества энергии: запись нарушений (например, фиксация формы волны) обеспечивает понимание причин и последствий проблем качества энергии.

Преимущества
- Удовлетворенность клиента: Доказано, что компании с подходящей системой контроля качества энергии являются более надежными поставщиками и потребителями энергии.
- Защита фондов: Раннее определение нарушений и активная реакция на них. Комплексная информация для увеличения видимости и контроля фондов на удаленных участках сети.
- В случае переговоров или споров, контроль качества энергии предоставляет свидетельство для согласования интересов и поддержки соглашений между сторонами.
- В качестве снабжения заинтересованы энергосистемы, регулирующие органы, потребители и окружающая среда.

Рис. 6.4-15: **SICAM Q80 Регистратор качества**

Обзор функции
Измерение в нормальном режиме и при нарушениях в соответствии с необходимыми требованиями точности, как оговорено в МЭК 61000-4-15, МЭК 61000-4-7 и МЭК 610004-30 (класс А).

Запись и оценка
- Напряжение и частота питания: отклонение частоты
- Медленные колебания напряжения: обнаружение и мониторинг кратковременной потери питания
- Быстрые изменения напряжения: нарастание напряжения, провалы напряжения, скачки напряжения и пульсации напряжения в сети (колебания)
- Передаваемые по силовой линии ВЧ-сигналы совмещаются с напряжением питания
- Форма волны напряжения: гармоники (до 50-й гармоники) и до 10 промежуточных гармоник
- Гибкий предел значения и определение события
- Запись неисправности, срабатывающая от формы волны и дискретных значений
- Сравнение и отчетность профиля качества энергии в соответствии с EN 50160 или местными стандартами.

Функции

- Подходит для мониторинга однофазных, 3- и 4-проводных силовых систем (до 1000 В (действ.знач.)
- 4 канала измерения напряжения, 4 тока или 8 напряжения
- Стандарт: 4 дискретных входа, 4 дискретных выхода
- Частота дискретизации 10 кГц для анализа сети
- Точность измерений 0,1% диапазона
- Высокая локальная возможность хранения: съемная карта «compact flash» (стандартная поставка 2 ГБ)
- Расширенный процесс сжатия данных (данные качества энергии)
- Автоматическая передача данных
- Автоматическое сравнение и отчетность профиля качества энергии в соответствии с EN 50160 или вашим местными стандартами.
- Автоматическое уведомление в случае сбоя или нарушения по электронной почте, CMC или по факсу
- Функции экспорта
- Интерфейсы Ethernet и модемной связи для параметрирования, дистанционного мониторинга и опроса
- GPS / DCF-77 / IRIG-B и NTP для синхронизации
- Система запуска сети
- Простая эксплуатация, компактный и надежный дизайн

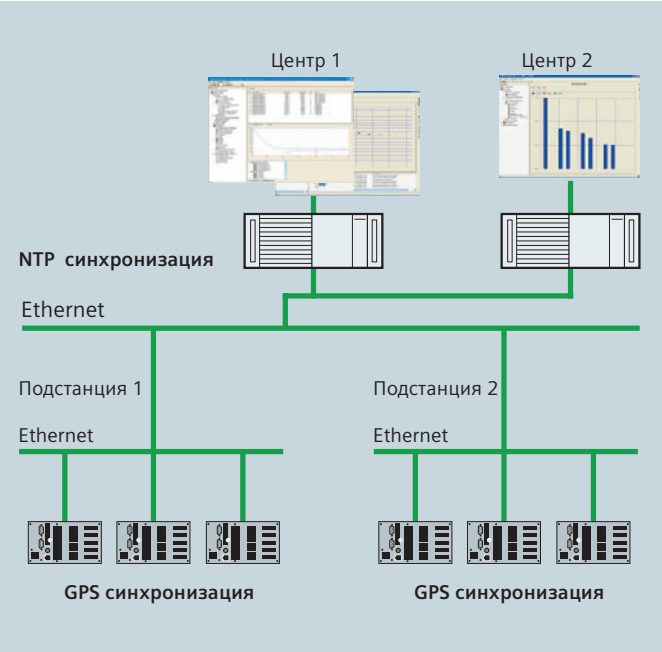


Рис. 6.4-16: **Типовые конфигурации для системы мониторинга КЭ**

6.4.5 SIPROTEC 7KE85 - Цифровой регистратор повреждений с встроенным измерением параметров Качества Энергии (КЭ)* и измерением векторных величин (PMU)

Применение.
- Автономные стационарные регистраторы для систем сверхвысокого, высокого и среднего напряжения
- Компонент вторичного оборудования электростанций и подстанций или промышленных предприятий

Обзор функции
- Интеграция в семейство SIPROTEC 5
  - Принцип непрерывной диагностики аппаратной части
  - Различные модули расширения
  - DIGSI как инструмент настройки
  - Выбор функции с помощью функциональной единиц
- Регистратор помех класса S для применения в подстанциях CH/ BH / CBH и в электростанциях
  - 1 x Регистратор быстрого сканирования
  - 2 x Регистратора медленного сканирования
  - 5 x Регистраторов непрерывной записи
- Регистратор качества электроэнергии класса S согласно стандарта EN50160 для анализа, а также записи и архивирования проблем качества электроэнергии всех включений энергосети
- Регистратор событий для дискретных сигналов наблюдения за состоянием различных первичных компонентов, таких как автоматические выключатели, разъединители и др.
- PMU согласно IEEE C37.118.
- Коммуникация с МЭК 61850
- Частоты дискретизации программируемые между 1 кГц и 16 кГц
- Синхронизация времени через IRIG B/DCF77/SNTP
- Внутренняя память:
  - 12 Гбайт кольцевого буфера
  - Мониторинг достоверности I Сжатие данных без потерь
- Гибкая маршрутизация
  - Возможность присвоения измеренного значения к каждому регистратору
  - Свободная комбинация групп измерений для расчета электроэнергии
- Записанные биты качества
  - Отчет достоверности для каждого зарегистрированного значения + мониторинг качества канала в ПО SIGRA или SIC AM PQ Analyzer
- Запись значений и запуск GOOSE сигналов
- Создание гибких функций защиты с использованием программируемой логики CFC
- Дополнительные функции для простоты тестирования и ввода в эксплуатацию
- Тестовый регистратор для наладки и проверки системы

Рис. 6.4-17: **Цифровой регистратор повреждений 7KE85**

Рис. 6.4-18: **Модуль расширения**

Рис. 6.4-19: **Базовый модуль, вид сзади**

**в подготовке*

Применение в качестве Блока измерений векторов (PMU)
С цифровым регистратором повреждений 7KE85, функции «Блока измерений векторов» доступны как и прежде.

На рис. 6.4-20 показан принцип применения. Измерение тока и напряжения с учетом амплитуды и фазы осуществляется с использованием блоков PMU на отдельных подстанциях системы передачи. Благодаря высокой точности временных меток присвоенных векторным величинам PMU, измеренные значения могут отображаться в виде общей векторной диаграммы в центральной анализируемой точке. Это обеспечивает хороший обзор условий стабильности системы, и позволяет отображать динамические процессы, например колебания мощности.

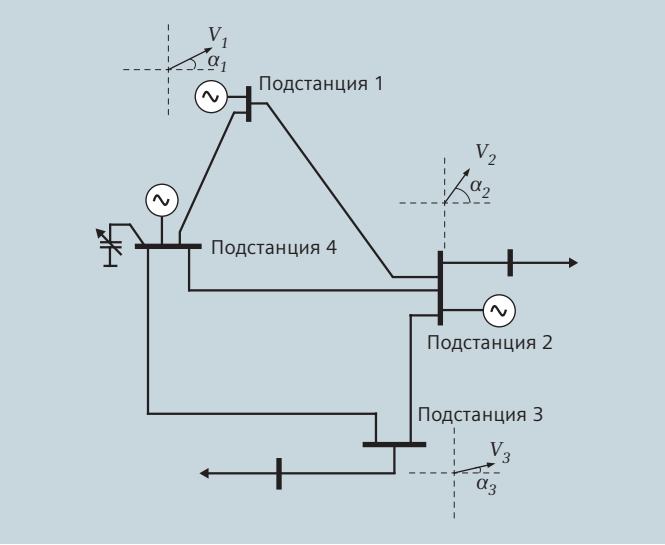


Рис. 6.4-20: **Принцип распределенного измерения векторов**

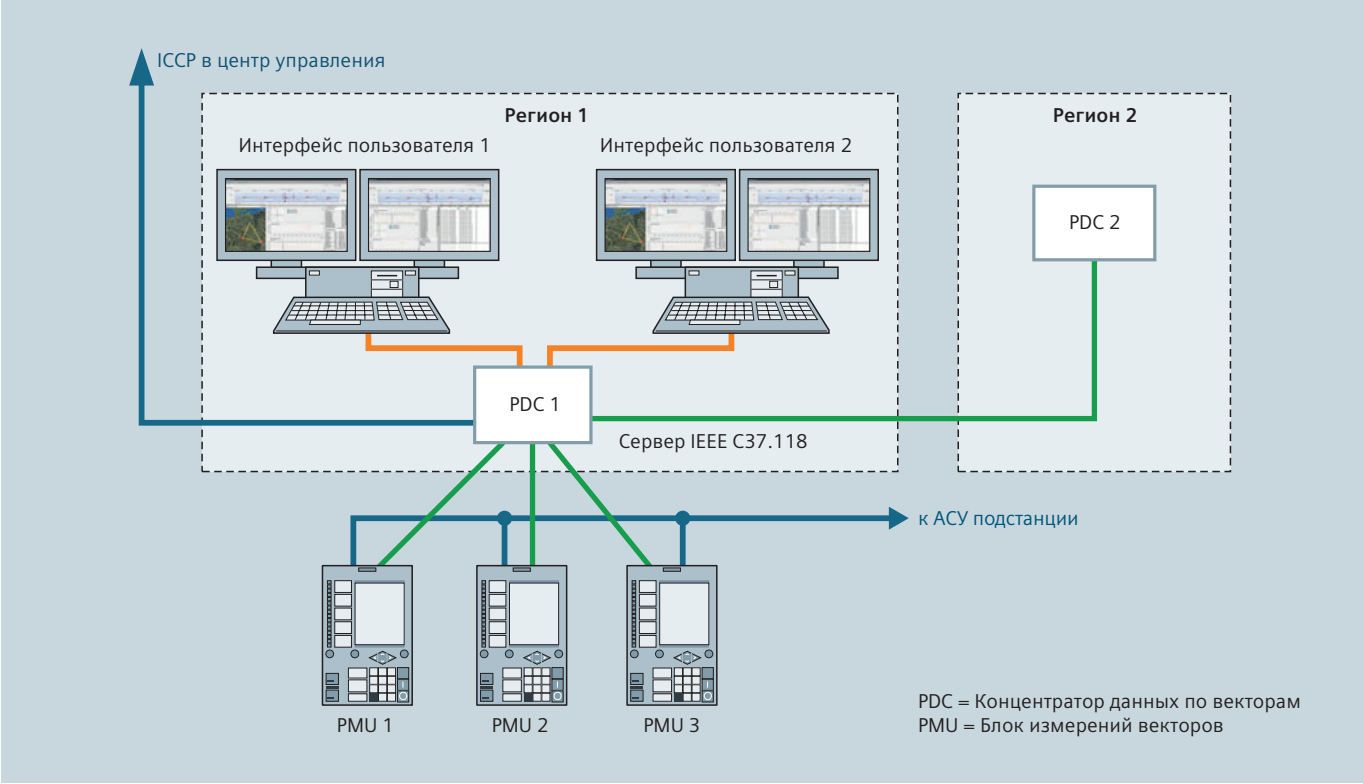


Рис. 6.4-21: **Подключение 3х «Блоков измерений векторов» с двумя «Концентраторами данных по векторам» (PDC) SIGUARD PDP**

Если опция «Блок измерений векторов» выбрана, устройства определяют значения векторов токов и напряжений, присваивают им высокоточные метки времени и отправляют их в концентратор данных по векторам, вместе с другими измеренными значениями (частоты, скорости изменения частоты) через коммуникационный протокол IEEE C37.118, см. рис. 6.4-21.

С помощью синхронизации векторов и подходящей программы анализа (например, SIGUARD PDP) можно определить колебания мощности автоматически и генерировать сигналы тревоги, которые отправляются, например в центр управления энергосетью.

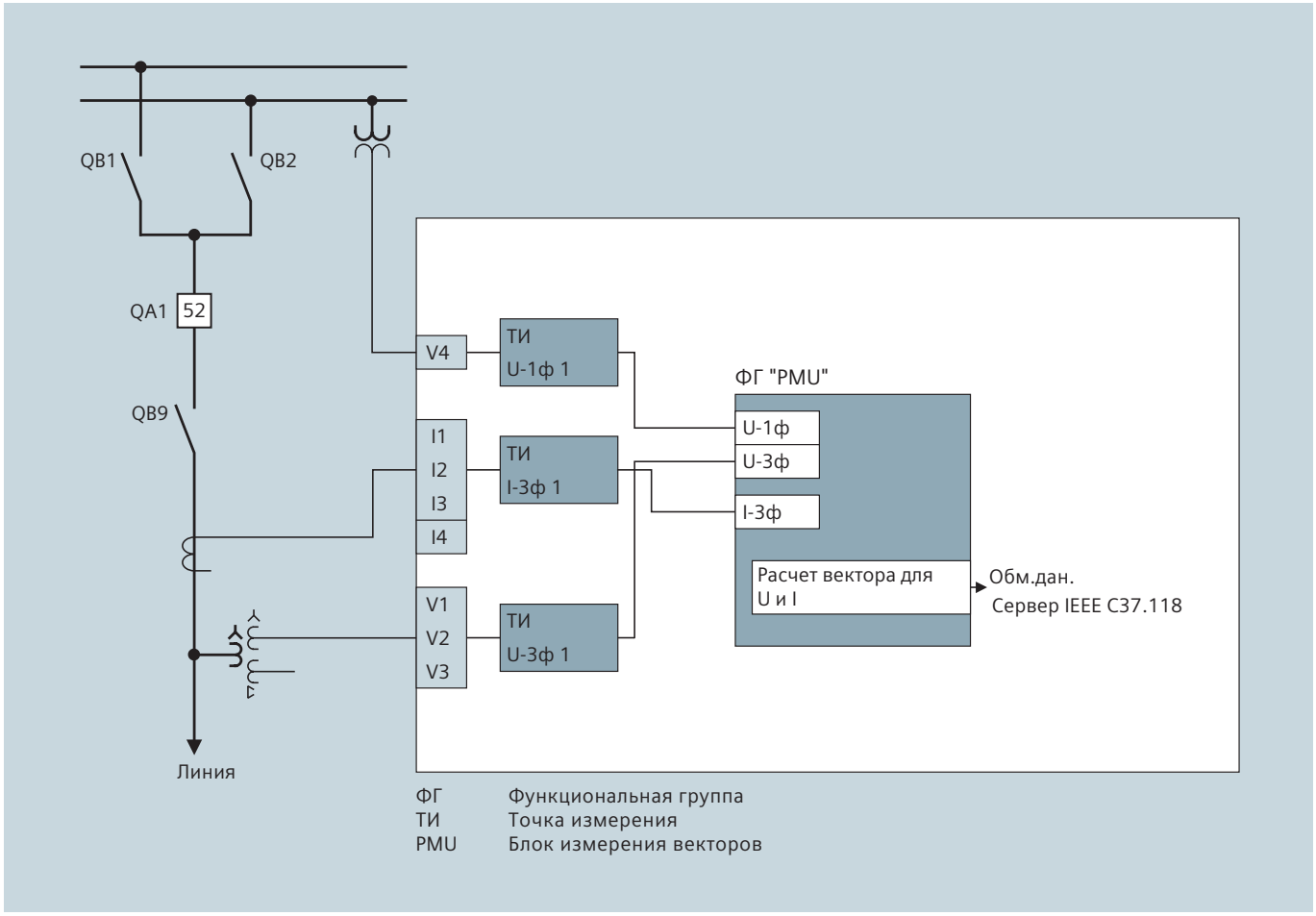


Рис. 6.4-22: **Пример применения**

Когда PMU используется, в устройстве создается функция «PMU», см. рис. 6.4-22. Эта функциональная группа рассчитывает положение векторов и их аналоговые значения, устанавливает временные метки и отправляет данные для выбранного интерфейса Ethernet с протоколом IEEE C37.118. Там они могут быть получены, сохранены и обработаны с помощью одного или нескольких клиентов. В устройстве может быть выделено до трех IP-адресов клиентов.

Информация для планирования проекта с 7KE85
Вспомогательные компоненты системы высокого или среднего напряжения, могут быть размещены в централизованном релейном помещении или в низковольтных питающих отсеках КРУ. Исходя из этого, система 7KE85 была разработана таким образом, что допускает как централизованный так и децентрализованый монтаж.

7KE85 может поставляться с зависимой от комбинации вводов/выводов шириной. Например, достаточно только базового модуля, если измеряемые величины ограничены одним фидером (например, 8 аналоговых и 8 дискретных сигналов). Что часто применяется для установок высокого напряжения, где каждый фидер оборудован дополнительным релейным отсеком для вспомогательного оборудования. Во всех остальных случаях расширение комбинации аналоговых и дискретных сигналов через набор входов/выходов является более экономичным. Модульная структура с различными интерфейсами и модулями подключения обеспечивает максимальную гибкость.

Типичные области применения 7KE85
- Мониторинг питания
  Мониторинг питающего ввода от высоковольтной сети через 2 трансформатора на 2 сборных шинах сети среднего напряжения. Это применение является актуальным как для вводных линий муниципальных жилищно-коммунальных предприятий, так и для крупных промышленных предприятий (рис. 6.4-23)
- Мониторинг питающего ввода (рис. 6.4-24)

Мониторинг повреждений и качества электроэнергии в электрических сетях
Энергоснабжающие компании с распределительными сетями не только поставщики, но и потребители, особенно возобновляемых источников энергии. Поэтому, важно осуществлять мониторинг качества электроэнергии, как в точке передачи важным промышленным предприятиям, так и в точках снабжения поставщиков (рис. 6.4-25).

Мониторинг качества электроэнергии на промышленном предприятии
Всем промышленным предприятиям с чувствительным к КЭ производством необходимо документирование параметров качества электрической энергии в пункте передачи, таким образом, документ обоснует любые иски о возмещении ущерба в отношении поставщиков. Для внутреннего контроля, важно отслеживать отдельные участки с экономической точки зрения и конкретных качественных характеристик (рис. 6.4-26).

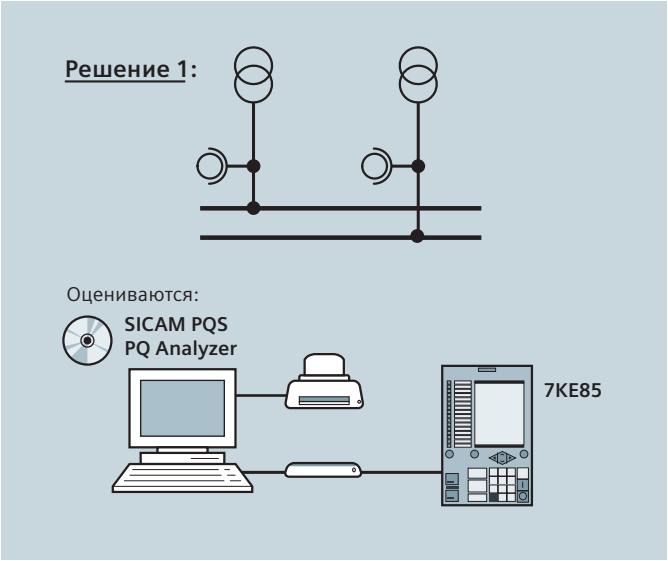


Рис. 6.4-23: **Мониторинг питания**

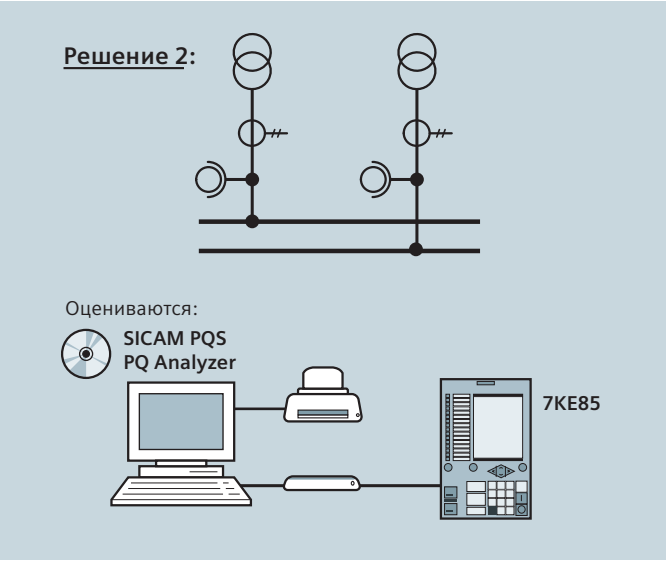


Рис. 6.4-24: **Мониторинг питающего ввода**

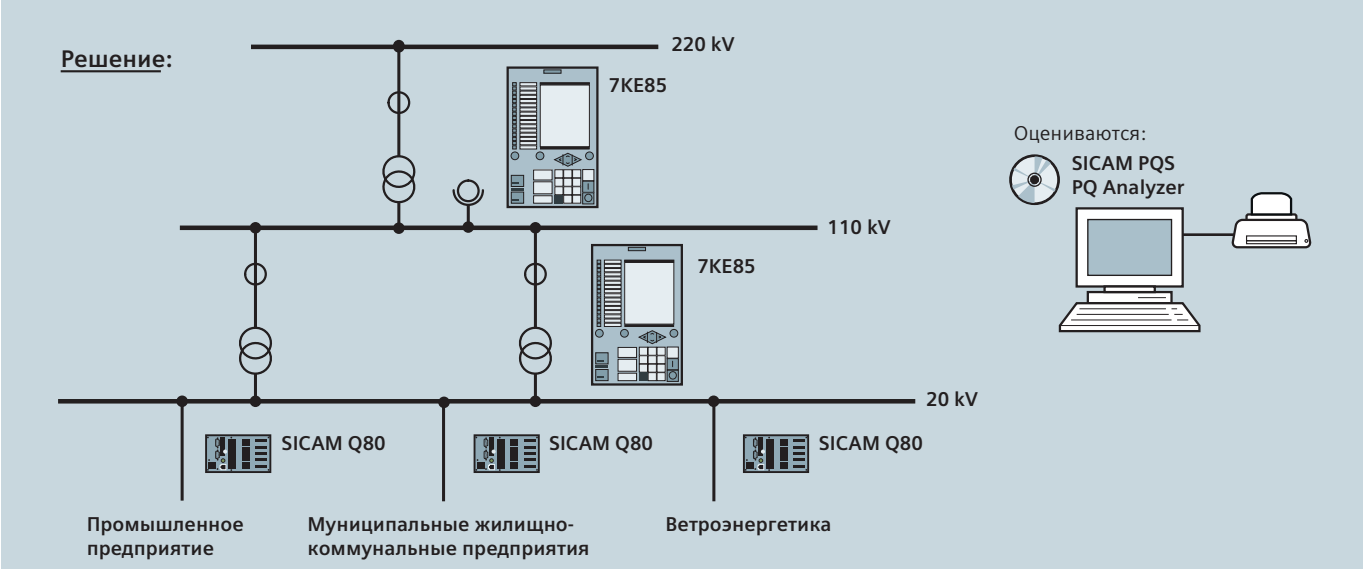


Рис. 6.4-25: **Контроль качества в системах распределения энергии**

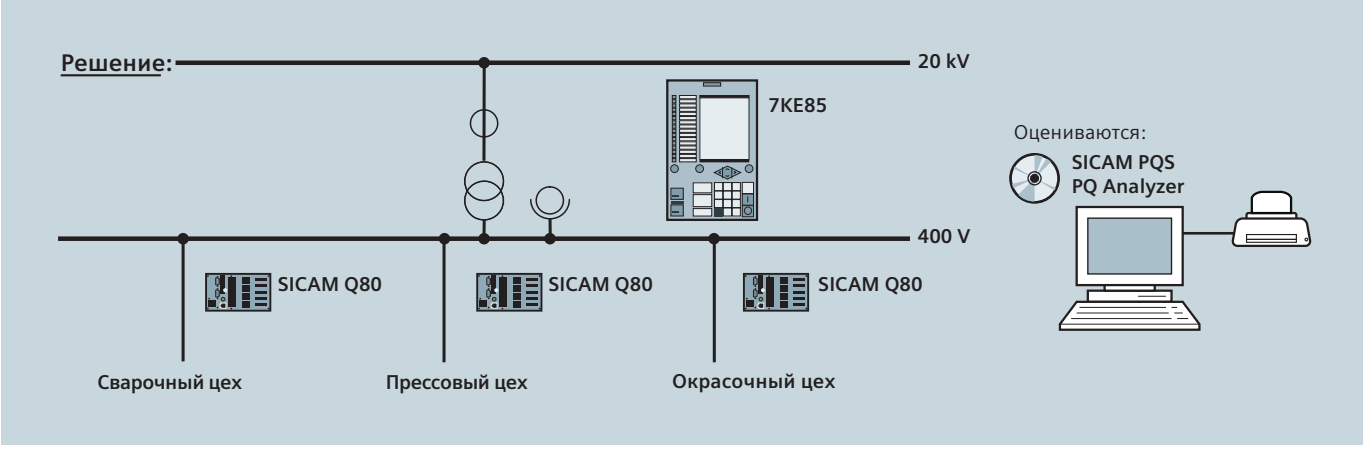


Рис. 6.4-26: **Мониторинг качества электроэнергии на промышленном предприятии**

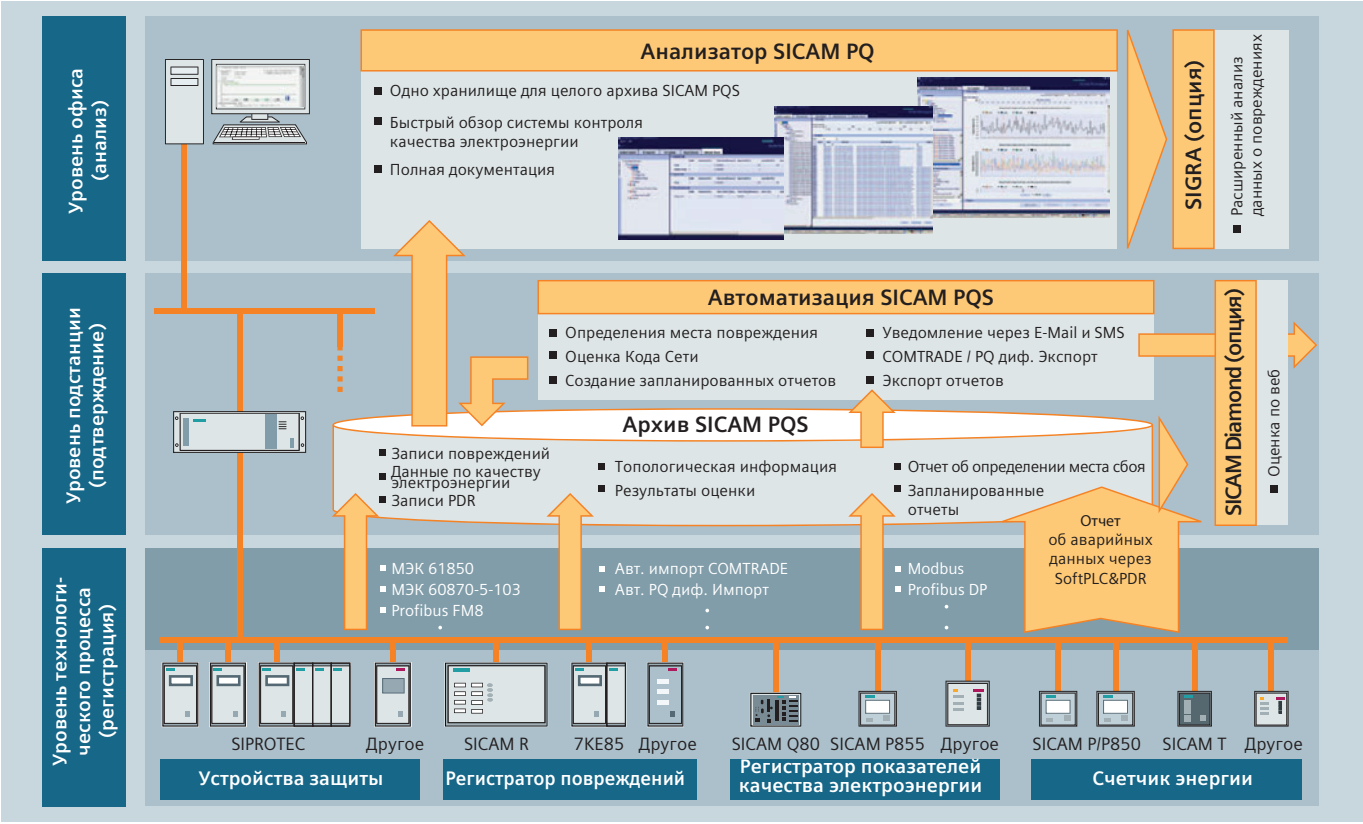


Рис. 6.4-27: **SICAM PQS - Одна система для всех данных качества электроэнергии**

ПО SICAM PQS система регистрации повреждений и анализа качества энергии
SICAM PQS Программный пакет SICAM PQS предназначен для использования в персональных компьютерах оснащенных операционной системой MS Windows 7. Он используется для дистанционной передачи по МЭК 61850, оценки и архивирования данных полученных от 7KE85, цифровых устройств защиты, а также от регистратора качества электроэнергии SICAM Q80 . Программа используется для настройки конфигурации системы, параметризации 7KE85 и SICAM Q80, установленных в общей рабочей зоне. Что позволяет полностью автоматизировать передачу всех записанных данных (записи повреждений, события, средние значения) от устройств мониторинга на одну или несколько сетевых станций оценки SICAM PQS; полученные данные затем могут быть немедленно отображены, и в соответствии со стандартами качества энергосистемы (рис. 6.4-27).

SICAM PQS предлагает широкий выбор приложений и средств оценки, что позволяет оператору осуществлять более детальный анализ записи с помощью временных диаграмм с настройкой отображения кривых, векторных диаграмм и др. Индивидуальные схемы могут быть адаптированы к индивидуальным требованиям с помощью масштабирования и функции приближения. Различные измеренные величины могут быть немедленно рассчитаны путем отметки определенной точки на схеме с курсором (импеданс, реактивное сопротивление, активная и реактивная мощности, гармоники, пиковое значение, среднеквадратичное значение, значение симметрии и др.).

Кроме того может быть произведен автоматический расчет расстояния до места повреждения и формирование отчета, что будет выполнено после того, как событие было зарегистрировано в системе электроснабжения.

Анализ качества электроэнергии использует стандарты EN 50160 и МЭК 61000, или выполняется согласно стандартам энергосистемы, и использует эффективные инструменты, которые обеспечивают автоматически сформированной информацией об отклонениях от установленных ограничений.

Передача данных предпочтительно осуществляется посредством сети WAN (глобальная вычислительная сеть) или телефонной сети. В зависимости от контролируемой SICAM PQS энергосистемы, SICAM PQS может выполнить выравнивание соответствующей системы. Модульная структура SICAM PQS позволяет использовать отдельные функциональные пакеты идеально соответствующие требованиям. Кроме того, SICAM PQS также можно легко расширять для создания системы управления станцией для комбинированных вариантов применения. Программа полностью поддерживает архитектуру системы клиент / сервер.

Особенности
- Для совместной работы со сторонними производителями регистраторов повреждений, устройтств защиты и оборудования контроля КЭ, используются стандартные протоколы или импорт в формате COMTRADE/PQDIF
- Краткий обзор качества системы посредством хронологического отображения индекса КЭ
- Непрерывное ведение документации о качестве энергосистемы
- Автоматическое уведомление в случае нарушения установленных пороговых значений согласно стандартам энергосистемы.
- Автоматическое и точное определение места повреждения с учетом компенсации параллельных линий
- Структурированная, последовательная и постоянная документация и архивация данных
- Автоматическая генерация циклических отчетов качества электроэнергии

Функциональные пакеты SICAM PQS

«Incident explorer» (пакет «Анализатор событий»)
«Incident explorer» является центральным навигационным интерфейсом SICAM PQS. Он выступает в качестве пульта управления для пользователя и обеспечивает структурированный обзор событий во всей системе. Он показывает содержимое всего архива показателей качества электроэнергии с записью ошибок, отчеты о локализации аварий, пост-аварийный обзорный отчет, отчет качества электроэнергии, а также возможность определения места повреждения и импорт файлов comtrade. «Comtrade viewer», который входит в комплект поставки, позволяет анализировать повреждения в сети (рис. 6.4-28).

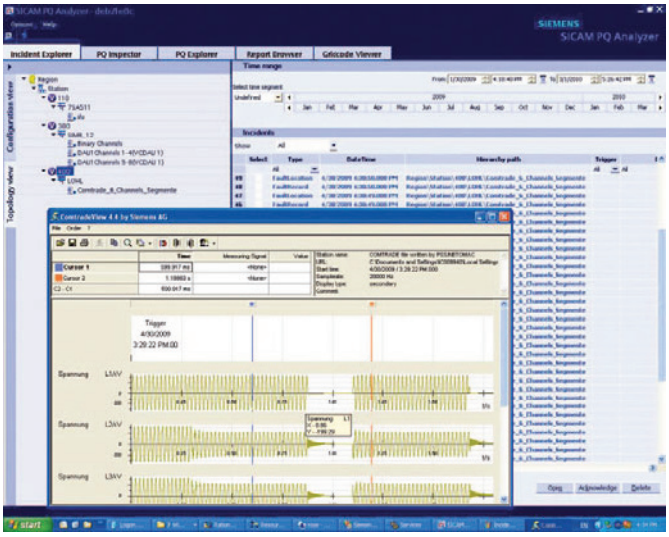


Рис. 6.4-28: **Incident explorer**

«PQ Inspector» (пакет «Инспектор КЭ»)
«PQ inspector» - это дополнительный модуль, который наглядно демонстрирует качество электрической энергии и состояние всей сети за выбранный период. Это позволяет быстро установить происхождение и вид нарушения. Еще одна особенность «PQ inspector» это возможность создания пользователем отчета качества электроэнергии по принципу «шаг за шагом» (рис. 6.4-29).

Рис. 6.4-29: **PQ Inspector**

«PQ Explorer» (пакет «Анализатор КЭ»)
«PQ explorer» выполняет подробный анализ основанный на сравнении измеряемых показателей качества энергии и данных непосредственно из стандартов энергосистемы. Это сравнение и большое количество различных схем, доступных для отображения данных качества электроэнергии позволяет очень быстро понять характер и степень нарушения качества электроэнергии и предпринять адекватные меры (рис. 6.4-30).

Рис. 6.4-30: **PQ Explorer**

«Report browser» (пакет «Навигатор отчетов»)
Отчеты создаются автоматически еженедельно, ежемесячно и ежегодно, а также в случае нарушения Сетевого Кода. «Report browser» выполняет обзор автоматически сформированных отчетов согласно выбранных временных диапазонов и оценки результатов. Индивидуальные отчеты могут быть открыты непосредственно в «Report browser» (рис. 6.4-31).

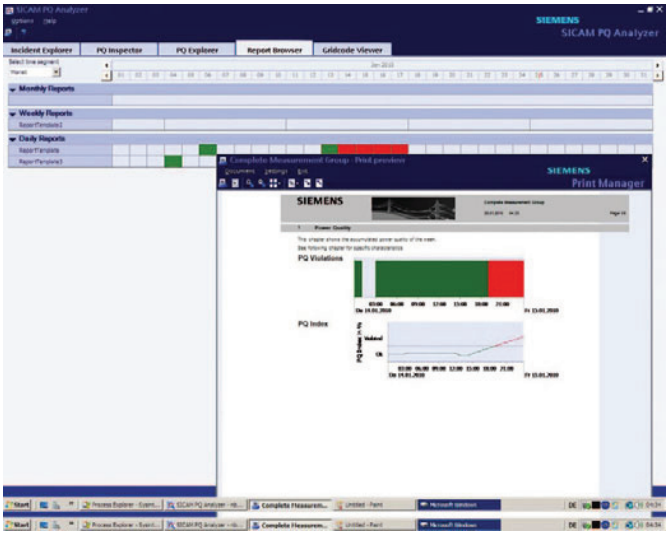


Рис. 6.4-31: **Report browser**

Определение места повреждения (ОМП) с компенсацией влияния параллельной линии
Одно- или двустороннее ОМП обеспечивает точное определение места повреждения, поиск может быть еще более точным за счет компенсации влияния параллельной линии. Отчет, который создается для каждого вычисленного места повреждения и содержит все важные данные. Быстрая, надежная локализация повреждений позволяет более эффективно координировать действия персонала и, таким образом, помогает минимизировать время простоя (рис. 6.4-32).

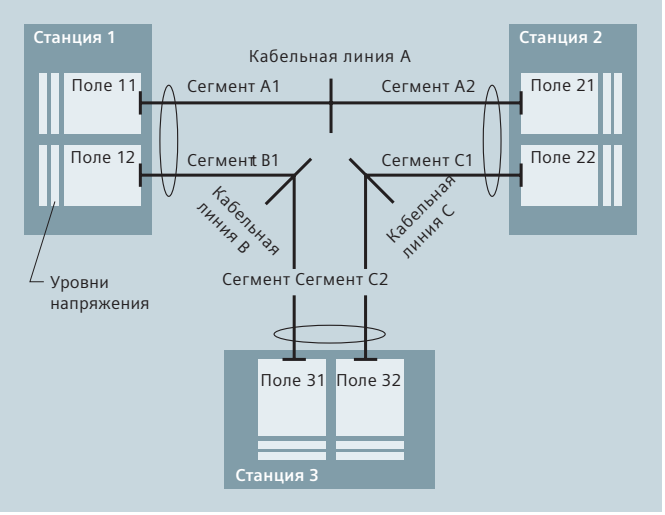


Рис. 6.4-32: **Определение места повреждения с компенсацией параллельной линии**

Мониторинг записей повреждений и отчетов КЭ с помощью Веб-Инструмента SICAM Diamond

Простой доступ через интернет к PQ Archive с SICAM Diamond. Можно наблюдать за записями о повреждениях, отчетами о нарушении КЭ (результат проверки КЭ), отчетами об определении мест повреждений , отчетами по расписанию (автоматически циклически сгенерированные отчеты о заданных показателях КЭ).

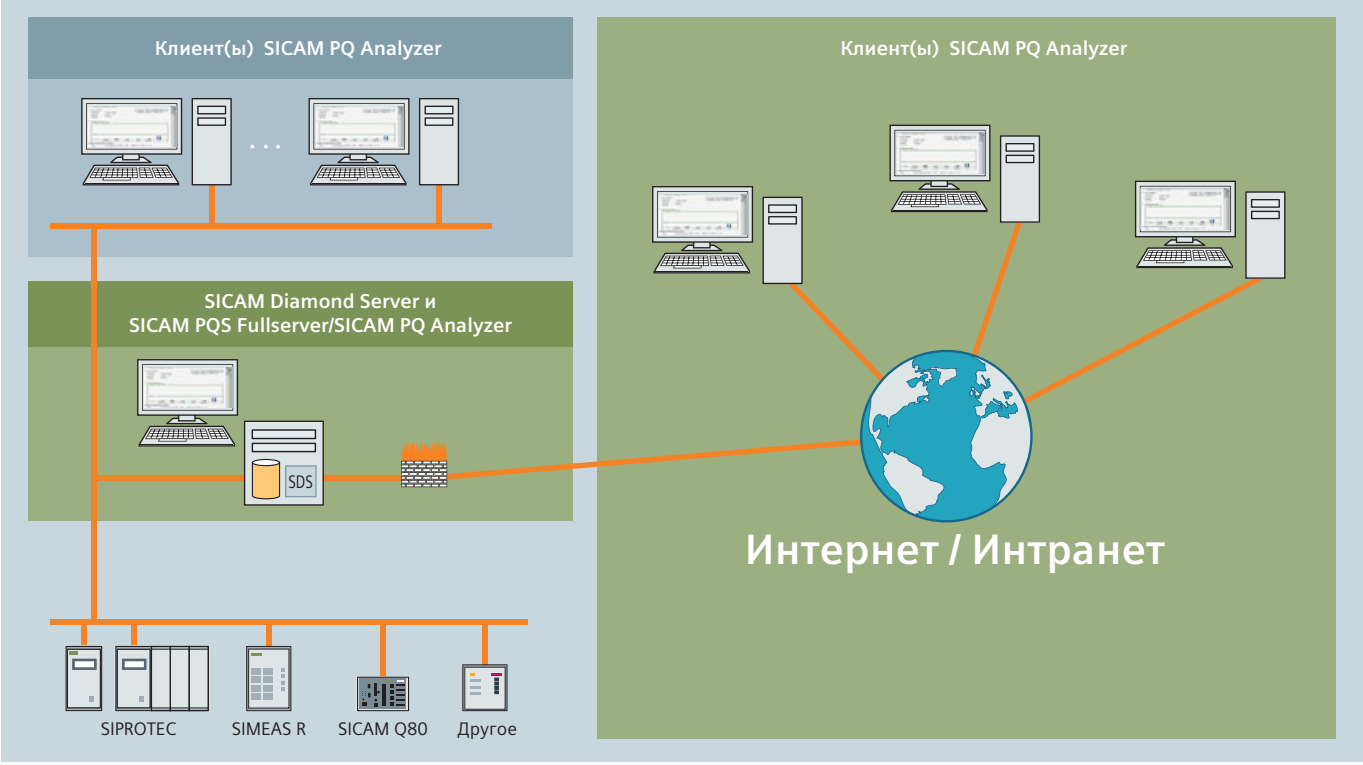


Рис. 6.4-33: **SICAM PQS V7.01 / SICAM Diamond V4.0 HF1 идет через Веб-SICAM Diamond**

6.4.6 SIGUARD PDP – Процессор обработки векторных данных (синхрофазоров)

SIGUARD PDP – Надежная работа системы с мониторингом сетей большой территории охвата

В последние несколько лет нагрузка на энергосистемы постоянно растет. Для этого есть много причин:

- Увеличивающиеся объемы продажи электроэнергии за границу в Европе, например, выдвигаются новые требования к линиям связи между областями управления. Так, передача электроэнергии по линиям связи Европейской сети за период с 1975 по 2008 год увеличилась почти в шесть раз (источник: Ежегодное статистическое издание ENTSO-E 2008)
- Увеличившиеся поступления энергии ветра, а также планируемые закрытия существующих электростанций еще больше увеличат расстояние между источником электроэнергии и потребителем.
- Плохие погодные условия и сильные бури могут вывести из строя важные линии передачи электроэнергии, подвергая, таким образом, другие участки сети краткосрочным возросшим нагрузкам.

Это означает, что система электропитания все чаще эксплуатируется на пределе стабильности, а возникающие новые потоки нагрузки незнакомы операторам центров управления сети.

Внедрение SIGUARD PDP (Процессор обработки векторных данных). Эта система для мониторинга сети с помощью технологии синхронизации векторов помогает быстрой оценке текущей ситуации в системе . Качания мощности и переходные процессы определяются без задержек, что помогает персоналу центра управления найти причину и принять меры противодействия.

Основные показатели

- Процессор обработки векторных данных соответствует стандарту IEEE C37.118
- Выбор одного из 2 режимов мониторинга:
  - Режим онлайн
  - Режим офлайн (анализ предыдущих событий)
- Для любого вектора можно выбрать векторное представление или представление временной диаграммой
- Расчет и отображение кривой состояния энергосистемы
- Контроль системы, включая линии обмена данными и состояние PMU
- Географический обзор (на базе Google Earth)
- База для формирования оперативных отчетов после повреждений
- Гибкий анализ с помощью редактора формул для расчетов, основанных на измеряемых значениях
- Предельные значения, которые можно менять он-лайн
- Работает с Windows XP и Windows 7, как чистый концентратор данных векторов (PDC) (без пользовательского интерфейса), а также с Windows Server 2008.

Приложения

Анализ перетоков мощности в системе SIGUARD PDP может отображать четкое и текущее изображение перетоков мощности тока в системе с помощью всего лишь нескольких измеряемых значений от широко распределенных блоков измерения параметров векторов (PMU). Это требует информации о топологии сети. Перетоки мощности отображаются с помощью разницы фазных углов.

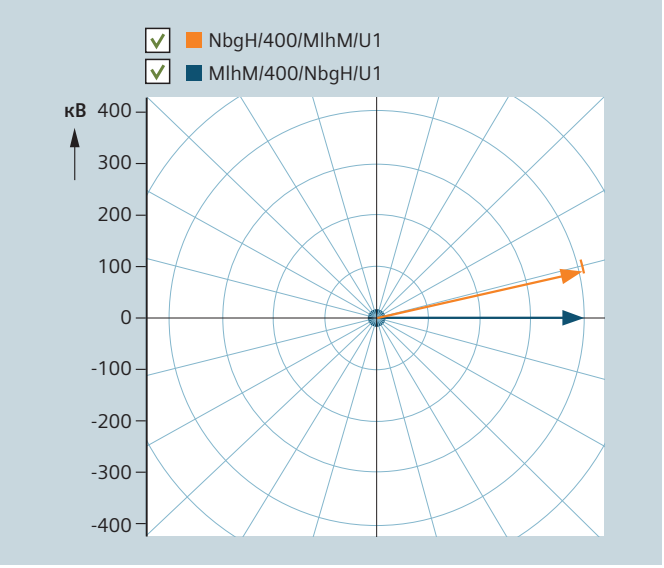


Рис. 6.4-34: **Вектор напряжения двух измеряемых точек в сети**

- Идентификация качания мощности
  Все величины, измеряемые блоком PMU, могут отображаться и контролироваться с помощью простых в конфигурировании векторных и временных диаграмм. Любые качания обнаруживаются быстро и гарантировано. Область, над которой осуществляется контроль, может быть легко адаптирована под текущую ситуацию по параметрам времени, географии и содержания.
- Оценка демпфирования качаний мощности
  Функция «Идентификация качания мощности» (доступна начиная с версии V2.1) помогает обнаружить зарождающееся качание и определить соответствующее демпфирование. Об обнаружении качаний мощности и, если имело место, их недостаточном демпфировании или отсутствии такового сигнализируется сообщением (список аварийных сообщений).

- Мониторинг нагрузки транзитов
- Для отображения кратковременных нагрузок на транзитные линии особенно подходит кривая стабильности напряжения. Измеряемая в настоящий момент рабочая точка отображается на рабочей кривой линии (напряжение как функция переданной мощности). За счет этого в любой момент можно отобразить оставшийся резерв. Для этого на обоих концах линии должны находиться блоки PMU.

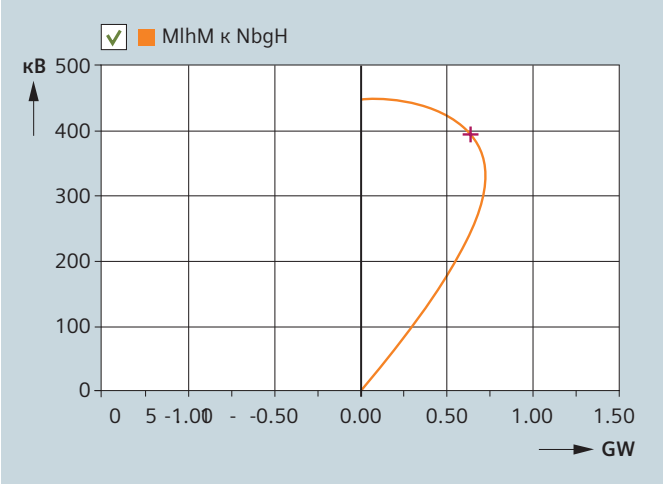


Рис. 6.4-35: **Стабильность напряжения**

- Обнаружение деления сети
  Эта функция автоматически информирует о том, что часть сети отделилась от остальной. Для этой цели могут автоматически контролироваться разность частот и скорость изменения частоты. При обнаружении случаев деления сети выводятся предупреждающие сообщения и сообщения о событиях.
- Ретроспективный анализ событий
  SIGUARD PDP идеально подходит для анализа критических событий в сети. После переключения в режим офлайн можно систематически проанализировать весь архив событий и проиграть события столько раз, сколько потребуется. Это позволяет сделать прозрачными динамические события, а также быстро и точно составлять отчеты. Нужно просто скопировать информационные диаграммы из SIGUARD PDP в отчет.

11:09:52....	2010-...	Обнаружение деления сети	ISD потенциальное деление на подсети	появление
11:09:52....	2010-...	Обнаружение деления сети	ISD деление на подсети	появление
11:09:52....	2010-...	Обнаружение деления сети	ISD потенциальное деление на подсети	исчезновение

- Предупреждение относительно нарушения предельного значения с занесением в список аварийных сообщений и изменением цвета на географической карте обзора сети.
  Это позволяет быстро определить месторасположение и причину нарушения. Эта функция также доступна и при анализе архива.
- Отображение состояния энергосистемы как характеристической величины стабильности системы.
  Благодаря постоянному отображению кривой состояния энергосистемы в верхней части экрана, оператор всегда имеет информацию о трендах динамического изменения параметров энергосистемы и имеющихся резервах. Эта кривая отображает средневзвешенное значение расстояний всех измеренных величин до их пороговых значений.

Подробная информация
www.siemens.com/powerquality

Для дополнительной информации, глава 6:
www.siemens.com/protection
www.siemens.com/sicam
www.siemens.com/powerquality

6.5 Защита и коммуникация подстанций

6.5.1 Обзор МЭК 61850

Со времени опубликования в 2004 году, коммуникационный стандарт МЭК 61850 приобрел большую значимость в области автоматизации подстанций. Он обеспечивает эффективное соответствие нуждам открытого, гибкого рынка электроэнергетики, который требует как надежности системы, так и максимально гибкую технологию - достаточно гибкую для решения новых задач следующих двадцати лет. МЭК 61850 не только перенял тенденции коммуникационных технологий сектора офисных сетей, он также адаптирован к лучшим имеющимся протоколам и конфигурациям для высокой функциональности и надежной передачи данных. Промышленный Ethernet, характеристики которого были улучшены для применения в условиях подстанций и который обеспечивает скорость передачи данных в 100 Мбит/с, предлагает пропускную способность, достаточную для гарантирования надежного информационного обмена между IED (Интеллекутальными Электронными Устройствами), а также надежные коммуникации от IED до контроллера подстанции.

Разрешающая способность существующей шины процесса предлагает стандартный способ для подключения как традиционных, так и интеллектуальных тансформаторов тока (ТТ) и трансформаторов напряжения (ТН) к устройству защиты в цифровой форме. Являясь больше, чем просто протоколом, МЭК 61850 также обеспечивает преимущества в области проектирования и эксплуатации, особенно в части объединения устройств разных производителей.

Ключевые особенности МЭК 61850
В текущей редакции стандарт включает части, описывающие требования, необходимые в коммуникациях подстанций, а также части, описывающие сами спецификации.

Спецификации структурированы следующим образом:
- Объектно-ориентированная и связанная с конкретным применением модель данных, сосредоточенная на автоматизации подстанций.
- Эта модель включает типы объектов, представляющих почти все существующее оборудование и функции подстанции - выключатели, функции защиты, трансформаторы тока и напряжения, аварийные записи и многое другое.
- Коммуникационные службы обеспечивают многочисленные методы для обмена информацией. Эти службы охватывают представление отчетов и запись событий, управление переключениями и функционированием, получение информации от модели данных.
- Коммуникации «точка-точка» для быстрого обмена данными между устройствами уровня питающих линий (устройства защиты и контроллеры присоединений) поддерживаются посредством GOOSE (Общее Объектно-ориентированное Событие Подстанции).
- Поддержка обмена дискретизированными значениями.
- Передача файлов для регистрации неисправностей.
- Коммуникационные службы для подключения первичного оборудования, такого как измерительные преобразователи к передаче сигналов.
- Развязывание модели данных и коммуникационных служб от специфических коммуникационных технологий.
- Эта технологическая независимость гарантирует долговременную стабильность для модели данных и открывает возможность переключения на последующие коммуникационные технологии. Сегодня стандарт использует Industrial Ethernet со следующими значимыми характеристиками:
  - пропускная способность 100 Мбит/с
  - неблокируемая переключающая технология
  - маркировка по приоритетам для важных сообщений
  - Синхронизация времени
- Общий формальный код описания, который позволяет стандартизировать представление модели данных системы и ее связь с коммуникационными службами.
- Этот код, называемый SCL (Язык Описания Конфигурации Подстанции), покрывает все коммуникационные аспекты, относящиеся к МЭК 61850. Основанный на XML, этот код является идеальным электронным форматом обмена для конфигурационных данных.
- Стандартизированный тест на соотвествие, который гарантирует возможность взаимодействия между устройствами. Устройства должны пройти многочисленные тесты: положительные тесты для правильного ответа на стимуляционные телеграммы, плюс ряд отрицательных тестов на игнорирование некорректной информации
- МЭК 61850 предлагает полный набор спецификаций, покрывающих все коммуникационные спорные вопросы внутри подстанции
- Поддержка обеих редакций стандарта МЭК 61850 и всех технических выпусков.

6.5.2 Основные коммуникационные структуры для систем автоматизации подстанций и защит

SIPROTEC - связь устройств защиты и контроллеров присоединений
Коммуникационные интерфейсы устройств защиты становятся все более важными для эффективной и экономически выгодной эксплуатации сетей и подстанций.

Интерфейсы могут быть использованы для:
- Подключения к устройствам защиты с ПК, используя программное обеспечение DIGSI, для конфигурирования, доступа к различным данным.

Возможен удаленный доступ по модему или Ethernet-модему через сервисный последовательный порт реле. Это позволяет удаленно обращаться ко всем данным устройства защиты.

Используя удаленные коммуникационные функции DIGSI, возможно обращаться к реле, например, из офиса по телефонной сети (рис. 6.5-1). Например, журнал ошибок может быть переслан в офис и DIGSI может быть использована для его оценки.
- Интеграции реле в системы управления с протоколом МЭК 60870-5- 103, PROFIBUS DP, DNP 3.0 и MODBUS.

Новый стандартизированный протоколами МЭК 61850 (раздел 8.3.1) доступен с октября 2004 года, и Siemens с его терминалами SIPROTEC был первым мировым производителем, обеспечившим этот стандарт.
- Благодаря стандартизированным интерфейсам МЭК 61850, МЭК 60870-5-103, DNP 3.0 (последовательный или over IP), MODBUS, PROFIBUS DP, терминалы SIPROTEC могут также быть интегрированы в системы управления других производителей или в системы автоматизации SIMATIC S5/S7. Доступны электрический RS485 или оптический интерфейсы. Благодаря опто-электрическим преобразователям, может быть выбрана оптимальная физическая среда передачи данных. Таким образом, шина RS485 обеспечивает бюджетный монтаж кабелей в шкафах, и может быть установлено свободное от помех оптическое соединение с ведущим устройством.
- Коммуникации «точка-точка» дифференциальных реле и дистанционных реле (раздел 8.4.2.) используются для обмена данными защит в реальном времени по волоконнооптическим кабелям, коммуникационной сети, телефонным сетям или аналоговым контрольным проводам.

Системы с SICAM, основанные на Ethernet
SIPROTEC приспособлен для использования с системой автоматизации электроснабжения SICAM вместе с протоколом МЭК 61850. Устройства соединяются с станционным устройством SICAM оптически или электрически через шину Ethernet 100 Мбит/с. Соединение может быть простым или резервированным. Интерфейс стандартизирован, что позволяет реализовать прямое соединение устройств от других производителей к локальной сети (LAN). Устройства с интерфейсом МЭК 60870-5-103 или другим последовательным протоколом могут быть подключены через станционную шину Ethernet к SICAM посредством последовательных и Ethernet-интерфейсов. DIGSI и Web monitor могут также быть использованы по одной и той же шине станции. Вместе с Ethernet/МЭК 61850 может быть обеспечено свободное от помех оптическое соединение. Оптические модули Ethernet имеют встроенный коммутатор, что позволяет избежать использования дорогостоящих внешних коммутаторов. Реле включены в оптическую кольцевую структуру (рис. 6.5-2).

Дополнительные коммуникационные опции для IED-соединения
Кроме поддержки МЭК 61850, современные системы автоматизации подстанций, такие как SICAM, также поддерживают подключение Интеллектуальных Электронных Устройств (IED) с протоколами других стандартов, такими как хорошо известный стандарт МЭК 60870-5-103 для реле защит, DNP3 (последовательный или over IP), PROFIBUS DP и MODBUS.

Устройства, поддерживающие коммуникации по последовательному протоколу, могут быть надежно подключены напрямую к контроллеру подстанции SICAM PAS. Кроме того, также возможно использование локальной сети (LAN) для магистральных коммуникаций по всей подстанции, подключая каждое устройство с последовательным интерфейсом децентрализованным способом через разветвитель последовательного интерфейса.

Дополнительно, также возможно подключать подчиненные подстанции и удаленные терминалы (RTU), используя стандарты протоколов МЭК 60870-5-101 (последовательные коммуникации) и МЭК 60870-5-104 (TCP/IP)

Особенно для связи с малыми RTU, коммутируемые (dial-up) соединения могут быть установлены, опираясь на стандарт МЭК 60870-5-101.

Дополнительные характеристики TCP/IP-коммуникаций
Кроме традиционных протоколов, упоминавшихся для обмена данными с IED, в мире Ethernet-коммуникаций также важно знать состояние устройств коммуникационной инфраструктуры, таких как коммутаторы. В этом контексте, очень полезен протокол SNMP (Simple Network Management Protocol - Простой Протокол Сетевого Управления). SICAM PAS поддерживает этот протокол, тем самым предоставляя информацию о состоянии, например, в центр управления, не только для IED и контроллеров подстанций, но также для Ethernet-коммутаторов и других «SNMP-устройств».

Другой коммуникационный протокол, хорошо известный в сфере промышленной автоматизации, также необходим для приложений систем автоматизации подстанций: OPC (OLE for Process Control - технология OLE для Управления Производственным Процессом, см. также Коммуникации Центра Управления) Также с OPC возможны дополнительные, способные к взаимодействию решения, особенно для обмена данными с устройствами и приложениями промышленной автоматизации. SICAM PAS поддерживает работу как в качестве OPC-сервера, так и в качестве OPC-клиента.

Способ связи терминалов защит и/или контроллеров присоединений с уровнем станции выбирается в соответствии с размером и важностью подстанции. Несмотря на то, что последовательные

Рис. 6.5-1: **Базовые коммуникации с удаленным реле**

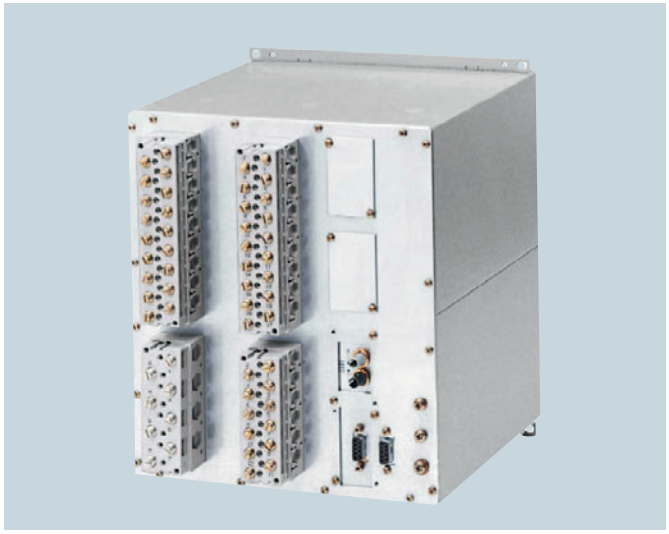


Рис. 6.5-2: **Системы с SICAM, основанные на Ethernet**

соединения по стандарту МЭК 60870-5-103 являются наиболее экономически выгодным решением для малых распределительных подстанций (только среднего напряжения), технология Ethernet в сочетании с МЭК 61850 обычно используется для важных подстанций высокого и сверхвысокого напряжения. Дополнительно, есть множество разных физических проектных решений, основанных на местных условиях, таких как расположение кабельных трасс и расстояния, и на требованиях в показателях надежности и действии ЭМС.

Простейшая версия - это система соединений последовательной шины в соответствии с RS 485, в которой полевые устройства электрически подключены к ведущему интерфейсу центрального блока SICAM (рис. 6.5-3). Эта схема соединений особенно рекомендуется в новых установках. Особое внимание следует уделить

правильному подходу к заземлению, и также возможному влиянию на ЭМС основной технологии или кабелей питания. Необходимой основой для этого являются отдельные кабельные магистрали для питающих кабелей и коммуникаций. Уменьшение количества полевых устройств, подключенных к одному мастеру, до 16 - 20 рекомендуется для обеспечения возможности сделать адекватным использование пропускной способности передачи данных.

Звездообразная конфигурация подключений достаточно проста в обращении и может быть или в форме электрических подключений посредством RS 232 или в форме оптоволокна. Число подчиненных устройств на одно ведущее устройство должно быть ограничено, как и в предыдущем случае (рис. 6.5-4).

Конфигурации с Ethernet похожи, доступны звездообразная и кольцевая версии. Варианты с резервированием завершают эти конфигурации. Звездообразная конфигурация особо рекомендуется для централизованных размещений с короткими дистанциями кабельных трасс (рис. 6.5-5).

Волоконнооптическое кольцо может быть образовано несколькими коммутаторами. Это рекомендуется, если часть устройств должна быть подключена к одному коммутатору (рис. 6.5.-6).

Более экономически выгодным решением является волоконно-оптическое кольцо с реле SIPROTEC, потому что эти устройства имеют встроенный коммутатор (рис. 6.5-7). В этом применении должно использоваться соответствующее устройство от RuggedCom в качестве центрального коммутатора, что обеспечит

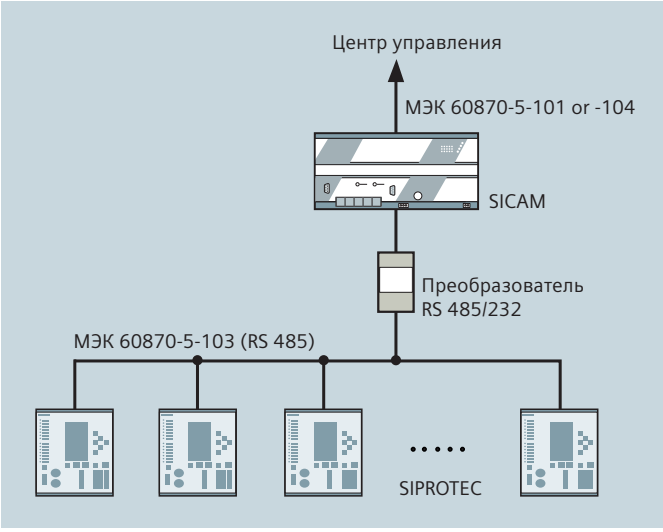


Рис. 6.5-3: **Монтаж последовательной шины в соответствии с RS 485**

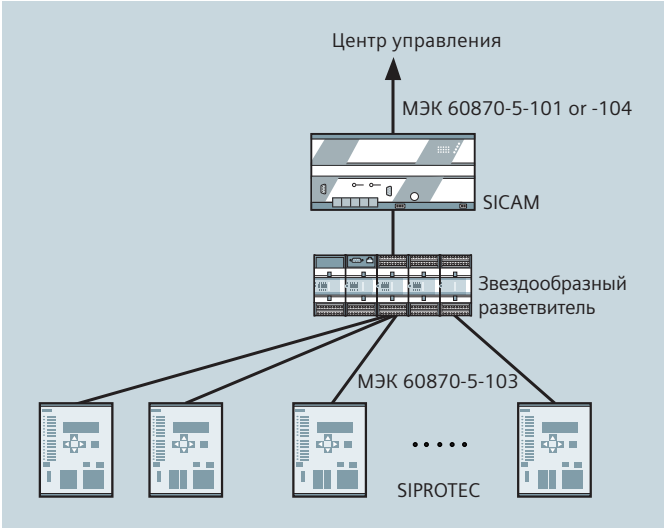


Рис. 6.5-4: **Подключение по топологии «звезда» в соответствии с RS 232 или по волоконнооптическому кабелю**

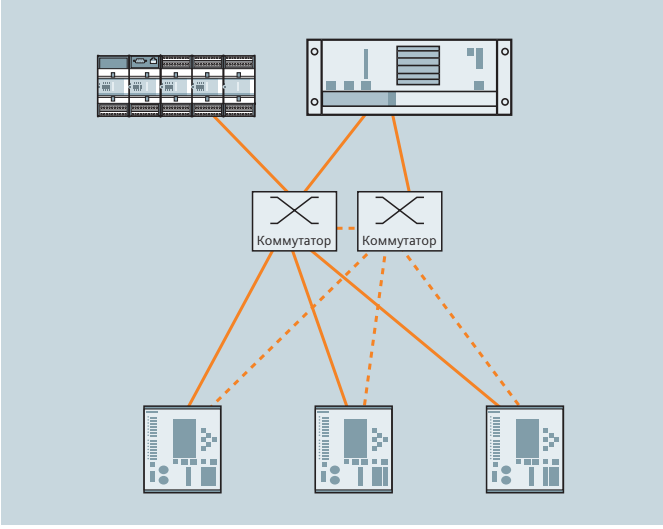


Рис. 6.5-5: **Ethernet: Электрическая или оптическая звездообразная конфигурация**

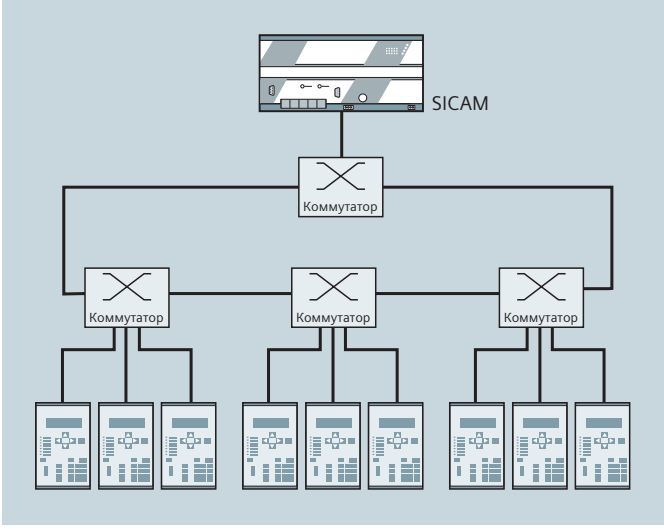


Рис. 6.5-6: **Ethernet: Оптическое кольцо с внешними коммутаторами**

минимальные временные промежутки на переключение в случае неисправности кольца. Число устройств в кольце ограничено 27.

Отдельные кольца могут объединяться в основе этой фундаментальной структуры, например одно на уровень напряжения. Обычно эти кольца объединяются для формирования кольца более высокого уровня, которое затем связывается с резервированными устройствами станции. Этот вариант предлагает наивысшую надежность для коммуникаций внутри станции (рис. 6.5-8).

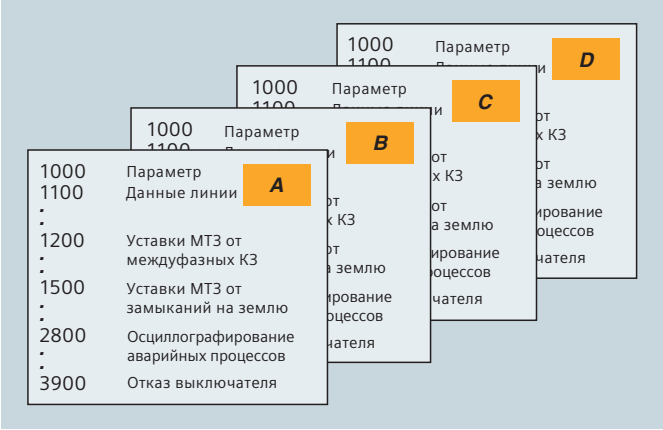


Рис. 6.5-7: **Оптическое кольцо со встроенными коммутаторами**

Рис. 6.5-8: **Комбинация нескольких колец предлагает наивысшую надежность**

6.5.3 Разнообразные коммуникационные опции SIPROTEC 5

Модульная конструкция устройств серии SIPROTEC 5 обеспечивает согласованность и целостность всех функциональных возможностей серии устройств.

Мощные и гибкие коммуникации являются предпосылкой для распределенных и периферийных систем. В системе SIPROTEC 5 это центральный элемент системной архитектуры, позволяющий удовлетворить широкий спектр коммуникационных требований, при обеспечении предельной гибкости. Рис. 6.5-11 показывает возможную аппаратную конфигурацию, оборудованную 4 коммуникационными модулями. Рис. 6.5-12 показывает модуль расширения CB202 с тремя слотами для дополнительных модулей. Два из этих слота, могут быть использованы для коммуникационных приложений.

Обеспечивая гибкость аппаратного и программного обеспечения, SIPROTEC 5 представляет следующие системные свойства:

- Адаптация к топологии желаемой коммуникационной структуры, такой как кольцевая или звездообразная конфигурации
- Масштабируемые возможности резервирования в аппаратной и программной областях (протоколы)
- Множество коммуникационных каналов к различным системам высших порядков
- Дополнительные коммуникационные модули, с возможностью модификации
- Аппаратное обеспечение модуля является независимым от используемого коммуникационного протокола
- 2 независимых протокола на модуле последовательной связи
- Доступно до 8 интерфейсов
- Обмен данными через МЭК 61850 для максимум 6 клиентов, с использованием модуля Ethernet или встроенного интерфейса Ethernet.

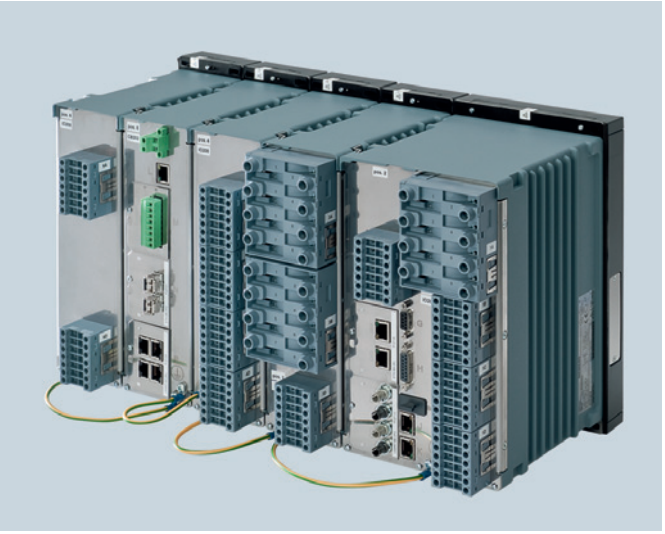


Рис. 6.5-11: **Устройство SIPROTEC 5 с 4 коммуникационными модулями**

Рис. 6.5-12: **CB202: блоки расширения с коммуникационными модулями и входным аналоговым модулем**

Примеры коммуникаций с использованием SIPROTEC 5
независимо от требуемого протокола, используемая коммуникационная технология позволяет реализовывать резервированные соединения, адаптированные под требования пользователей. Базово они могут быть разделены на Ethernet и последовательную коммуникационные технологии.

Протоколы
- Последовательные протоколы
- Ethernet-протоколы

Могут быть внедрены различные степени резервирования протоколов. 4 слота для вставных модулей ограничивают число независимого параллельного использования протоколов Для последовательных протоколов обычно используется 1 или 2 ведущих устройства.

Последовательные протоколы
Резервированные или различные протоколы доступны в устройстве для одновременной работы, например, DNP 3 и МЭК 60870-5-103.

Два последовательных протокола могут работать на двойном модуле (рис. 8.4-13). Не имеет значения в этом контексте, будут ли это два протокола одного типа или два различных протокола.

Коммуникационное аппаратное обеспечение не зависит от требуемого протокола. Этот протокол определяется в процессе параметризации с помощью DIGSI 5.

Ethernet-протоколы
В устройство могут быть вставлены один или несколько модулей Ethernet. Это позволяет применять в работе идентичные или разные протоколы во множестве вариантов. С МЭК 61850 или DNP3 TCP возможны множественные сети , но они также могут эксплуатироваться в общей сети Ethernet. Модуль обеспечивает применение протокола МЭК 61850, например, для обмена данными между устройствами используя GOOSE-сообщения. Другой модуль отвечает за клиент-серверные коммуникации по протоколу DNP TCP. Клиент-серверная архитектура МЭК 61850 позволяет одному серверу (устройству) посылать отчеты максимум 6 клиентам одновременно. В этом случае используется только одна сеть.

Рис. 6.5-13: **Сдвоенный оптический модуль последовательного интерфейса**

Рис. 6.5-14: **Оптический Ethernet-модуль**

Примеры
Резервирование для систем автоматизации подстанций
- 2 резервированные системы автоматизации подстанций
- 2 различные системы автоматизации подстанций

Пример 1: Две резервированные системы автоматизации подстанций
Рис. 6.5-15 показывает вид последовательной оптической сети, которая подключает интерфейсы последовательного протокола устройства к одному ведущему устройству соответственно. Передача производится в многоточечной конфигурации топологии «звезда» и по помехозащищеному оптоволокну.

Для протокола МЭК 60870-5-103 устройство поддерживает особые процедуры резервирования. Например, первичное ведущее устройство может находится в процессе конфигурирования, тогда управление переходит ко вторичному ведущему устройству. Существующий образ процесса передается обоим ведущим устройствам. Рис. 6.5-16 описывает полностью резервированное решение, основанное на стандарте МЭК 61850. 2 коммуникационных Ethernet-модуля вставлены в каждое устройство SIPROTEC 5. 2 резервированных волоконно-оптических кольца устанавливаются в соответствии со значениями переключателей, интегрированных в модуль и подключенных к резервированным клиентам (системы автоматизации подстанций). И наоборот, резервированные коммуникации МЭК 61850 могут также совершаться через общее оптическое кольцо.

Рис. 6.5-15: **Резервированные коммуникации МЭК 60870-5-103 или DNP 3**

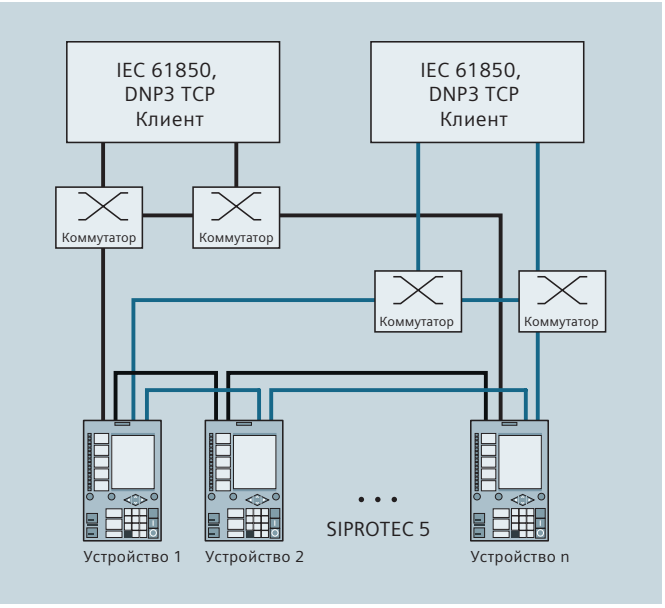


Рис. 6.5-16: **Резервированные коммуникации к двум клиентам МЭК 61850 или DNP3 TCP**

Пример 2: Две системы автоматизации подстанций с разными протоколами

Поскольку, как последовательные протоколы, так и протоколы, базируемые на Ethernet, определяются только в процессе параметрирования, конфигурация, описанная выше, может также применяться с использованием смешанных протоколов. Особо интересен случай реализации, когда разные центры управления подключены по разным протоколам. Это могут быть, например, центр управления системой передачи электроэнергии и центр управления распределительной системой. Рис. 6.5-17 и рис. 6.5-18 показывают возможные комбинации.

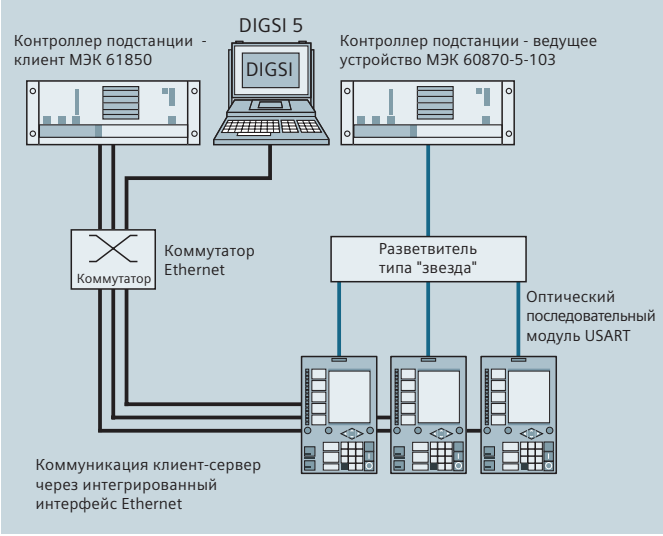


Рис. 6.5-17: **Коммуникации с клиентом МЭК 61850 и последовательное соединение с ведущим устройством МЭК 61870-5-103**

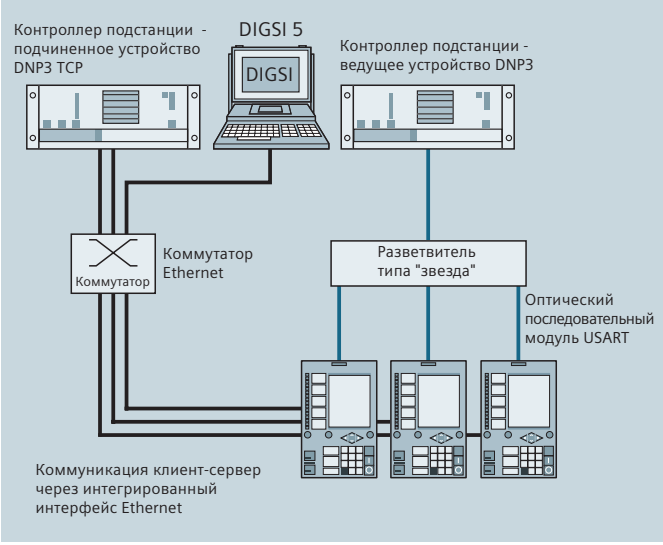


Рис. 6.5-18: **Коммуникации с подчиненным устройством DNP3 TCP и последовательное подключение к ведущему устройству DNP3**

Множественные шины подстанций

Ethernet-сети уровня подстанции все более широко используются на практике в современных системах автоматизации. Эти сети транспортируют оба коммуникационных сервиса к центральному машинному контроллеру подстанции и сигналы между устройствами уровня ячейки. Обычно, отдельная подсистема Ethernet не устанавливается для этой цели, так как пропускная способность современных сетей Ethernet достаточна для полноценного обмена данными.

Путем использования различных коммуникационных модулей и протоколов в SIPROTEC 5 сейчас стало возможным устанавливать отдельные подсистемы и производить разделение по сферам применения. Например, отдельная шина для сигналов процесса (GOOSE) может быть внедрена на уровне ячейки, и отдельная шина - для центрального компьютера подстанции (см. рис. 6.5-19 (2 шины на подстанции)).

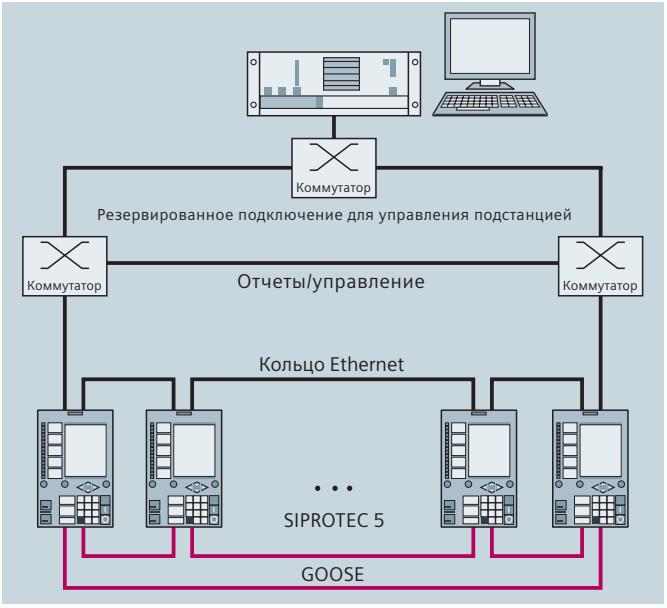


Рис. 6.5-19: **Отдельные шины для передачи отчетов и GOOSE-коммуникаций**

6.5.4 Протоколы резервирования сети

Современная конфигурация сети подстанции - RSTP. Электрические и оптические модули Ethernet устройств SIPROTEC поддерживают различные сетевые топологии независимо от выбранного протокола (МЭК 61850 или DNP TCP).

Если модуль работает с двойным самовосстанавливающимся резервированием (без встроенного коммутатора), он может быть подключен к внешним коммутаторам с простой или резервированной конфигурацией. В одно и то же время, только один интерфейс обрабатывает приложения протокола (например, МЭК 61850) конкретно для этого случая. Второй интерфейс работает в дежурном режиме (горячий резерв), и контролирует подключение к коммутатору. Если интерфейс, который обрабатывает информационный обмен по протоколу, выходит из строя, активируется резервный интерфейс в течение нескольких миллисекунд и принимает на себя работу) - (рис. 6.5.-20).

С активацией встроенного коммутатора, устройства SIPROTEC могут быть интегрированы напрямую в оптическое коммуникационное кольцо, состоящее максимум из 40 устройств (рис. 6.5-21) В этом случае, оба интерфейса модуля выполняют посылку и прием данных одновременно. Технология кольцевого резервирования Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP) обеспечивает короткие промежутки времени переключения, в случае нарушения коммуникации, позволяя приложениям протокола продолжить работу непрерывно. Эта конфигурация независима от приложения протокола, выполняемого в модуле Ethernet.

Сегодня более чем 250000 устройств Siemens в более чем 3000 подстанциях работают по всему миру в станциях с RSTP. В случае повреждений кольца, RSTP переконфигурирует коммуникацию за короткий промежуток времени, и обеспечит безопасную работу подстанции.

Сплошное резервирование PRP и HSR
Новые технологии сводят практически к нулю время на переконфигурирование коммуникационных сетей в случае повреждений. Этими технологиями являются:
- PRP = Протокол Параллельного Резервирования (Parallel Redundancy Protocol)
- HSR = Сплошное Кольцевое Резервирование Повышенной Готовности (High Available Seamless Ring Redundancy)

Обе системы построены по одному и тому же принципу и определены в МЭК 62439-3.

Одна и та же информация (кадр Ethernet) посылается двумя путями. Получатель (ресивер) берет первый кадр, который ему приходит и отбрасывает следующий. Если первый кадр не проходит по каким-либо критериям, то второй все еще доступен и может быть использован. Механизм базируется глубоко в стеке Ethernet, и подразумевает один MAC и один IP-адрес для обоих.
- PRP использует две независимые системы Ethernet. Это означает двойное количество сетевого оборудования и соответственно стоимость, но он - простой.
- HSR использует тот же принцип, но в одной Ethernet-сети с кольцевой конфигурацией. Одна и та же информация (кадр Ethernet) будет посылаться в двух направлениях в кольце, и получатель берет ее с двух сторон кольца. Это подразумевает несколько большую нагрузку на устройства, но экономит расходы на вторую сеть Ethernet.

Рис. 6.5-20: **Резервированное или одинарное подключение типа «звезда» к внешним коммутаторам (двойное самовосстанавливающееся резервирование)**

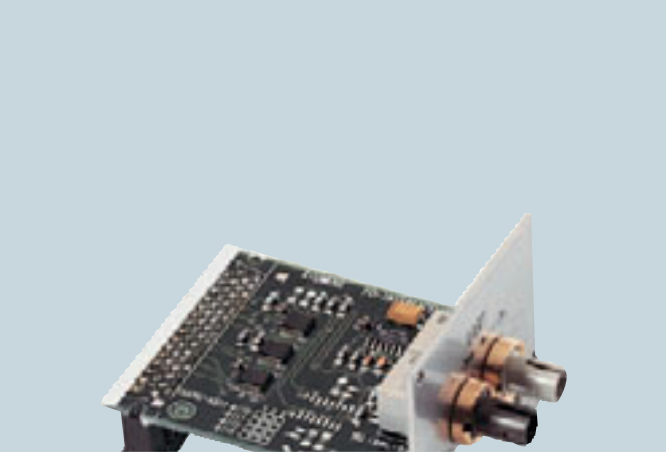


Рис. 6.5-21: **Функционирование с использованием встроенного коммутатора и кольцевым резервированием**

Рис. 6.5-22: **Пример RSTP-решения**

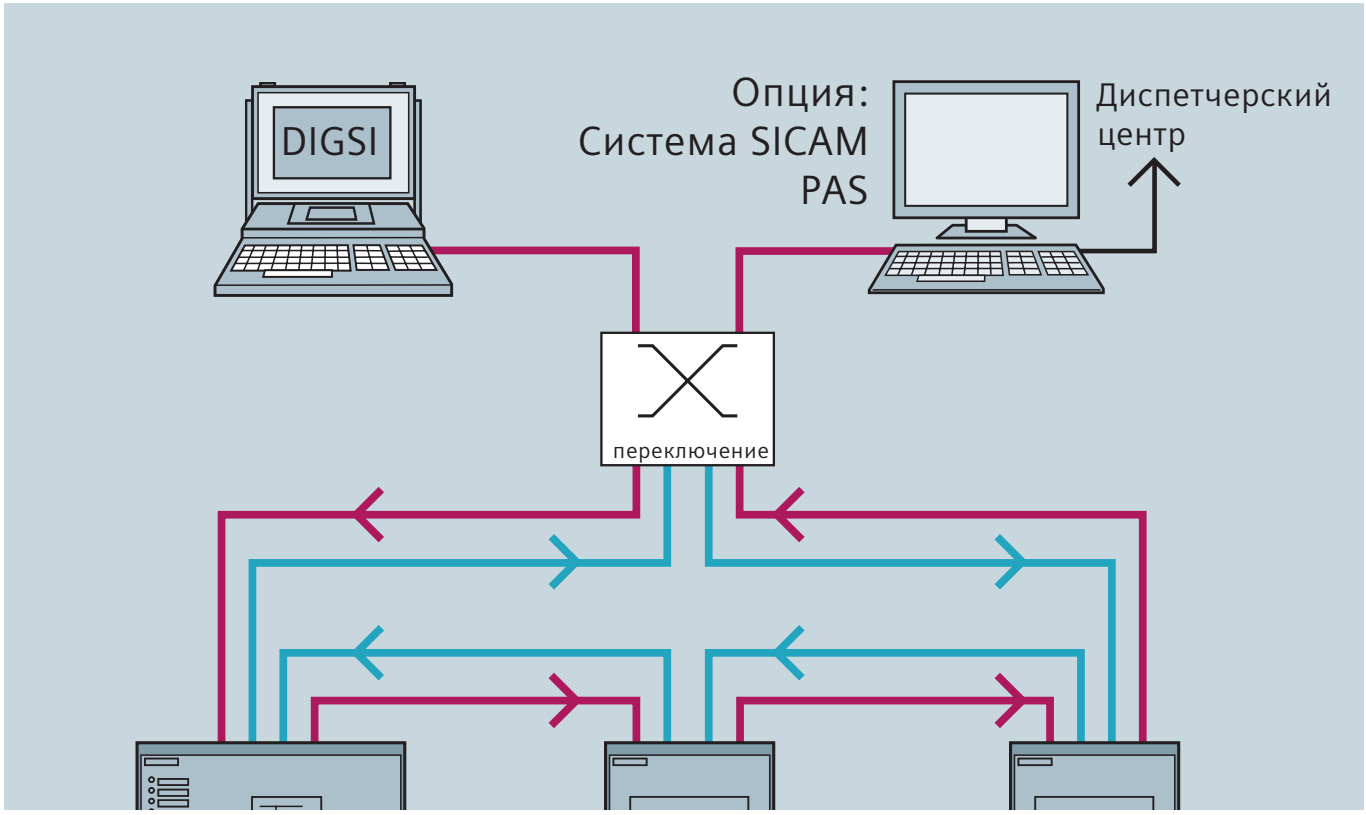


Рис. 6.5-23: **Сплошное резервирование с использованием только PRP**

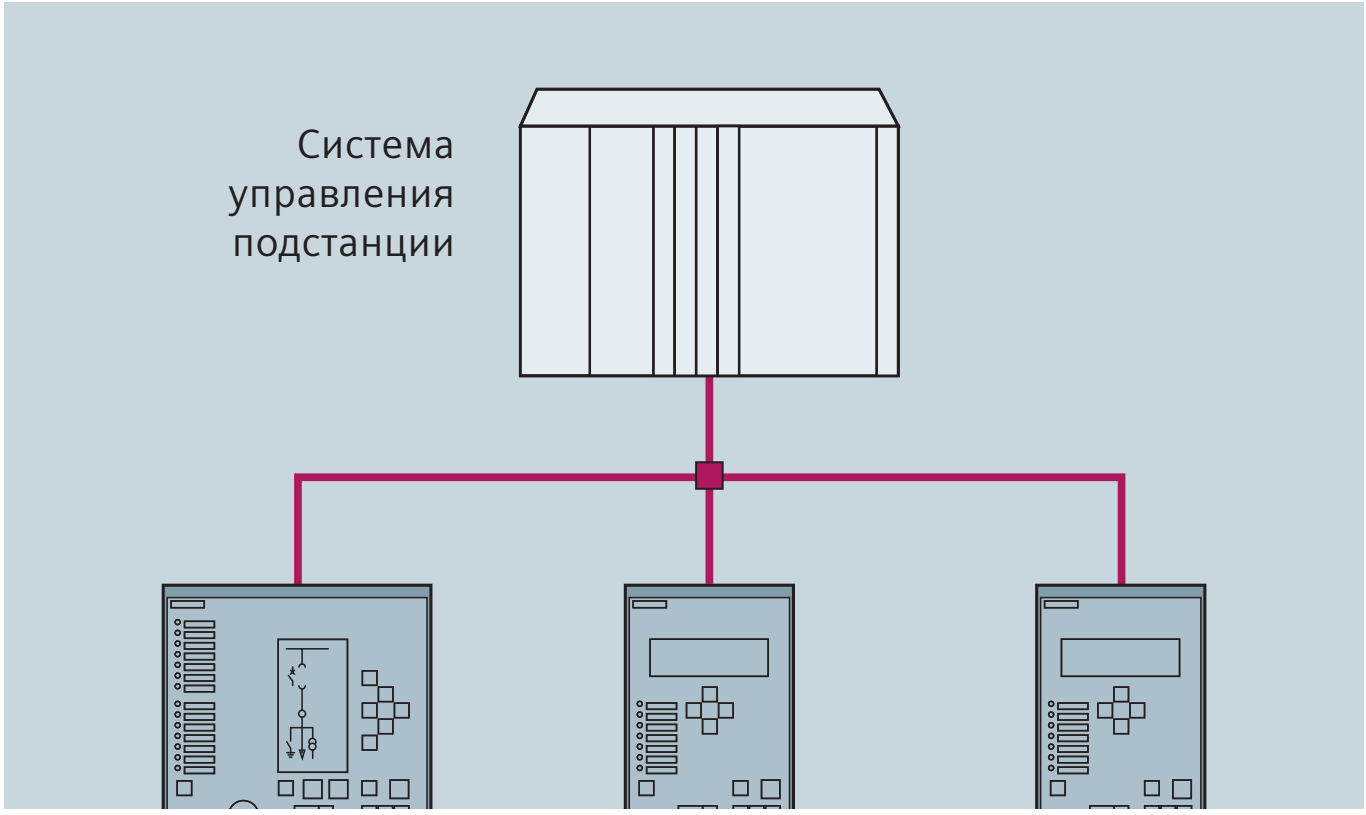


Рис. 6.5-24: **Сплошное резервирование с использованием комбинации PRP/HSR**

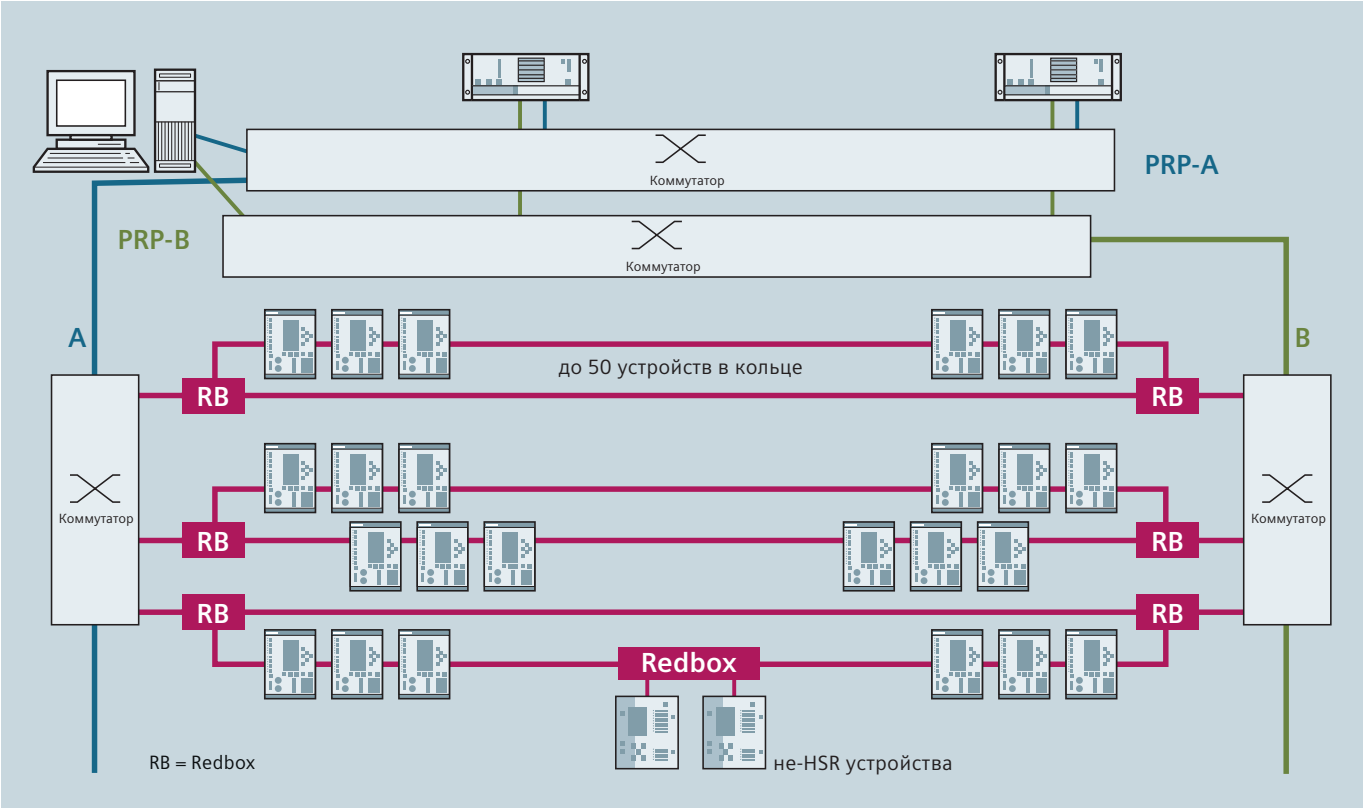


Рис. 6.5-25: **Наиболее экономически эффективная сплошная n-1 структура**

HSR и PRP могут комбинироваться с помощью так называемых RedBox (Резервированных Блоков - Redundancy Boxes).

Рис. с 6.5-23 по 6.5-25 показывают некоторые примеры конфигураций PRP и HSR.

Это экономически выгодное решение на рис. 6.5-25 может быть достигнуто с помощью:
- 2 коммутаторов в комнате управления
- 2 коммутаторов в полевых условиях
- 2 блоков Redbox (RB) на кольцо HSR
- До 50 устройств на кольцо HSR
- Легкое расширение с помощью 2 дополнительных PRP-коммутаторов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ
- Siemens предлагает резервированные решения
  - Резервированная двойная связь
  - RSTP
  - PRP (сплошной)
  - HSR (сплошной)
- Двойная связь и RSTP Авторитетная и доказанная полевая технология
- PRP: Высокий уровень резервирования благодаря двойному сетевому решению
- HSR: Высокий уровень резервирования благодаря экономически выгодной кольцевой сетевой структуре. Возможны комбинации с сетью PRP.
- Пакет сплошного резервирования среды передачи данных Ethernet от Siemens - Siemens Seamless Ethernet Media Redundancy Suite: SICAM PAS, SIPROTEC и Redbox
- SIPROTEC с интегрированными коммутаторами RSTP/PRP/HSR

–> Решения Siemens представляют значительное преимущество для пользователя в плане функциональности.

6.5.5 Связь между подстанциями с использованием интерфейсов данных средств защиты

SIPROTEC 4 - дифференциальная и дистанционная защита
Типичные области применения дифференциальной и дистанционной защиты показаны на рис. 6.5-26. Терминал дифференциальной защиты подключен к трансформаторам тока и трансформаторам напряжения на одном конце кабеля, и только токи необходимы для работы функции дифференциальной защиты. Прямое подключение к другим терминалам совершается по одномодовым волоконнооптическим кабелям и поэтому невосприимчиво к помехам. Различные коммуникационные модули доступны для разных коммуникационных сред. В случае прямого подключения по волоконнооптическим кабелям, обмен данными осуществляется на 512 кбит/с и время передачи сигнала от терминала защиты снижено до 15 мс.

Рис. 6.5-26: **Интерфейс передачи данных защиты с использованием прямого волоконнооптического подключения**

Рис. 6.5-27: **Интерфейс передачи данных защиты с использованием цифровых коммуникационных сетей**

SIPROTEC 4 предлагает множество характеристик для надежной и безопасной реализации обмена данными по коммуникационным сетям В зависимости от доступной пропускной способности может быть выбран коммуникационный преобразователь для G703-64 кбит/с или X21-64/128/512 кбит/с. Для достижений большей коммуникационной скорости, доступен коммуникационный преобразователь с G703-E1 (2048 кбит/с) или G703-T1 (1554 кбит/с).

Телезащита с использованием интерфейса передачи данных защиты
Схемы телезащиты могут быть реализованы с использованием цифровых последовательных коммуникаций. Дистанционная защита SIPROTEC 7SA6 допускает коммуникацию с удаленным терминалом через прямые связи или мультиплексированные цифровые коммуникационные сети. Связь по мультиплексированным коммуникационным сетям осуществляется через отдельные преобразователи (7XV5662), Они имеют волоконнооптический интерфейс к терминалу защиты с длиной волны 820 нм и ST-коннекторами. Связь по коммуникационным сетям опционально осуществляется через электрический X21 или G703.1 интерфейс (рис. 6.5-27).

SIPROTEC 5 - передача данных через интерфейс защиты
Топология защиты и интерфейс защиты обеспечивают обмен данными между устройствами через синхронные последовательные связи типа точка-точка со скоростью от 64 кбит/с до 2 Мбит/с. Эти связи могут быть установлены напрямую по оптоволокну или по другой коммуникационной среде, например, по выделенным линиям или коммуникационным сетям.

Топология защиты включает от 2 до 6 устройств, которые обмениваются информацией по типу «точка-точка» через коммуникационные линии связи. Топлогия может быть построена как резервированное кольцо или как цепная структура (см. рис. 6.5-20) и внутри самой топологии линии защиты могут иметь различную пропускную способность. В зависимости от пропускной способности, определенное количество двоичной информации и измеренные значения могут передаваться в обоих направлениях между устройствами. Это значение определяется подключением с наименьшей пропускной способностью. Пользователь может направлять информацию по определенному маршруту с помощью DIGSI 5.

Эта информация имеет следующие задачи:
- Данные топологии и значения передаются для мониторинга и тестирования линии связи.
- Передаются данные защиты, например, данные дифференциальной защиты или данные сравнения направлений мощностей дистанционной защиты.
- Синхронизацию устройств по времени можно осуществить через соединение, в этом случае устройство топологии защиты принимает на себя роль главного синхронизирующего устройства.
- Связь постоянно контролируется на предмет ошибок в данных и их повреждений, а также измеряется время передачи данных.

Линии связи защиты, интегрированные в устройство, ранее уже использовались для дифференциальной защиты (рис. 6-5.26) и для телезащиты в дистанционной защите. В дополнение к этим прикладным задачам защиты, вы можете конфигурировать линии связи защиты во всех устройствах SIPROTEC 5. В то же самое время, между устройствами может передаваться любая двоичная информация и измеренные значения. Для этого могут быть использованы даже подключения с низкой пропускной способностью, например, 64 кбит/с.

Использование линии связи защиты для удаленного доступа с DIGSI 5
Доступ с помощью DIGSI 5 к устройствам на удаленных концах возможен через интерфейс защиты. Это позволяет удаленно параметрировать и получать информацию с использованием существующего коммуникационного подключения.

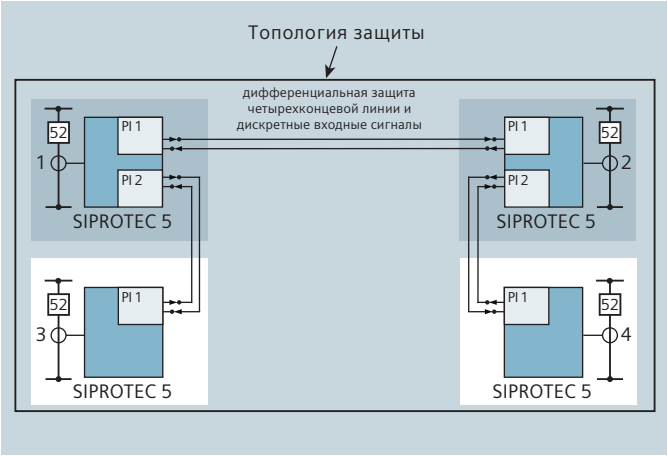


Рис. 6-5.28: **Коммуникации защиты для дифференциальной защиты и передача дискретных сигналов**

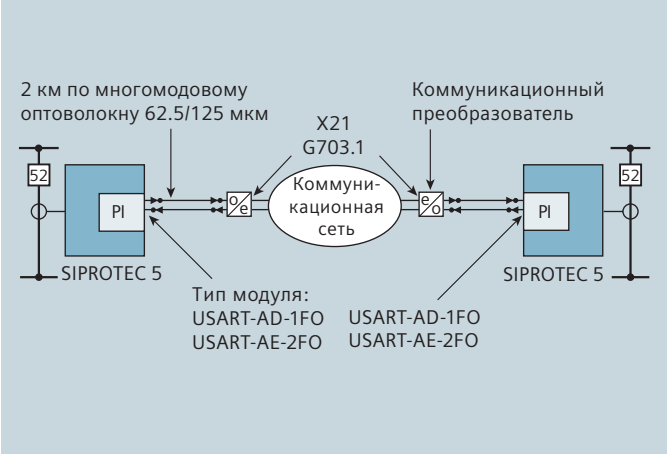


Рис. 6-5.29: **Коммуникации защиты через коммуникационную сеть с интерфейсом X21 или G703.1 (64 кбит/с), G703.6 (2 Мбит)**

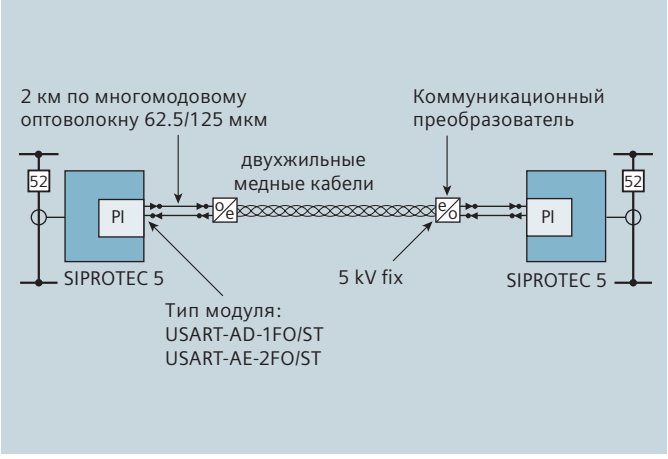


Рис. 6-5.30: **Коммуникации защиты по медному подключению**

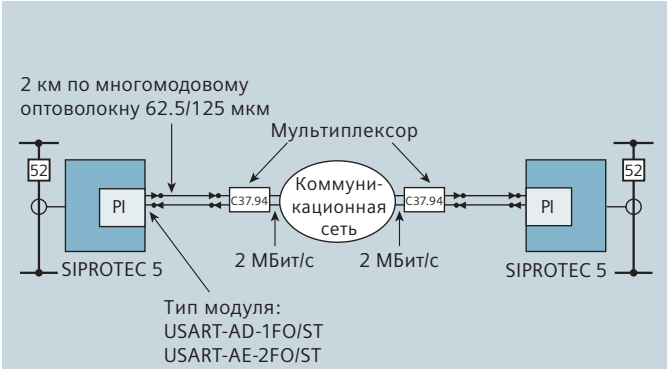


Рис. 6-5.31: **Коммуникации защиты по интерфейсу IEEE C37.94 (2 Мбит/с) - прямое волоконнооптическое подключение к мультиплексору**

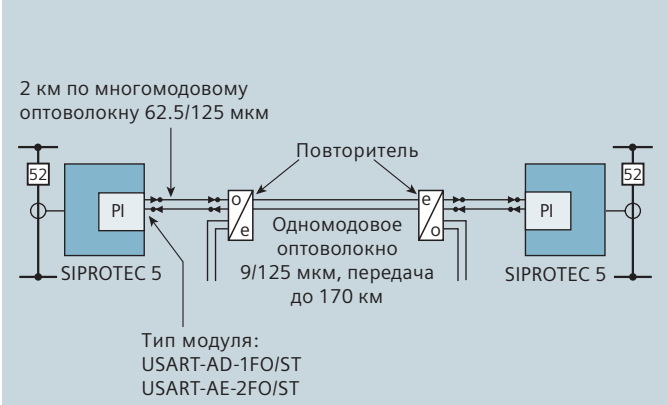


Рис. 6-5.32: **Коммуникации защиты по одномодовому волокну и через повторители**

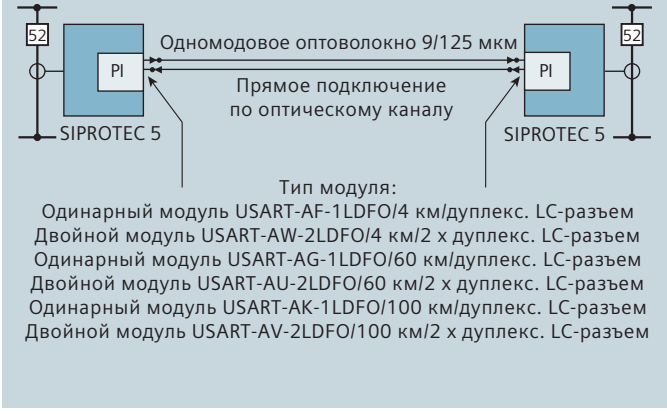


Рис. 6-5.33: **Коммуникации защиты по прямым волоконнооптическим подключениям**

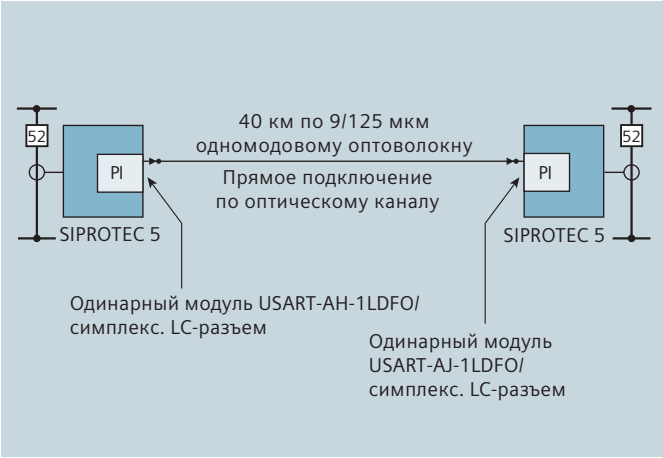


Рис. 6-5.34: **Коммуникации защиты по одномодовому волокну**

Рис. 6-5.28 до 6-5.34 показывают возможные варианты для установления коммуникаций защиты.

6.5.6 Требования для удаленной передачи данных

В принципе, автоматизация и удаленных терминалов (RTUs), и станции является очень гибко адаптируемой под любые коммуникационные каналы, доступные пользователю.

- Мелкие подстанции обычно ассоциируются с малыми объемами данных и плохой доступностью коммуникационных каналов. Поэтому, часто используются модемы коммутируемой связи (dial-up), а также радиосвязь (если нет доступных линий связи) или PLC-коммуникации. Иногда, даже GPRS-коммуникации являются альтернативой, в зависимости от доступности провайдера. Протоколы также зависят от возможностей центра управления, но, в основном, основываются на международных стандартах, таких как МЭК 60870-5-101 (последовательные) и МЭК 60870-5-104 (Ethernet), DNP 3.0 также используется в некоторых местах (последовательный либо поверх TCP/IP). Некоторые мелкие подстанции не нуждаются в постоянном онлайн-подключении. Они могут быть сконфигурированы на случайные вызовы, или локально, или путем опрашивания из центра управления.
- Средние по мощности подстанции, как правило, подключены по коммуникационным кабелям и оптоволокну с последовательными линиями связи от одного конца до другого. Последовательные линии связи со скоростью передачи 1200 бод или выше, являются достаточными для МЭК -101 или DNP. Иногда, необходимы множественные линии связи к различным центрам управления, тогда как резервированные коммуникационные линии связи зарезервированы только для важных подстанций. В линиях связи, с тенденцией к увеличению пропускной способности, все больше и больше используется технология WAN.
- Крупные подстанции, особенно уровня передачи электроэнергии, могут, как и раньше, иметь последовательные линии связи, но с большими скоростями передачи информации. В любом случае, здесь присутствует тенденция к расширению зоны сетей, использующих Ethernet. Для МЭК -104 или похожих протоколов, необходимо брать в расчет скорость не менее 64 кбит/с. Если необходимо обмениваться большими объемами данных и предоставлять дополнительные услуги (например, голосовую связь по IP, передачу видео по IP), подключение должно иметь большую пропускную способность (64 кбит/с < пропускная способность ≤ 2048 кбит/с).