

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Тульский государственный университет»
Факультет систем автоматического управления
(ИВТС им. В.П. Грязева)
Кафедра «Электроэнергетика»

Ершов С.В., доцент, ктн

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ
по дисциплине

«Управление и микропроцессорные средства в электроэнергетике»

Направление подготовки: 140400– «Электроэнергетика и электротехника»

Профиль подготовки:

Электроснабжение;

Квалификация (степень) выпускника: 62, бакалавр

Форма обучения – (очная, заочная)

Тула 2012 г.

Содержание

Ершов С.В., доцент, ктн.....	1
Конспект лекций	1
Лекция 1.....	6
1. Технические средства управления в энергетике энергосистемами	6
1.1. Особенности современных энергетических систем.....	6
1.2. Общие принципы управления в электроэнергетике.....	7
Объекты электроэнергетики -	7
Потребители электроэнергии с управляемой нагрузкой - категория.....	7
Оперативный персонал:.....	11
1.3. Внешние информационные связи систем управления.....	12
1.4. Устройства обработки и отображения информации	13
1.5. Автоматизированная система управления в электроэнергетике	15
Лекция 2.....	18
2. Основы теории передачи информации	18
2.1. Общие положения и понятия.....	18
2.2. Электрический информационный сигнал.	20
2.3. Канал телефонной связи.....	22
2.4. Дискретные каналы связи.....	27
2.5. Переходные процессы при передаче дискретных сигналов.....	29
2.6. Передача аналоговых сигналов по дискретному каналу связи.....	30
Лекция 3.....	35
3. Качество передачи информации по дискретным каналам связи.....	35
3.1. Искажения двоичных сигналов.....	35
3.2. Достоверность передачи информации.....	38
3.3. Исправляющая способность приемников дискретных сигналов.....	42
3.4. Повышение достоверности путем применения корректирующих кодов.....	43
3.5. Циклические системы передачи информации и системы с обратной связью.....	48
Лекция 4.....	52
4. Системы телемеханики по линиям электропередачи.....	52
4.1. Общие сведения о каналах телемеханики по линиям электропередачи.....	52
4.2. Высокочастотные каналы телемеханики.....	54
4.3. Низкочастотные каналы телемеханики.....	55
Лекция 5.....	59
5. Элементы и узлы устройств телемеханики, передачи данных и электронных устройств автоматизи.....	60
5.1. Диодные и транзисторные элементы и узлы	60
5.2. Цифровые логические элементы.....	62
5.3. Микросхемные элементы.....	65
5.4. Логические контроллеры.....	68
5.5. Интеллектуальное электронное устройство.....	71
Лекция 6.....	73
Устройства автоматизи в системах электроэнергетики.....	73
6.1. Общие понятия	73
6.2. Система регулирования частоты и активной мощности.....	74
6.3. Противоаварийная автоматика.....	77
6.4. Автоматические системы, реализующие функции ПА	78
6.5. Измерительные устройства ПА.....	81
Лекция 7.....	83
7. Аппаратура телеизмерения	83
7.1. Основные принципы измерения	83
7.2. Классификация систем телеизмерения.....	84

7.3. Кодоимпульсные системы телеизмерения	85
7.4. Измерительные преобразователи.....	86
Лекция 8.....	88
8. Система передачи данных	88
8.1. Основные требования к системам связи	88
8.2. Коммуникационная топология.....	89
8.3. Методы связи	90
8.4. Принципы управления доступом к среде передачи данных	91
Лекция 9.....	93
9. Коммуникационные протоколы передачи данных в электроэнергетике.....	93
9.1. Протокол распределенной сети (DNP V3.0).....	93
9.2. Протокол передачи данных Modbus.....	95
9.3. Протокол передачи данных Modbus Plus.....	98
9.4. Протокол передачи данных LonTalk.....	99
.....	101
9.5. Протокол передачи данных Ethernet.....	101
<p><u>Протокол Ethernet/IP (Industrial Ethernet Protocol) разработан на основе CIP (Common Interface Protocol) — протокола, по которому осуществляется объединение отдельных компонентов в единый модуль. Протокол EtherNet/IP обеспечивает передачу критичных ко времени доставки данных между управляющим устройством и устройствами ввода-вывода, а также обмен в сети Internet. Некритичные ко времени данные пересылаются через стек TCP, а доставка критичных ко времени данных осуществляется через стек UDP.</u></p> <p><u>Протокол Profinet IO предназначен для обмена с периферийными устройствами и создания модульных распределённых систем ввода-вывода, в которых пользователь сам задаёт способ и параметры каскадирования блоков. Некритичные ко времени данные передаются по протоколу TCP/IP, а критичные — по протоколу IRT для обеспечения обмена в режиме реального времени. Для оптимизации связи всем пакетам присваиваются приоритеты согласно IEEE 802.1p. Данные, пересылаемые в реальном масштабе времени, должны иметь высший приоритет. Протокол Profinet IO используется в основном в системах управления перемещением с применением специальных коммутаторов Ethernet/Profinet Irt.</u></p> <p><u>Протокол Modbus-TCP представляет собой реализацию сети Modbus на основе Ethernet-TCP/IP. Сети Modbus используются для связи промышленных электронных устройств. При пересылке данных кадр Modbus вставляется в кадр Ethernet. Проверка контрольной суммы при получении пакета не производится. Modbus-TCP характеризуется повышенной скоростью передачи данных, имеет более широкое адресное пространство и возможность обмена через Internet.</u></p> <p><u>Ethernet Powerlink (EPL) является расширением Ethernet IEEE802.3 и обеспечивает возможность передачи данных в масштабе реального времени в микросекундном диапазоне. EPL гарантирует передачу критичных по времени данных и обеспечивает синхронизацию всех сетевых узлов в субмикросекундном диапазоне. Передача менее критичных по времени данных происходит в резервном асинхронном канале. Для передачи критичных по времени данных используется дополнительный стек Powerlink. Обмен осуществляется с помощью технологии SCNM (Slot Communication Network Management), которая для каждой станции в сети определяет приоритет и временной интервал для передачи данных. В каждый временной интервал только одна станция имеет полный доступ к сети, что позволяет избавиться от коллизий и обеспечить детерминированность в работе. В дополнение к этим индивидуальным интервалам времени для изохронной передачи данных SCNM обеспечивает общие интервалы времени для асинхронной передачи данных.</u></p> <p><u>Стандарт SERCOS-III представляет собой адаптацию протокола SERCOS под сеть</u></p>	

Ethernet. SERCOS (Serial Real-Time COmmunication System) — цифровой последовательный интерфейс с разделением по времени, предназначенный для использования в системах контроля движения. В отличие от рассмотренных интерфейсов с топологией, полевая шина SERCOS является разветвлённой линейной сетью, обеспечивая не только контроль устройств нижнего уровня (датчиков, стартеров и инверторов), но и связь с устройствами ввода-вывода. Некритичные ко времени данные, как и в предыдущих случаях, передаются по протоколу TCP/IP. Для передачи критичных ко времени данных в протоколе SERCOS-III используется тот же механизм обеспечения работы в масштабе реального времени, что и в SERCOS. Топология SERCOS-III имеет две разновидности: двойное кольцо и шина. В первом случае сеть характеризуется повышенной надёжностью и стойкостью к обрыву линии, а во втором — минимальной длиной кабеля.	
Протокол EtherCAT (Ethernet for Control Automation Technology) предназначен для контроля технологического процесса. Инициатор обмена — мастер шины EtherCAT. Он посылает по сети один пакет, который поочередно обходит все устройства. При этом каждый абонент прочитывает его и вносит свои данные технологического процесса. Таким образом, за счёт циркулирования только одного общего пакета значительно снижается нагрузка сети и задержка, вносимая каждым узлом, поскольку в случае обмена индивидуальными пакетами абонент затрачивает больше времени на приём, проверку, обработку и отправку данных. Сеть EtherCAT может иметь любую топологию, однако принцип работы у неё всегда кольцевой за счёт дуплексного обмена.	102
9.6. Протокол передачи данных TCP/IP	103
9.7. Протокол передачи данных PROFIBUS	104
Варианты PROFIBUS	105
PROFIBUS и SIMOTION	105
Участники шины	105
Функции PROFIBUS DP	106
Устройства SIMOTION и PROFIBUS DP	107
Лекция 10	108
10. Системы SCADA	108
10.1. Классификация систем	108
10.2. Принципы построения систем ближнего действия	108
10.3. Принципы построения частотных систем	111
10.4. Принципы построения временных систем	113
10.5. Структурные схемы систем	116
Лекция 11	118
11. Современные средства управления электроэнергетическими параметрами	118
11.1. Телемеханическая система GE	118
11.2. Комплекс устройств телемеханики типа ABB	120
11.3. Аппаратура телемеханики с элементами оптоволоконной техники SEL	123
11.4. Микропроцессорная система телемеханики на базе Siemens	127
11.5. Системы управления в электроэнергетике ALSTOM	132
Лекция 12	133
12. Системы телеобработки данных	133
12.1. Адаптивные системы телемеханики	133
12.2. Структура системы телеобработки данных	135
12.3. Сети передачи данных	136
12.4. Абонентский пункт сети передачи данных	140
12.5. Включение ЭВМ в сеть передачи данных	142
12.6. Особенности каналов передачи данных в энергосистемах	144
Лекция 13	147

13. Проектирование и эксплуатация систем телемеханики.....	147
13.1. Техничко-экономическая эффективность устройств управления в электроэнергетике.....	147
13.2. Особенности проектирования систем управления в электроэнергетике.....	154
Лекция 14.....	157
14. Микропроцессорные системы автоматики в электроснабжении.....	157
14.1. Автоматическое повторное включение.....	157
14.2. Автоматический ввод резерва.....	158
14.3. Автоматическая частотная разгрузка.....	160
14.4. Автоматическая токовая разгрузка.....	164
14.5. Автоматическое регулирование напряжения в электрических сетях переменного тока.....	167
14.6. Автоматическое регулирование мощности конденсаторных батарей.....	171
14.7. Автоматическое регулирование возбуждение синхронных двигателей и синхронных компенсаторов.....	176
Лекция 15.....	181
15. Автоматизированные системы контроля и управления.	181
15.1. АСКУЭ в промышленности.	181
15.2. АСКУЭ в ЖКХ.....	184
15.3. Измерительный канал АСКУЭ. Измерительные преобразователи АСКУЭ.	185
15.4. Устройства сбора и передачи данных (УСПД). Интерфейсы.....	188
15.5. Структура АСКУЭ, аппаратное и программное обеспечение. Техничко-экономический анализ внедрения АСКУЭ.....	190
Основная литература.....	197
Дополнительная литература.....	197

Лекция 1

1. Технические средства управления в энергетике энергосистемами

1.1. Особенности современных энергетических систем

Развитие современной промышленности и аграрного комплекса требуют мощного энергетического потенциала, который может быть получен при создании и использовании энергетических систем.

Электро-Энергетическая система представляет собой совокупность электрических станций, электрических и тепловых сетей и узлов потребления, объединенных процессом производства, передачи и распределения электроэнергии и теплоты и связанных общим оперативным и хозяйственным управлением.

В странах СНГ имеется 95 районных энергетических систем, каждая из которых обеспечивает централизованное электроснабжение потребителей на территории, охватываемой подчиненными ей электрическими сетями. Энергосистема обслуживает обычно территорию одной области, края, автономной республики или даже отдельного государства СНГ.

С административно-хозяйственной точки зрения районная энергосистема представляет собой производственное объединение нескольких разнородных энергетических предприятий: электростанций, предприятий по эксплуатации электрических сетей, ремонтных баз, заводов энергетического профиля.

Отличительной особенностью развития современных энергосистем является их дальнейшее объединение в Единую энергосистему СНГ, в составе которой уже в настоящее время работают 79 из 95 энергосистем. Оперативно-диспетчерское управление совместной работой этих энергосистем осуществляется в рамках 9 объединенных энергосистем (ОЭС).

Наличие Единой энергетической системы обеспечивает ряд важных преимуществ:

- при объединении энергосистем снижается требуемая мощность электростанций за счет использования разновременности наступления максимальных нагрузок в отдельных энергосистемах;
- суточный график электрической нагрузки заметно выравнивается;
- взаимопомощь энергосистем в аварийных ситуациях позволяет уменьшить общие размеры оперативных резервов мощности;
- облегчаются условия проведения ремонтов, создаются предпосылки для взаимной компенсации непредвиденных отклонений потребляемой мощности энергорайонов.

В ЕЭС СНГ снижение общей мощности электростанций по сравнению с необходимой при изолированной работе отдельных энергосистем составляет уже более 12 млн. кВт.

Применение ЕЭС позволяет увеличить единичную мощность станций, за счет установки агрегатов наибольшей мощности, которую может изготовить электротехническая промышленность, и укрупнения электростанций. Увеличение мощности электростанций дает дополнительную экономию за счет использования общей строительной базы, одних и тех же коммуникаций. В ЕЭС достигнута высокая степень концентрации мощностей на электростанциях. В настоящее время мощность более 70 электростанций достигла и превысила 1 млн. кВт, из них 28 имеют мощность, равную 2 млн. кВт и выше. На тепловых электростанциях эксплуатируются энергоблоки единичной мощностью 1 млн. кВт каждый. Самой крупной атомной станцией в Европе является Запорожская АЭС, установленной мощностью 6 млн. кВт.

1.2. Общие принципы управления в электроэнергетике

Цель оперативного управления в электроэнергетике:

разработка и ведение режимов энергосистем в порядке, установленном *Правилами оптового рынка электрической энергии*, обеспечивающее надежное и бесперебойное снабжение потребителей электроэнергией требуемого качества при максимальной экономичности и создание возможности безопасного обслуживания энергооборудования.

Оперативно-диспетчерское управление в электроэнергетике - комплекс мер по централизованному управлению технологическими режимами работы объектов электроэнергетики и энергопринимающих устройств потребителей электроэнергии, если эти объекты и устройства влияют на электроэнергетический режим работы ЕЭС и включены соответствующим субъектом оперативно-диспетчерского управления в перечень объектов, подлежащих такому управлению.

Объекты электроэнергетики -

имущественные объекты, непосредственно используемые в процессе производства, передачи электроэнергии, оперативно- диспетчерском управлении

электроэнергетике и сбыта электроэнергии, в том числе объекты электросетевого хозяйства.

Потребители электроэнергии с управляемой нагрузкой - **категория**

потребителей электроэнергии, которые влияют на качество электроэнергии, надежность работы ЕЭС России и оказывают в связи с этим на возмездной договорной основе услуги по обеспечению вывода ЕЭС России из аварийных ситуаций. Эти потребители могут оказывать и иные согласованные с ними услуги по условию договора.

Диспетчерское ведение - организация управления технологическими режимами и эксплуатационным состоянием объектов электроэнергетики или энергопринимающих установок потребителей электроэнергии с управляемой нагрузкой, при которой технологические режимы или эксплуатационное

состояние изменяются только **по согласованию** с соответствующим диспетчерским центром.

Диспетчерское управление - организация управления технологическими режимами и эксплуатационным состоянием объектов электроэнергетики или энергопринимающих установок потребителей электроэнергии с управляемой нагрузкой, при которой технологические режимы или

эксплуатационное состояние изменяются только **по оперативной диспетчерской команде** диспетчера соответствующего диспетчерского центра.

Диспетчерский центр - структурное подразделение организации - субъекта оперативно-диспетчерского управления, осуществляющее в пределах закрепленной за ним операционной зоны управление режимом энергосистемы.

Операционная зона - территория, в границах которой расположены объекты электроэнергетики и энергопринимающие установки потребителей электрической энергии, управление взаимосвязанными технологическими режимами работы которых осуществляет соответствующий диспетчерский центр.

Диспетчер - работник диспетчерского центра, осуществляющий управление взаимосвязанными технологическими режимами и эксплуатационным состоянием объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок потребителей электроэнергии в операционной зоне этого диспетчерского центра.

Схема электрических соединений объекта (объектов) электроэнергетики -

характеристика технологического режима работы объекта электроэнергетики (энергетического режима энергосистемы), определяющая состояние соединения оборудования объекта (объектов) электроэнергетики между собой.

Нормальный режим энергосистемы - режим энергосистемы, при котором все потребители снабжаются электроэнергией в соответствии с договорами и диспетчерскими графиками, а значения технических параметров режима энергосистемы и оборудования находятся в пределах длительно допустимых значений, имеются нормативные оперативные резервы мощности и топлива на электростанциях.

Аварийный режим энергосистемы - режим энергосистемы с параметрами, выходящими за пределы требований технических регламентов, возникновение и длительное существование которого представляют недопустимую угрозу жизни людей, повреждения оборудования и ведут к ограничению подачи электрической и тепловой энергии в значительном объеме.

Послеаварийный режим энергосистемы - режим, в котором энергосистема находится после локализации аварии до установления нормального или вынужденного режима. Послеаварийный режим характеризуется сниженными требованиями к параметрам режима, по сравнению с требованиями к нормальному режиму. Продолжительность нормализации послеаварийного режима ограничена 20 минутами. Превышение указанного времени означает переход к работе в вынужденном режиме.

Вынужденный режим энергосистемы - режим энергосистемы, при котором нагрузка некоторых сечений выше максимально допустимой, но не превышает аварийно допустимой. Вынужденный режим может быть разрешен на высшем уровне диспетчерского управления для послеаварийных режимов на время прохождения максимума или минимума нагрузки, но не более 40 минут (дополнительно к 20 минутам, разрешенным для нормализации послеаварийного режима), или на время, необходимое для ввода ограничений и/или мобилизации резерва, а также при невозможности выполнения требований к нормальным режимам энергосистемы.

Технологический режим работы - процесс, протекающий в технических устройствах объекта электроэнергетики или энергопринимающей установки потребителя электроэнергии, и состояние этого объекта или установки (включая параметры настройки системной и противоаварийной автоматики).

Управление технологическими режимами энергосистемы может осуществляться одним субъектом оперативно-диспетчерского управления или несколькими субъектами оперативно-диспетчерского управления, находящимися в соподчинении, то есть являющимися **вышестоящими** и **нижестоящими** по отношению друг к

другу.

Электроэнергетический

режим

энергосистемы -

единый процесс производства, преобразования, передачи и потребления электрической энергии в энергосистеме и состояние объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок потребителей электроэнергии (включая схемы электрических соединений объектов электроэнергетики).

Субъекты оперативно- диспетчерского управления:

- Системный оператор Единой энергетической системы России (СО)

- Иные субъекты оперативно- диспетчерского управления

Субъекты оперативно- диспетчерского управления:

- Системный оператор Единой энергетической системы России (СО) - специализированная организация, осуществляющая единоличное управление технологическими режимами работы объектов электроэнергетики и уполномоченная на выдачу оперативных диспетчерских команд и распоряжений, обязательных для всех субъектов оперативно-диспетчерского управления, субъектов электроэнергетики и потребителей электроэнергии с управляемой нагрузкой.

Иные субъекты оперативно- диспетчерского управления - организации и физические лица, уполномоченные на выдачу оперативных диспетчерских команд и распоряжений, обязательных для субъектов оперативно-диспетчерского управления нижестоящего уровня, субъектов электроэнергетики и потребителей с управляемой нагрузкой в пределах зон диспетчерской ответственности соответствующих субъектов оперативно-диспетчерского управления, деятельность которых осуществляется на основании договоров с СО и иными субъектами оперативно-диспетчерского управления и подчинена оперативным диспетчерским командам и

распоряжениям субъектов оперативно-диспетчерского управления
вышестоящего уровня.¹

22

Оперативный персонал:

- Оперативный персонал энергообъекта (электростанции, ПС, энергопринимающей установки потребителей).
- Оперативный персонал центров управления сетями сетевых организаций.

В качестве общего названия лиц, осуществляющих оперативно-диспетчерское управление в операционных зонах разного уровня используется - **оператор**.

В каждой операционной зоне **операторами** являются лица, осуществляющие прямое или опосредованное (через подчиненный персонал) управление режимами работы и

эксплуатационным состоянием объектов электроэнергетики или энергопринимающих установок потребителей электроэнергии.

Дежурный работник объекта электроэнергетики (электрической станции, подстанции, энергопринимающей установки потребителей) - работник субъекта электроэнергетики, уполномоченный на выдачу и выполнение команд по управлению электроэнергетическим режимом соответствующего объекта электроэнергетики, а также на непосредственное управление энергоустановками.

Операторы субъектов оперативно- диспетчерского управления

- диспетчеры ОАО СО-ЦДУ ЕЭС всех уровней,
- диспетчеры других субъектов оперативно- диспетчерского управления.

Операторы электрических сетей

- оперативно-технологический персонал сетевых компаний.

Операторы электрических станций

- начальник смены (дежурный инженер) станции,
- начальник смены электроцеха.

Операторы систем электроснабжения потребителей

- дежурный инженер электроцеха (службы или отдела главного энергетика) предприятия,
- дежурный электромонтер.

Оперативно-диспетчерское управление должно производиться по общим правилам и стандартам, что обеспечивает однозначность и согласованность действий персонала множества субъектов управления.

Управление технологическими режимами энергосистемы осуществляется в порядке, установленном:

- Правилами оптового рынка электрической энергии;
- Правилами оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике.

1.3. Внешние информационные связи систем управления

Устройство управления тактируется от внешнего генератора, вырабатывающего последовательность импульсов Ф1 и Ф2. Оно связано с остальной частью МП внутренними управляющими сигналами УС и сигналами признаков Рi. С внешней средой УУ связано шиной управления, содержащей 10 линий (4 сигнала поступают извне и 6 сигналов выдает МП).

Состав шины управления.

1. Начальная установка (сброс). При подаче «1» на этот вход ПС сбрасывается в 0 и начинается выполнение программы сначала.
2. Синхронизация. Сигнал «1» на этом выходе вырабатывается в начале каждого цикла работы МП (перед каждым обращением МП к любому внешнему элементу).
3. Чтение. Сигнал «1» указывает, что МП готов принять информацию по ШД извне. Этот сигнал обычно подключается ко входу «чтение» ЗУ и устройств ввода.
4. /Зп. Сигнал «0» указывает, что МП выставил на шину данных информацию, подлежащую записи в ОЗУ или выдаче на устройства вывода.
5. Готов. Сигнал «1» на этом входе указывает МП на окончание цикла чтения или записи. Он вырабатывается внешними устройствами по окончании цикла их работы. Если сигнал «1» не поступил, то МП входит в состояние ожидания, в течение которого МП удерживает адрес на ША, управляющий сигнал «чтение» или «запись» и сохраняет открытыми цепи передачи информации через БД. Состояние ожидания сохраняется до поступления «1» - «готов». В случае, когда все внешние элементы работают со скоростью МП или большей, на вход «готов» постоянно подключается «1».
6. Ожидание. Сигнал «1» на этом выходе указывает, что МП в состоянии ожидания. Этот сигнал помогает установить неисправный блок, из-за которого МП остановился.
7. З.Пр. - вход запроса на прерывание {глава 7.2.7}. Сигнал «1» поступает

извне при необходимости прервать работу МП.
8. Р.Пр. - разрешение прерывания. Сигнал «1» на этом выходе указывает, что прерывания разрешены. Разрешение и запрещение прерывания производится специальными командами.
9. Захват. При поступлении сигнала «1» МП останавливает работу, БА и БД переводятся в третье состояние. При этом МП отключается от ША и ШД.
10. Подтверждение захвата. Сигнал «1» указывает, что МП находится в состоянии захвата.

1.4. Устройства обработки и отображения информации

СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ И ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ - совокупность технических средств, обеспечивающих представление информации (напр., о ходе учебных, технологических процессов, движении транспортных средств, результатах обработки данных на ЭВМ) в форме, удобной для зрительного восприятия человеком.

Важную роль в реализации процесса обработки и отображения информации играют системы отображения информации коллективного пользования. Эта роль состоит в обеспечении коллективного решения задач, характерных для области применения этих систем. Рассмотрим несколько решений, применяемых внутри помещений (ситуационные центры, конференц-залы, комнаты совещаний, учебные классы, диспетчерские и т.п.)

ПРОЕКЦИОННАЯ СИСТЕМА

На сегодняшний день проекционное оборудование не является чем-то удивительным и непонятным для большинства людей, так или иначе сталкивающихся с вопросами отображения видеоинформации. Классическая схема проекционной системы состоит из проектора и экрана прямой проекции. Доступность и эффективность этих устройств весьма выросли, значительно повысив спрос на них.

Наряду с системой прямой проекции существует система обратной проекции. Главное отличие заключается в местоположении проектора относительно экрана. В первом случае проектор размещается перед экраном, во втором – проектор располагается за экраном, в технологическом помещении, если лицевой стороной считать поверхность экрана, обращённую к зрителям. Преимущество такого положения проектора относительно экрана - меньшая чувствительность к условиям внешнего освещения в силу изоляции светового потока, исходящего из объектива проектора.

Проекционные системы имеют невысокую стоимость и просты в эксплуатации, однако существенный недостаток таких систем – фиксированное графическое разрешение проектора и малый срок службы лампы (до 5000 часов). Для увеличения общего разрешения применяют несколько проекторов на один экран, причем каждый проектор отображает

только свою часть общей картинки. Проекционные системы в основном применяются в случае, когда нет необходимости круглосуточной эксплуатации технических средств (учебные классы, конференц-залы, комнаты совещаний и т.п.).

ИНТЕРАКТИВНАЯ ДОСКА

Интерактивная доска (ИД) - это устройство, позволяющее лектору или докладчику объединить два различных инструмента: экран для отображения информации, проектор и обычную маркерную доску. Интерактивная доска может использоваться как самостоятельно в качестве экрана для отображения и обработки информации, так и в качестве дополнения к уже установленной проекционной системе.

Для работы с интерактивной доской не требуется специальных навыков или знаний. Перед началом работы ИД подключается к компьютеру и проектору. На нее, как на экран, проецируется изображение от любого источника (компьютерного или видео сигнала), с которым Вы теперь можете работать прямо на поверхности доски. Манипуляции компьютерной мыши осуществляются касанием поверхности, тем самым докладчик имеет полный доступ к управлению компьютером.

Запись на интерактивной доске ведется специальным электронным пером или даже пальцем. Докладчик, взяв в руки специальный маркер, может работать с изображением на экране: выделять, подчеркивать, обводить важные участки, рисовать схемы или корректировать их, вносить исправления в текст. Сенсорные устройства "улавливают" прикосновения, и транслируют в соответствующие электронные сигналы, отражающие движение пишущей руки. Доска снабжена лотком с тремя маркерами разного цвета и ластиком. Докладчик может заранее задать цвета маркеров, которые он будет использовать во время выступления - тогда ИД автоматически реагирует, что из лотка взят, например, зеленый маркер или ластик.

Область применения интерактивных досок и панелей весьма обширна. В сфере образования они дают возможность преподавателю работать с электронной картой, схемой, рисунком, картиной. Существует также возможность сохранять нанесенные изображения в виде файла и обмениваться ими по каналам связи, это важно для военных организаций, ситуационных и кризисных центров.

ВИДЕОСТЕНА

Видеостена представляет собой единый полиэкран, составленный из одинаковых проекционных или специализированных плазменных модулей таким образом, что результирующее разрешение является суммой разрешений установленных модулей. С точки зрения пользователей, полиэкран представляет собой единое рабочее поле, информационная емкость которого может быть сколь угодно большой. Как правило, видеостена вместе со специализированным контроллером и вспомогательным оборудованием представляет собой многофункциональную систему отображения информации. Такая система способна отображать

большое количество разнородных и независимых потоков информации в виде рабочих окон, свободно располагаемых и масштабируемых на всем полиэкране.

ПЛАЗМЕННЫЕ И ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ПАНЕЛИ

В зависимости от размера панели могут применяться как основное (как правило размер диагонали панели в этом случае более 50 дюймов) и вспомогательное средство отображения информации (например, дублирование изображения в конференц-залах для удаленных от основного экрана зрителей). Главное преимущество по сравнению с проекционными системами – высокий показатель по наработке на отказ (более 30 000 часов), что позволяет применять эти средства для круглосуточной работы (диспетчерские, ситуационные центры, командные пункты и пр.). Для плазменных панелей существуют также просветные интерактивные насадки, реализующие функции интерактивной доски.

1.5. Автоматизированная система управления в электроэнергетике

Автоматизация – это наука о принципах, методах и средствах построения систем и устройств, позволяющих управлять теми или иными устройствами и их совокупностями без участия человека. Автоматизация широко используется в электроэнергетике. Под автоматизацией электроэнергетических систем (ЭЭС) понимают их оснащение отдельными устройствами и системами для управления производством, передачей и распределением электрической энергии в нормальных и аварийных режимах без участия человека. Роль автоматики, уровня ее совершенства, исключительно важна для обеспечения надежности ЭЭС.

Ввиду широкого использования электрической энергии абсолютно во всех сферах жизнедеятельности человека выход из строя энергосистемы, нормальная работа которой во многом определяется надежностью автоматики, приведет к негативным, а зачастую и катастрофическим последствиям.

Так, например, из-за нарушений в работе устройств системной автоматики крупнейшей в США энергосистемы CANUSE («Канада – США восточная») 9 ноября 1965 года произошел «развал» энергосистемы. Эту аварию называли «катастрофой века» – за 11 минут на территории 200 тысяч квадратных километров, где расположены такие гигантские города, как Нью-Йорк, Бостон, Монреаль и другие, полностью отключилось электричество. Остановились электропоезда, тысячи людей застряли в поездах метро в туннелях между станциями, самолеты не могли совершить посадку на «пропавших» в темноте аэродромах, многие остались в лифтах, остановившихся между этажами домов. Убытки, вызванные катастрофой, составили колоссальную сумму – около 100 миллионов долларов. А

причиной аварии стало неправильное срабатывание одного из элементов системной автоматики – реле.

Важнейшим показателем совершенства ЭЭС является качество электроэнергии, под которым прежде всего понимается стабильность величины напряжения и его частоты. Отклонение этих параметров от номинальных значений приводит к ухудшению работы потребителей электроэнергии. Так, например, скачки напряжения сверх допустимых пределов и даже кратковременный перерыв подачи электроэнергии (0,01 с) приводят к сбою в работе электронного оборудования. Задачи поддержания требуемой стабильности величины напряжения и его частоты реализуются соответствующими автоматическими системами.

Для повышения надежности электроснабжения широкое применение находят автономные источники электроэнергии в виде дизельных электростанций, газотурбинных установок, установок гарантированного электропитания с использованием различных первичных источников энергии. Их нормальное функционирование также невозможно без автоматических систем управления.

Для контроля и управления режимами источников электроэнергии, обеспечения бесперебойного снабжения потребителей, руководства ликвидацией аварий в энергосистеме создаются службы диспетчерского управления энергосистемой. В настоящее время сложность задач оперативного управления большими ЭЭС приводит к тому, что диспетчер не в состоянии проконтролировать все узловые точки электрической сети и не способен достаточно быстро произвести операции по ее управлению. Поэтому на автоматику возлагаются операции по управлению ЭЭС с требуемой точностью, надежностью и быстродействием, соизмеримым с длительностью электромагнитных и электрических процессов, протекающих в системе.

Итак, главное назначение автоматизации ЭЭС состоит в обеспечении требуемого качества электроэнергии и повышении надежности снабжения потребителей электроэнергией. Отметим также, что автоматизация приводит к большей простоте и удобству эксплуатации и повышает экономичность режимов работы ЭЭС.

Автоматическое регулирование в ЭЭС используется в основном для регулирования напряжения и реактивной мощности, частоты и активной мощности. Основными задачами автоматического регулирования являются:

- обеспечение качества и заданных уровней напряжения в узлах ЭЭС и тем самым рационального распределения потоков реактивной мощности при передаче электроэнергии от источников к потребителям;
- обеспечение устойчивости и работы ЭЭС в нормальных и аварийных режимах.

Производство, распределение и потребление электроэнергии происходят в основном на переменном токе. Частота генерируемого напряжения f жестко связана с угловой скоростью вращения синхронного

генератора. Поэтому для обеспечения стабильности частоты f агрегаты, приводящие во вращение генераторы, снабжаются автоматическими регуляторами частоты вращения. Они, кроме задачи стабилизации частоты f , одновременно решают задачу оптимального распределения активной мощности между параллельно работающими генераторами, минимизируя затраты на производство электроэнергии.

Лекция 2

2. Основы теории передачи информации

2.1. Общие положения и понятия.

Используемые методы разделения каналов (РК) можно классифицировать на линейные и нелинейные (комбинационные).

В большинстве случаев разделения каналов каждому источнику сообщения выделяется специальный сигнал, называемый канальным. Промодулированные сообщениями канальные сигналы объединяются, в результате чего образуется групповой сигнал. Если операция объединения линейна, то получившийся сигнал называют линейным групповым сигналом.

Для унификации многоканальных систем связи за основной или стандартный канал принимают канал тональной частоты (канал ТЧ), обеспечивающий передачу сообщений с эффективно передаваемой полосой частот 300...3400 Гц, соответствующей основному спектру телефонного сигнала.

Многоканальные системы образуются путем объединения каналов ТЧ в группы, обычно кратные 12 каналам. В свою очередь, часто используют "вторичное уплотнение" каналов ТЧ телеграфными каналами и каналами передачи данных.

На Рис. 2.1 приведена структурная схема наиболее распространенных систем многоканальной связи.

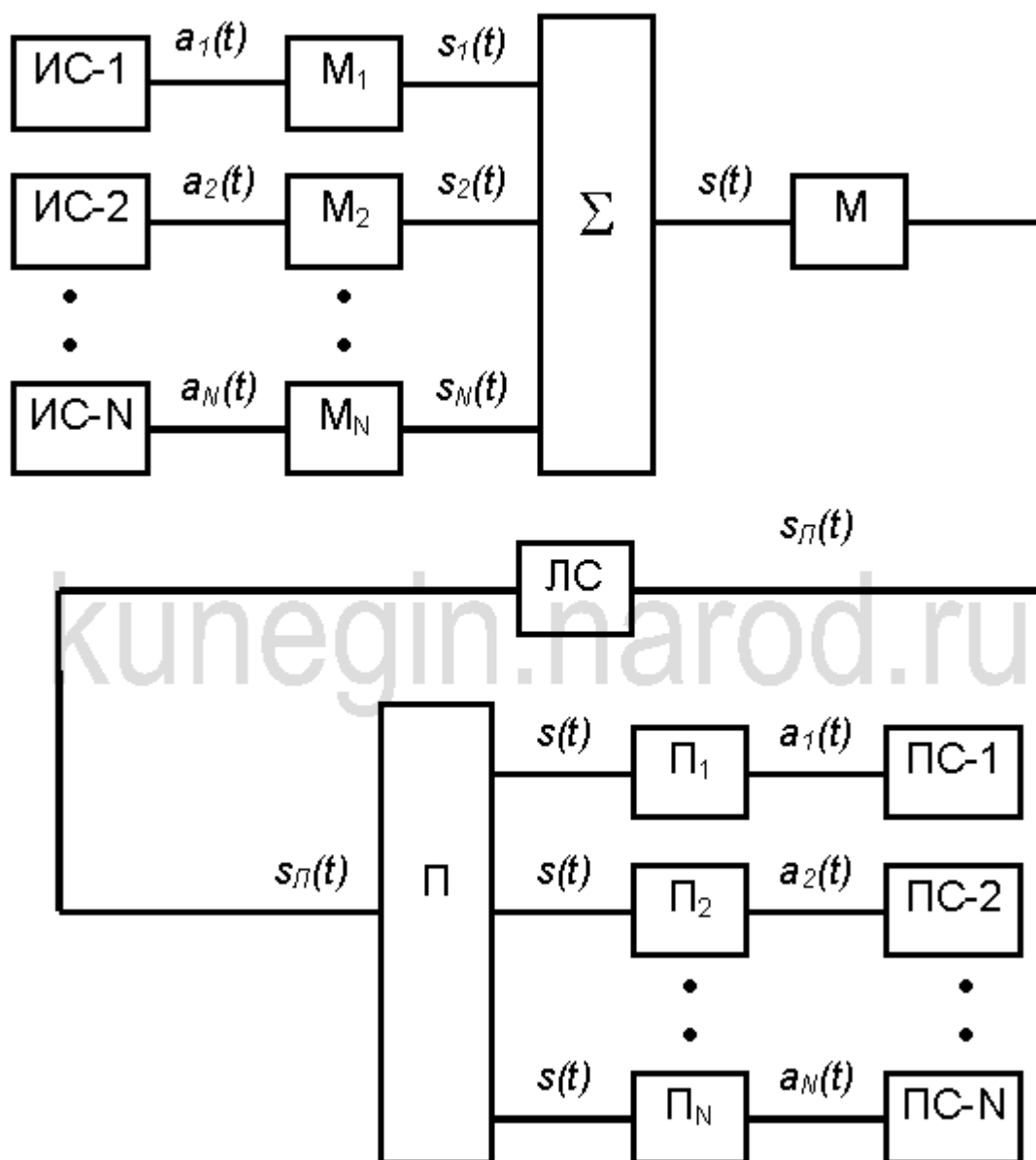


Рис. 2.1. Структурная схема систем многоканальной связи

Реализация сообщений каждого источника $a_1(t), a_2(t), \dots, a_N(t)$ с помощью индивидуальных передатчиков (модуляторов) M_1, M_2, \dots, M_N преобразуются в соответствующие каналные сигналы $s_1(t), s_2(t), \dots, s_N(t)$. Совокупность каналных сигналов на выходе суммирующего устройства Σ образует групповой сигнал $s(t)$. Наконец, в групповом передатчике M сигнал $s(t)$ преобразуется в линейный сигнал $s_{\text{л}}(t)$, который и поступает в линию связи ЛС. Допустим, что линия пропускает сигнал практически без искажений и не вносит шумов. Тогда на приемном конце линии связи линейный сигнал $s_{\text{л}}(t)$ с помощью группового приемника Π может быть вновь преобразован в групповой сигнал $s(t)$. Канальными или индивидуальными приемниками $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_N$ из группового сигнала $s(t)$ выделяются соответствующие каналные сигналы $s_1(t), s_2(t), \dots, s_N(t)$ и затем преобразуются в предназначенные получателям сообщения $a_1(t), a_2(t), \dots, a_N(t)$.

Канальные передатчики вместе с суммирующим устройством образуют аппаратуру объединения. Групповой передатчик М, линия связи ЛС и групповой приемник П составляют групповой канал связи (тракт передачи), который вместе с аппаратурой объединения и индивидуальными приемниками составляет систему многоканальной связи.

Индивидуальные приемники системы многоканальной связи Π_k наряду с выполнением обычной операции преобразования сигналов $s_k(t)$ в соответствующие сообщения $a_k(t)$ должны обеспечить выделение сигналов $s_k(t)$ из группового сигнала $s(t)$. Иначе говоря, в составе технических устройств на передающей стороне многоканальной системы должна быть предусмотрена аппаратура объединения, а на приемной стороне - аппаратура разделения.

В общем случае групповой сигнал может формироваться не только простейшим суммированием канальных сигналов, но также и определенной логической обработкой, в результате которой каждый элемент группового сигнала несет информацию о сообщениях источников. Это так называемые системы с комбинационным разделением.

Чтобы разделяющие устройства были в состоянии различать сигналы отдельных каналов, должны существовать определенные признаки, присущие только данному сигналу. Такими признаками в общем случае могут быть параметры переносчика, например амплитуда, частота или фаза в случае непрерывной модуляции гармонического переносчика. При дискретных видах модуляции различающим признаком может служить и форма сигналов. Соответственно различаются и способы разделения сигналов: частотный, временной, фазовый и др.

2.2. Электрический информационный сигнал.

начала в соответствии с передаваемыми сообщениями первичные (индивидуальные) сигналы, имеющие энергетические спектры $G_1(\omega)$, $G_2(\omega)$, ..., $G_N(\omega)$ модулируют поднесущие частоты ω_k каждого канала. Эту операцию выполняют модуляторы M_1 , M_2 , ..., M_N канальных передатчиков. Полученные на выходе частотных фильтров Φ_1 , Φ_2 , ..., Φ_N спектры $g_k(\omega)$ канальных сигналов занимают соответственно полосы частот $\Delta\omega_1$, $\Delta\omega_2$, ..., $\Delta\omega_N$, которые в общем случае могут отличаться по ширине от спектров сообщений Ω_1 , Ω_2 , ..., Ω_N . При широкополосных видах модуляции, например, ЧМ ширина спектра $\Delta\omega_k \approx 2(\beta + 1) \Omega_k$, т.е. в общем случае $\Delta\omega \geq \Omega_k$. Для упрощения будем считать, что используется АМ-ОБП (как это принято в аналоговых СП с ЧРК), т.е. $\Delta\omega_k = \Omega$ и $\Delta\omega = N\Omega$.

Проследим основные этапы образования сигналов, а также изменение этих сигналов в процессе передачи (Рис. 6.13).

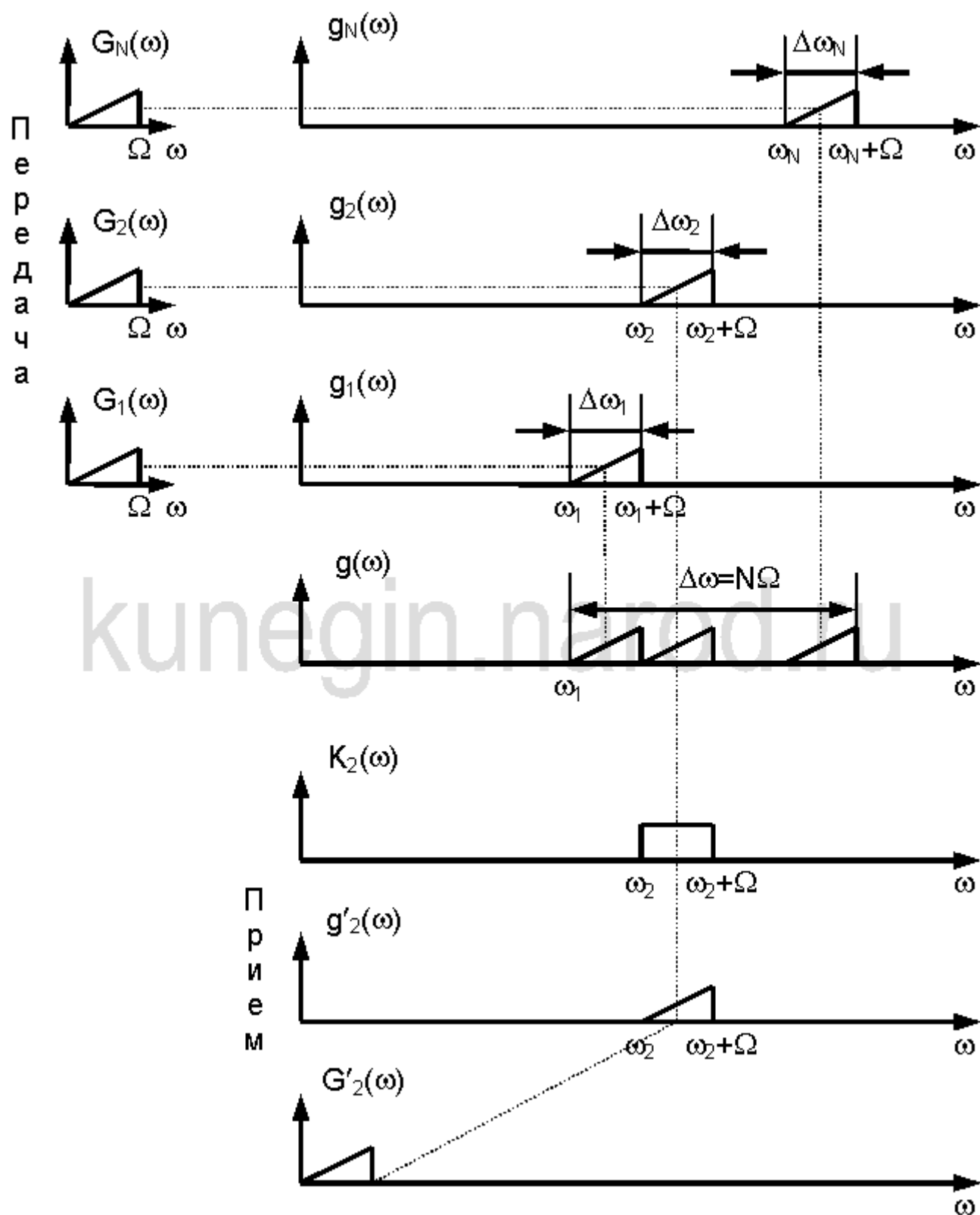


Рис. 6.13. Преобразование спектров в системе с частотным разделением каналов

Будем полагать, что спектры индивидуальных сигналов конечны. Тогда можно подобрать поднесущие частоты ω_k так, что полосы $\Delta\omega_1, \dots, \Delta\omega_k$ попарно не перекрываются. При этом условии сигналы $s_k(t)$ ($k=1, \dots, N$) взаимноортогональны.

Затем спектры $g_1(\omega), g_2(\omega), \dots, g_N(\omega)$ суммируются (Σ) и их совокупность $g(\omega)$ поступает на групповой модулятор (М). Здесь спектр $g(\omega)$ с помощью колебания несущей частоты ω_0 переносится в область частот, отведенную для передачи данной группы каналов, т.е. групповой сигнал $s(t)$ преобразуется в линейный сигнал $s_{\text{л}}(t)$. При этом может использоваться любой вид модуляции.

На приемном конце линейный сигнал поступает на групповой демодулятор (приемник П), который преобразует спектр линейного сигнала в спектр группового сигнала $g'(\omega)$. Спектр группового сигнала затем с помощью частотных фильтров $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_N$ вновь разделяется на отдельные полосы $\Delta\omega_k$, соответствующие отдельным каналам. Наконец, каналные демодуляторы Д преобразуют спектры сигналов $g_k(\omega)$ в спектры сообщений $G'_k(\omega)$, предназначенные получателям.

Из приведенных пояснений легко понять смысл частотного способа разделения каналов. Поскольку всякая реальная линия связи обладает ограниченной полосой пропускания, то при многоканальной передаче каждому отдельному каналу отводится определенная часть общей полосы пропускания.

На приемной стороне одновременно действуют сигналы всех каналов, различающиеся положением их частотных спектров на шкале частот. Чтобы без взаимных помех разделить такие сигналы, приемные устройства должны содержать частотные фильтры. Каждый из фильтров Φ_k должен пропустить без ослабления лишь те частоты $\omega \in \Delta\omega_k$, которые принадлежат сигналу данного канала; частоты сигналов всех других каналов $\omega \notin \Delta\omega_k$ фильтр должен подавить.

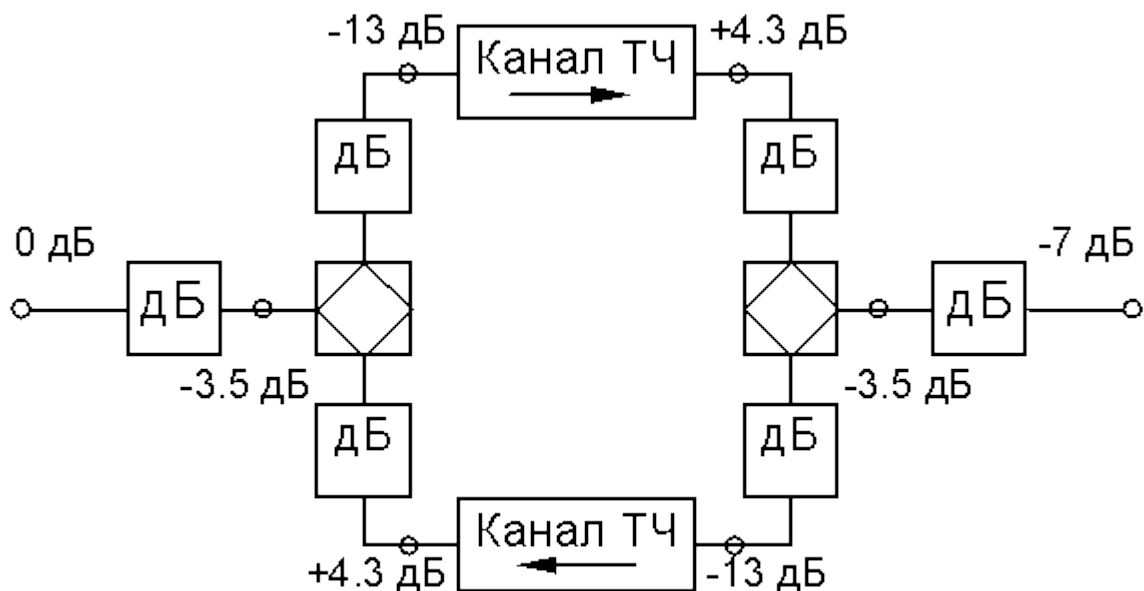
На практике это невыполнимо. Результатом являются взаимные помехи между каналами. Они возникают как за счет неполного сосредоточения энергии сигнала k -го канала в пределах заданной полосы частот $\Delta\omega_k$, так и за счет неидеальности реальных полосовых фильтров. В реальных условиях приходится учитывать также взаимные помехи нелинейного происхождения, например за счет нелинейности характеристик группового канала.

2.3. Канал телефонной связи.

Стандартный канал ТЧ. Канал тональной частоты (ТЧ) является единицей измерения емкости систем передачи и используется для передачи телефонных сигналов, а также сигналов данных, факсимильной и телеграфной связи. Такой канал включает в себя двухпроводное окончание и четырехпроводный

тракт. *Дифсистема* (ДС) служит для перехода с четырехпроводного тракта к двухпроводному окончанию. Удлинители в двухпроводном окончании имеют затухание 3,5 дБ и называются *транзитными*. Характеристики канала ТЧ нормируются рекомендациями МСЭ-Т серии М. В нашей стране требования МСЭ-Т уточняют "Нормы на электрические параметры каналов ТЧ магистральной и внутризоновых первичных сетей", введенные в действие приказом Министерства связи № 43 от 15.04.96. Рассмотрим основные характеристики канала ТЧ.

Нормированные (номинальные) измерительные уровни в стандартных точках канала ТЧ составляют (Рис. 6.21): на входе канала 0 дБм, на выходе транзитного удлинителя минус 3,5 дБм, на входе четырехпроводного тракта минус 13 дБм, на выходе четырехпроводного тракта 4,3 дБм, на входе транзитного удлинителя минус 3,5 дБм и на выходе канала минус 7 дБм.



дБ - удлинитель

Рис. 6.21. Номинальные измерительные уровни канала

Входное $Z_{ВХ}$ и выходное $Z_{ВЫХ}$ сопротивления канала ТЧ равны 600 Ом. Отклонение входного и выходного сопротивлений от номинального

Z_H оценивается коэффициентом отражения $\rho_{ОТР} = \left| \frac{Z_H - Z_P}{Z_H + Z_P} \right|$ или затуханием

несогласованности (отражения) $a_{ОТР} = 10 \lg \left| \frac{Z_H - Z_P}{Z_H + Z_P} \right|$, где Z_P - реальное значение сопротивления. Значение $\rho_{ОТР}$ не должно превышать 10%.

Остаточное затухание канала. Это есть величина, равная разности суммы затуханий и суммы усиления в канале: $a_{ост} = \sum a + \sum S$. Остаточное затухание канала ТЧ составляет 7 дБ. Максимальное отклонение во времени на одном транзитном участке не должно превышать 2,2 дБ с вероятностью 0,95.

Эффективно передаваемая полоса частот канала ТЧ - полоса, на крайних частотах которой (0,3 и 3,4 кГц) остаточное затухание на 8,7 дБ превышает остаточное затухание на частоте 800 Гц. Частотная характеристика отклонения канала ТЧ от номинала 7 дБ должна оставаться в пределах шаблона (Рис. 6.22) при максимальном числе транзитов, т.е. при 12 переприемных участках.

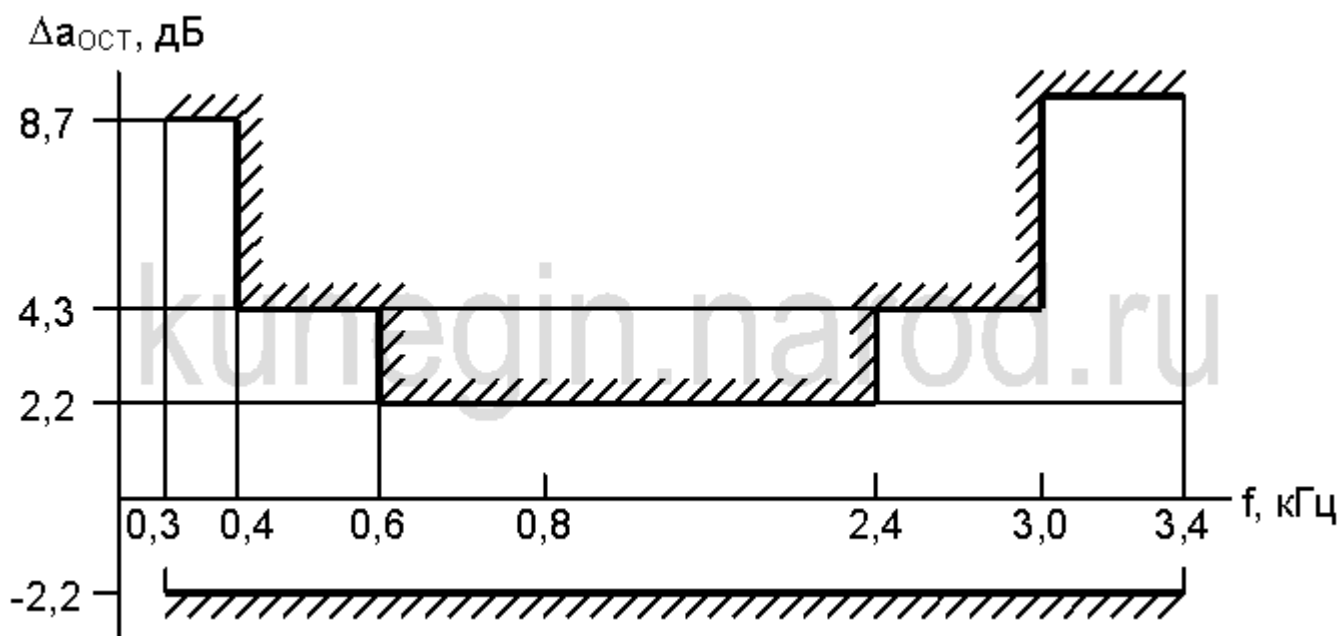


Рис. 6.22. Шаблон отклонения остаточного затухания аналогового канала ТЧ

Фазочастотные искажения не являются столь существенным при передаче речи. Но так как каналы ТЧ используются также для передачи данных и факсимильной связи, большие фазочастотные искажения недопустимы. Поэтому нормируется отклонение *группового времени передачи* (ГВП) от его значения на частоте 1900 Гц на одном транзитном участке длиной 2500 км (Рис. 6.23).

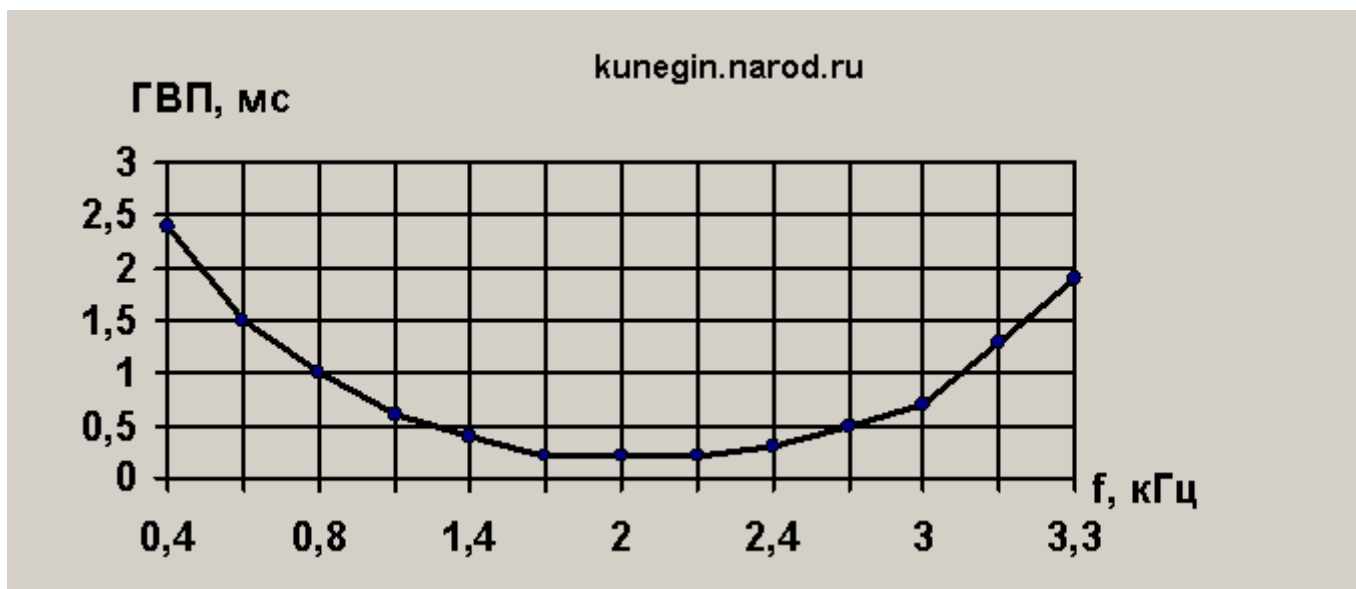


Рис. 6.23. Допустимые отклонения ГВП канала ТЧ

Коэффициент нелинейных искажений канала ТЧ на одном транзитном участке не должен превышать 1,5% (1% по третьей гармонике) при номинальном уровне передачи тока частотой 800 Гц. Амплитудная характеристика при этом нормируется следующим образом: остаточное затухание канала на одном транзитном участке должно оставаться постоянным с точностью 0,3 дБ при изменении уровня измерительного сигнала от минус 17,5 дБ до плюс 3,5 дБ в точке с нулевым измерительным уровнем на любой частоте пределах 0,3... 3,4 кГц. При повышении уровня измерительного сигнала до 8,7 и 20 дБ остаточное затухание должно уменьшиться не менее чем на 1,75 и 7,8 дБ соответственно.

Помехи в каналах ТЧ. На выходе канала ТЧ кроме информационного сигнала присутствуют помехи, которые определяются на приемном конце в точке с относительным уровнем минус 7 дБ. Средняя величина псофометрического (взвешенного) напряжения помех в канале в течение любого часа на одном переприемном участке длиной 2500 км не должна превышать 1,1 мВ псоф (10000 пВт псоф в точке относительного нулевого уровня).

Стандартные каналы ТЧ, организованные с помощью *цифровых и оптических* систем передачи, являются более высококачественными. Поэтому ряд характеристик цифровых каналов ТЧ имеют следующие отличия.

Нормы на амплитудно-частотные искажения заданы МСЭ-Т в виде шаблона (Рис. 6.24). Если сравнить допустимые отклонения остаточных затуханий цифровых и аналоговых каналов ТЧ (см. Рис. 6.22), можно отметить, что нормы для цифровых каналов более жесткие. То же можно сказать и о фазочастотных искажениях (Рис. 6.25).

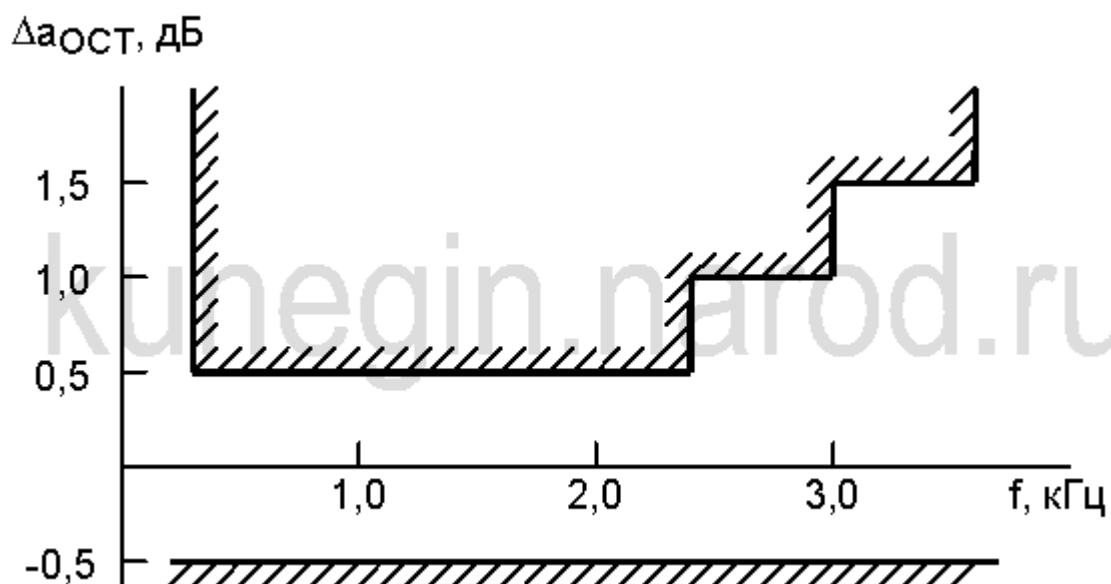


Рис. 6.24. Шаблон отклонений остаточного затухания цифрового канала ТЧ

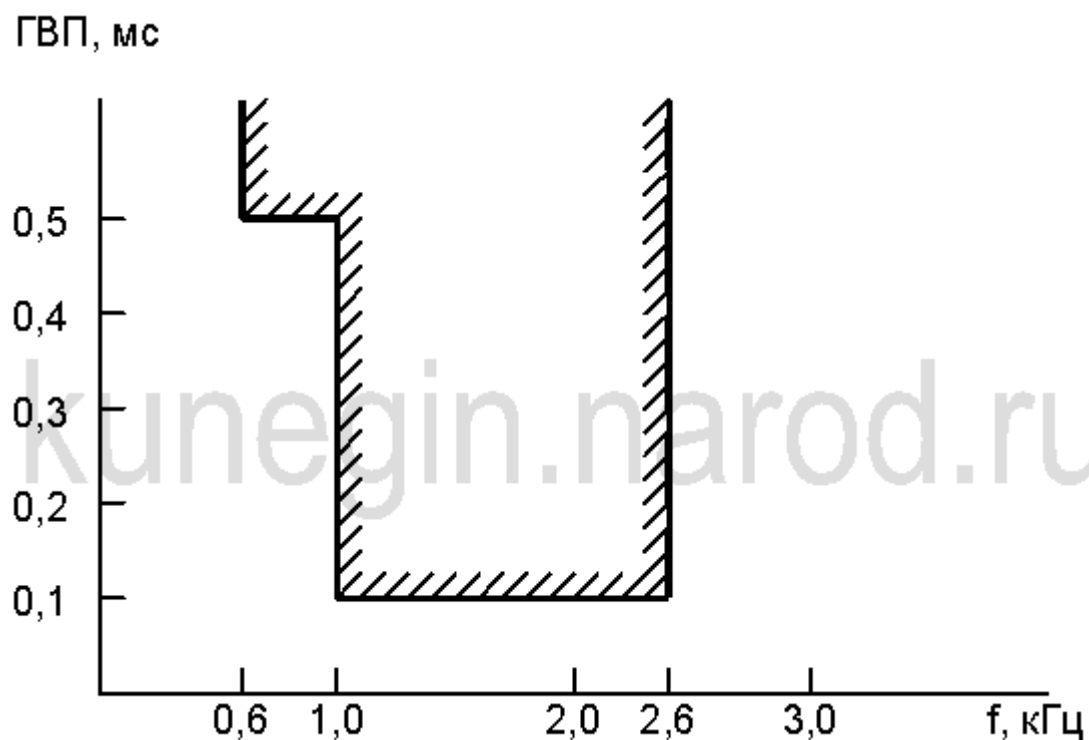


Рис. 6.25. Шаблон на допустимую неравномерность ГВП цифрового канала ТЧ

Для цифровых каналов ТЧ вводится дополнительная характеристика, которая оценивает *шумы квантования*. Эта характеристика задается в виде зависимости *отношения сигнал-шум*(ОСШ) от уровня сигнала (Рис. 6.26).

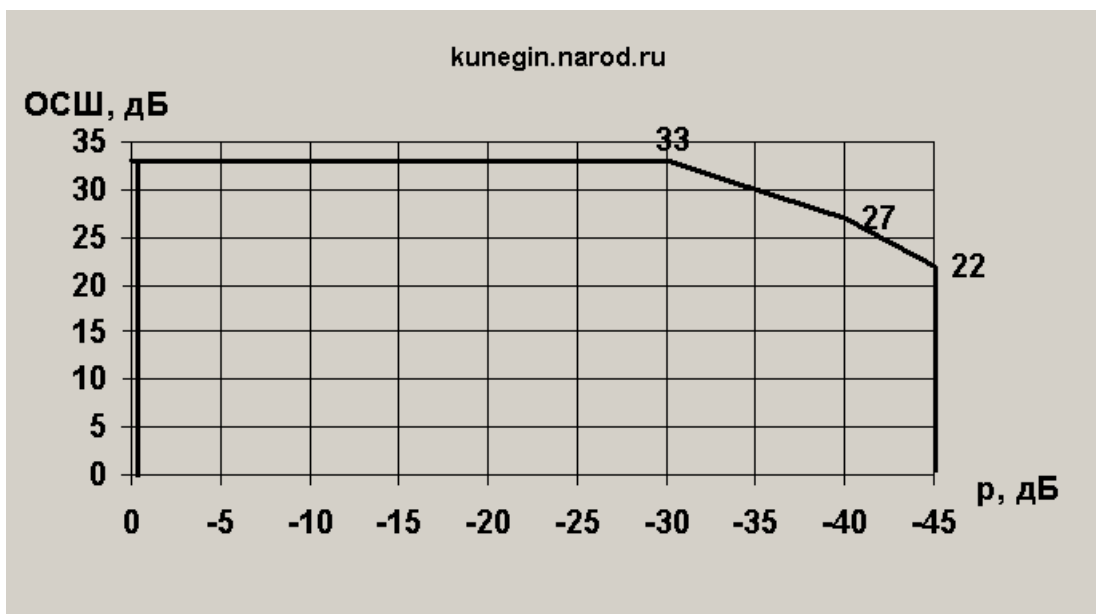


Рис. 6.26. Зависимость отношения сигнал/шум квантования от уровня сигнала

Широкополосные каналы. Современные системы передачи позволяют кроме стандартных каналов ТЧ организовать каналы с более высокой пропускной способностью. Увеличение пропускной способности достигается расширением ЭППЧ, причем широкополосные каналы образуются объединением нескольких каналов ТЧ.

В настоящее время аналоговые системы передачи предусматривают образование следующих широкополосных каналов:

- предгруппового канала с полосой частот 12..24 кГц взамен трех каналов ТЧ;
- первичного канала 60..108 кГц взамен 12 каналов ТЧ;
- вторичного канала 312..552 кГц взамен 60 каналов ТЧ;
- третичного канала 812..2044 кГц взамен 300 каналов ТЧ.

Кроме перечисленных каналов в системах передачи формируются каналы вещания и телевидения (со звуковым вещанием).

2.4. Дискретные каналы связи.

Основной тенденцией развития телекоммуникаций во всем мире является *цифровизация* сетей связи, предусматривающая построение сети на базе цифровых методов передачи и коммутации. Это объясняется следующими существенными преимуществами цифровых методов передачи перед аналоговыми.

Высокая помехоустойчивость. Представление информации в цифровой форме позволяет осуществлять регенерацию (восстановление) этих символов при передаче их по линии связи, что резко снижает влияние помех и искажений на качество передачи информации.

Слабая зависимость качества передачи от длины линии связи. В пределах каждого регенерационного участка искажения передаваемых сигналов оказываются ничтожными. Длина регенерационного участка и оборудование регенератора при передаче сигналов на большие расстояния остаются практически такими же, как и в случае передачи на малые расстояния. Так, при увеличении длины линии в 100 раз для сохранения неизменным качества передачи информации достаточно уменьшить длину регенерационного участка лишь на несколько процентов.

Стабильность параметров каналов ЦСП. Стабильность и идентичность параметров каналов (остаточного затухания, частотной и амплитудной характеристик и др.) определяются в основном устройствами обработки сигналов в аналоговой форме. Поскольку такие устройства составляют незначительную часть оборудования ЦСП, стабильность параметров каналов в таких системах значительно выше, чем в аналоговых. Этому также способствует отсутствие в ЦСП влияния загрузки системы на параметры отдельных каналов.

Эффективность использования пропускной способности каналов для передачи дискретных сигналов. При вводе дискретных сигналов непосредственно в групповой тракт ЦСП скорость их передачи может приближаться к скорости передачи группового сигнала. Если, например, при этом будут использоваться временные позиции, соответствующие только одному каналу ТЧ, то скорость передачи будет близка к 64 кбит/с, в то время как в аналоговых системах она обычно не превышает 33,6 кбит/с.

Возможность построения цифровой сети связи. Цифровые системы передачи в сочетании с цифровыми системами коммутации являются основой цифровой сети связи, в которой передача, транзит и коммутация сигналов осуществляются в цифровой форме. При этом параметры каналов практически не зависят от структуры сети, что обеспечивает возможность построения гибкой разветвленной сети, обладающей высокими надежностными и качественными показателями.

Высокие технико-экономические показатели. Передача и коммутация сигналов в цифровой форме позволяют реализовывать оборудование на единых аппаратных платформах. Это позволяет резко снижать трудоемкость изготовления оборудования, значительно снижать его стоимость, потребляемую энергию и габариты. Кроме того, существенно упрощается эксплуатация систем и повышается их надежность.

Требования к ЦСП определены в рекомендациях МСЭ-Т серии G.

2.5. Переходные процессы при передаче дискретных сигналов.

Цепи ЛС постоянно находятся под воздействием сторонних электромагнитных полей различного происхождения. Различают две основные группы источников сторонних полей:

- *внутренние* - соседние физические и искусственные цепи данной линии связи;
- *внешние* - энергетически и конструктивно не связанные с линией связи.

Внешние источники помех в свою очередь по своему происхождению делятся на:

- *естественные* - грозовые разряды, солнечная радиация и пр.;
- *созданные человеком* - высоковольтные линии передачи, радиостанции, линии электрифицированных железных дорог, электрические сети промышленных предприятий и отдельные энергоемкие устройства.

Сторонние электромагнитные поля индуцируют в цепях линий связи помехи, которые не только снижают качество передачи, но иногда возбуждают большие напряжения и токи, приводящие к разрушению линий связи и аппаратуры. Указанные воздействия называют электромагнитными влияниями или просто влияниями на цепи линий связи.

Данная проблема является общей для всех систем и устройств телекоммуникаций и называется проблемой электромагнитной совместимости. Сущность ее состоит в том, что в процессе проектирования, строительства и эксплуатации телекоммуникационных устройств и систем необходимо учитывать два противоречивых требования:

- необходимо обеспечить достаточную для нормальной работы телекоммуникационных систем защиту от воздействия на них сторонних электромагнитных полей;
- необходимо ограничить допустимыми значениями уровни влияния электромагнитных полей проектируемых устройств и систем на другие устройства.

При количественной оценке уровня взаимных влияний обычно рассматривают две цепи: *влияющую* (создающую электромагнитное поле) и *подверженную влиянию* (в которой индуцируются помехи) (Рис. 5.6).

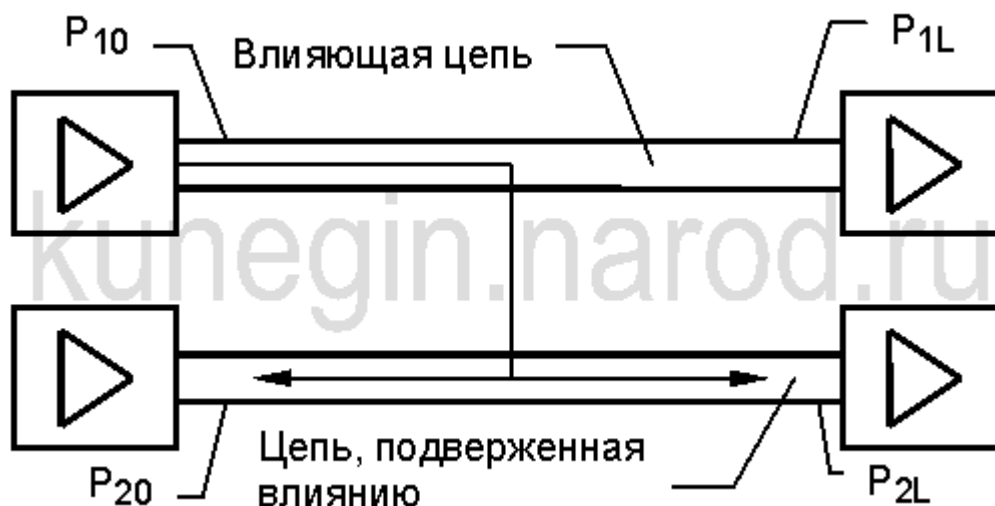


Рис. 5.6. Взаимное влияние цепей

Ближним концом линии называют тот, к которому подключен генератор, *дальним концом* - тот, к которому подключена нагрузка цепи. Соответственно рассматриваются мощности сигналов в цепях: P_{10} - на ближнем конце влияющей цепи, P_{1L} - на дальнем конце влияющей цепи, P_{20} - на ближнем конце цепи, подверженной влиянию, P_{2L} - на дальнем конце цепи, подверженной влиянию.

Количественно защищенность от переходных помех из-за взаимных электромагнитных влияний оценивается рядом показателей, в том числе *переходным затуханием на ближнем конце линии* (near end cross talk -

$$\text{NEXT}) \quad A_0 = 10 \lg \left| \frac{P_{10}}{P_{20}} \right|, \text{ переходным затуханием на дальнем конце линии (far end cross talk - FEXT)} \quad A_L = 10 \lg \left| \frac{P_{1L}}{P_{2L}} \right|.$$

2.6. Передача аналоговых сигналов по дискретному каналу связи.

Преобразование *дискретного* сообщения в сигнал обычно осуществляется в виде двух операций - кодирования и модуляции. Кодирование представляет собой преобразование сообщения в последовательность кодовых символов.

Простейшим примером дискретного сообщения является текст. Любой текст состоит из конечного числа элементов: букв, цифр, знаков препинания. Их совокупность называется алфавитом источника сообщения. Так как число элементов в алфавите конечно, то их можно пронумеровать и тем самым свести передачу сообщения к передаче последовательности чисел.

Так, для передачи букв русского алфавита (их 32) необходимо передать числа от 1 до 32. Для передачи любого числа, записанного в десятичной форме, требуется передача одной из десяти цифр от 0 до 9 для каждого десятичного разряда. То есть для передачи букв русского алфавита нужно иметь техническую возможность передачи и приема десяти различных сигналов, соответствующих различным цифрам.

На практике при кодировании дискретных сообщений широко применяется двоичная система счисления.

При кодировании происходит процесс преобразования элементов сообщения в соответствующие им числа (кодовые символы). Каждому элементу сообщения присваивается определенная совокупность кодовых символов, которая называется кодовой комбинацией. Совокупность кодовых комбинаций, обозначающих дискретные сообщения, образует код.

Правило кодирования может быть выражено кодовой таблицей, в которой приводятся алфавит кодируемых сообщений и соответствующие им кодовые комбинации. Множество возможных кодовых символов называется кодовым алфавитом, а их количество m - основанием кода.

В общем случае при основании кода m правила кодирования N элементов сообщения сводятся к правилам записи N различных чисел в m -ичной системе счисления. Число разрядов n , образующих кодовую комбинацию, называется значностью кода, или длиной кодовой комбинации. В зависимости от системы счисления, используемой при кодировании, различают двоичные и m -ичные (недвоичные) коды.

Коды, у которых все комбинации имеют одинаковую длину, называют равномерными. Для равномерного кода число возможных комбинаций равно m^n . Примером такого кода является пятизначный *код Бодо*, содержащий пять двоичных элементов ($m=2$, $n=5$). Число возможных кодовых комбинаций равно $2^5=32$, что достаточно для кодирования всех букв алфавита. Применение равномерных кодов не требует передачи разделительных символов между кодовыми комбинациями.

Неравномерные коды характерны тем, что у них кодовые комбинации отличаются друг от друга не только взаимным расположением символов, но и их количеством. Это приводит к тому, что различные комбинации имеют различную длительность. Типичным примером неравномерных кодов является *код Морзе*, в котором символы 0 и 1 используются только в двух сочетаниях - как одиночные (1 и 0) или как тройные (111 и 000). Сигнал, соответствующий одной единице, называется точкой, трем единицам - тире. Символ 0 используется как знак, отделяющий точку от тире, точку от точки и тире от тире. Совокупность 000 используется как разделительный знак между кодовыми комбинациями.

По помехоустойчивости коды делят на простые (примитивные) и корректирующие. Коды, у которых все возможные кодовые комбинации используются для передачи информации, называются простыми, или кодами без избыточности. В простых равномерных кодах превращение одного символа комбинации в другой, например 1 в 0 или 0 в 1, приводит к появлению новой комбинации, т. е. к ошибке.

6.1.2.2. Корректирующие коды

Корректирующие коды строятся так, что для передачи сообщения используются не все кодовые комбинации m^n , а лишь некоторая часть их (так называемые *разрешенные* кодовые комбинации). Тем самым создается возможность обнаружения и исправления ошибки при неправильном воспроизведении некоторого числа символов. Корректирующие свойства кодов достигаются введением в кодовые комбинации дополнительных (избыточных) символов.

Декодирование состоит в восстановлении сообщения по принимаемым кодовым символам. Устройства, осуществляющие кодирование и декодирование, называют соответственно кодером и декодером. Как правило, кодер и декодер выполняются физически в одном устройстве, называемым кодеком.

Рассмотрим основные принципы построения *корректирующих кодов* или *помехоустойчивого кодирования*.

Напомним, что расстоянием Хэмминга между двумя кодовыми n -последовательностями, b_i и b_j , которое будем далее обозначать $d(i; j)$, является число разрядов, в которых символы этих последовательностей не совпадают.

Говорят, что в канале произошла ошибка кратности q , если в кодовой комбинации q символов приняты ошибочно. Легко видеть, что кратность ошибки есть не что иное, как расстояние Хэмминга между переданной и принятой кодовыми комбинациями, или, иначе, вес вектора ошибки.

Рассматривая все разрешенные кодовые комбинации и определяя кодовые расстояния между каждой парой, можно найти наименьшее из них $d = \min d(i; j)$, где минимум берется по всем парам разрешенных комбинаций. Это минимальное кодовое расстояние является важным параметром кода. Очевидно, что для простого кода $d=1$.

Обнаруживающая способность кода характеризуется следующей теоремой. Если код имеет $d > 1$ и используется декодирование по методу обнаружения ошибок, то все ошибки кратностью $q < d$ обнаруживаются. Что же касается ошибок кратностью $q \geq d$, то одни из них обнаруживаются, а другие нет.

Исправляющая способность кода при этом правиле декодирования определяется следующей теоремой. Если код имеет $d > 2$ и используется декодирование с

исправлением ошибок по наименьшему расстоянию, то все ошибки кратностью $q < d/2$ исправляются. Что же касается ошибок большей кратности, то одни из них исправляются, а другие нет.

Задача кодирования состоит в выборе кода, обладающего максимально достижимым d . Впрочем, такая формулировка задачи неполна. Увеличивая длину кода n и сохраняя число кодовых комбинаций M , можно получить сколь угодно большое значение d . Но такое "решение" задачи не представляет интереса, так как с увеличением n уменьшается возможная скорость передачи информации от источника.

Если длина кода n задана, то можно получить любое значение d , не превышающее n , уменьшая число комбинаций M . Поэтому задачу поиска наилучшего кода (в смысле максимального d) следует формулировать так: при заданных M и n найти код длины n , содержащий M комбинаций и имеющий наибольшее возможное d . В общем виде эта задача в теории кодирования не решена, хотя для многих значений n и M ее решения получены.

На первый взгляд помехоустойчивое кодирование реализуется весьма просто. В память кодирующего устройства (кодера) записываются разрешенные кодовые комбинации выбранного кода и правило, по которому с каждым из M сообщений источника сопоставляется одна из таких комбинаций. Данное правило известно и декодеру.

Получив от источника определенное сообщение, кодер отыскивает соответствующую ему комбинацию и посылает ее в канал. В свою очередь, декодер, приняв комбинацию, искаженную помехами, сравнивает ее со всеми M комбинациями списка и отыскивает ту из них, которая ближе остальных к принятой.

Однако даже при умеренных значениях n такой способ весьма сложный. Покажем это на примере. Пусть выбрана длина кодовой комбинации $n=100$, а скорость кода примем равной 0.5 (число информационных и проверочных символов равно). Тогда число разрешенных комбинаций кода будет $2^{50} \approx 10^{15}$. Соответственно размер таблицы будет $100 \times 10^{15} = 10^{17}$ бит $\approx 10^{16}$ байт = 10000 Тбайт.

Таким образом, применение достаточно эффективных (а значит, и достаточно длинных) кодов при табличном методе кодирования и декодирования технически невозможно.

Поэтому основное направление теории помехоустойчивого кодирования заключается в поисках таких классов кодов, для которых кодирование и декодирование осуществляются не перебором таблицы, а с помощью некоторых регулярных правил, определенных алгебраической структурой кодовых комбинаций.

Лекция 3

3. Качество передачи информации по дискретным каналам связи.

3.1. Искажения двоичных сигналов.

Для организации по одной линии передачи большого числа каналов в аналоговых системах передачи используют метод ЧРК и АМ для формирования отдельных канальных сигналов. Как отмечалось выше, наиболее сложным блоком амплитудных модуляторов и демодуляторов является полосовой фильтр. В ряде случаев (при высоких значениях несущей частоты) ширина полосы расфильтровки оказывается настолько малой, что выполнение высокочастотных фильтров оказывается затруднено, а иногда невозможно. В этих случаях по экономическим соображениям, в том числе с целью уменьшения количества типов используемых фильтров, объединение канальных сигналов в групповой осуществляется методом *многократного преобразования частоты*.

При многократном преобразовании (Рис. 6.27) сигнал проходит последовательно через несколько преобразователей частоты (ПЧ) с различными несущими частотами. Абсолютная ширина полосы расфильтровки на выходе каждого последующего ПЧ больше, чем на выходе предыдущего, что позволяет увеличивать значение несущих частот без уменьшения относительной ширины полосы расфильтровки.

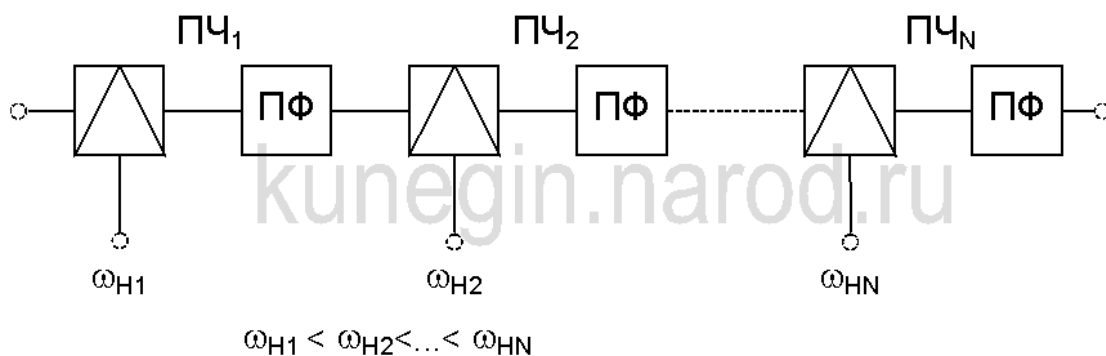


Рис. 2.2. Многократное преобразование частоты

Однако, общее число преобразователей и, следовательно, общее число разнотипных фильтров оказывается очень большим. В N -канальной системе число фильтров и их типов равно Nn , где n - число ступеней преобразования. Число фильтров и их типов можно уменьшить, если дополнить многократное преобразование *групповым*, при котором преобразованию подвергается групповой сигнал. С этой целью N каналов разбивается на m групп по K каналов, т.е. $Km=N$. В каждой группе сигнал каждого канала подвергается индивидуальному преобразованию с помощью несущих

частот $\omega_{H1}, \omega_{H2}, \dots, \omega_{HK}$ (Рис. 6.2). Во всех группах преобразование однотипно, поэтому на выходе каждой группы образуется один и тот же спектр частот. Полученные групповые спектры подвергаются затем групповому преобразованию с несущими $\omega_{ГР1}, \omega_{ГР2}, \dots, \omega_{ГРm}$, так что после объединения преобразованных групповых сигналов образуется спектр частот N каналов. В рассматриваемом случае общее число фильтров равно $N + mn_{ГР}$, а число типов фильтров сокращается до $K + mn_{ГР}$, где $n_{ГР}$ - число групповых ступеней преобразования.

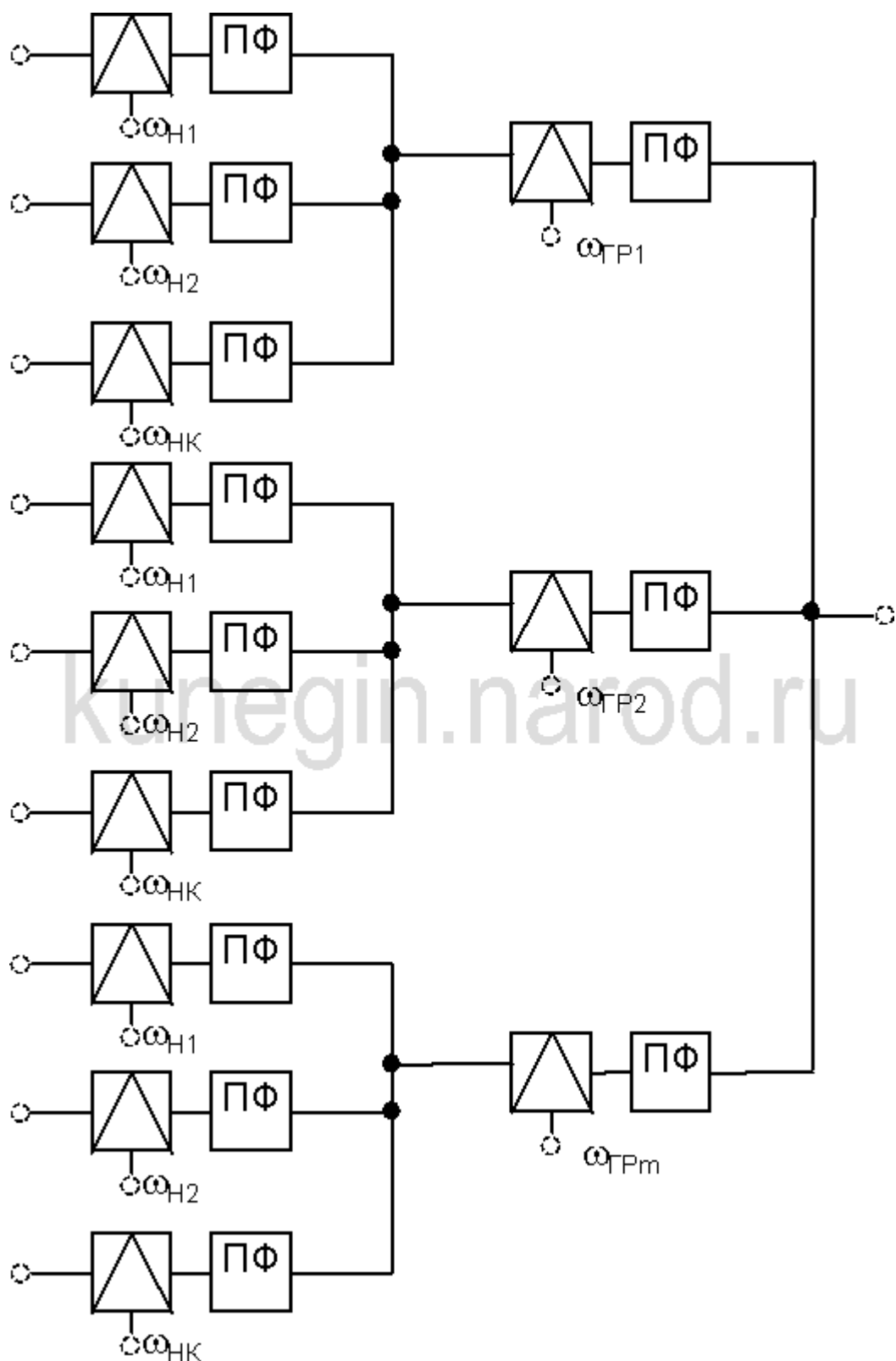


Рис. 2.3 Групповое преобразование частоты

Таким образом, применение многократного и группового преобразования позволяет унифицировать фильтровое оборудование системы, т.е. уменьшить его разнотипность. Такая унификация повышает технологичность изготовления узлов аппаратуры и, в конечном счете, удешевляет ее.

Кроме того, применение группового преобразования и стандартизации методов формирования групп каналов позволяет унифицировать часть оборудования различных систем. По этой причине МСЭ-Т были стандартизированы следующие основные группы каналов.

Первичная группа (ПГ) - 12 каналов ТЧ, спектр 60...108 кГц. Образуется однократным преобразованием с помощью несущих частот 64, 68, 72, ..., 108 кГц или двукратным преобразованием с помощью образования 4 трехканальных групп на несущих 12, 16, 20 кГц и их последующего преобразования на несущих 84, 96, 108, 120 кГц.

Вторичная группа (ВГ) - 60 каналов ТЧ, спектр 312...552 кГц. Образуется из 5 ПГ с помощью несущих 420, 468, 516, 564, 612 кГц. Возможность параллельной работы фильтров обеспечивается их подключением через развязывающий блок параллельной работы первичных групп (ПРПГ).

Третичная группа (ТГ) - 300 каналов ТЧ, спектр 812...2044 кГц. Образуется из 5 ВГ с помощью несущих $(1364 + (n-1) \cdot 248)$ кГц, где n - номер ВГ в спектре ТГ.

Четверичная группа (ЧГ) - 900 каналов ТЧ, спектр 8516..12388 кГц. Образуется из 3 ТГ. Может также формироваться из 15 ВГ.

Совокупность преобразовательного оборудования всех групп носит название каналообразующей аппаратуры. Ее назначение заключается в преобразовании индивидуальных сигналов в групповой сигнал одной из стандартных групп. Использование каналообразующей аппаратуры позволяет строить оконечную аппаратуру систем передачи различной емкости на основе стандартного преобразовательного оборудования и, следовательно, создавать унифицированное техническое оборудование.

3.2. Достоверность передачи информации.

Ввод телеинформации осуществляется в дублированные центральные приемно-передающие станции (ЦППС).

Микропроцессорные ЦППС обеспечивают обмен телеинформацией с устройствами телемеханики и другими ЦППС,

управление *диспетчерским щитом (ДЩ)*,

обмен информацией с одной из двух *ПК-бридж (В)*, предназначенных для обработки телеинформации в режиме «*ON LINE*» и выполнения других циклических задач,

для формирования на *файл-серверах (FS)* базы данных реального времени.

Модуль ЦППС-В может выполняться в двух модификациях:

Первый - с использованием *автономных ЦППС (РПТ-80, КОТМИ, ПУ, телекомплексов ГРАНИТ, КОМПАС, МПТК* или других устройств), к канальным адаптерам которых подключаются каналы телемеханики,

а ЦППС, в свою очередь, подключаются по последовательным портам к ПК, обрабатывающим телеинформацию.

Второй вариант - с **канальными адаптерами**, устанавливаемыми непосредственно в ПК.

Все ПК, входящие в состав ОИУК, объединяются локальной сетью **Ethernet (LAN)** и подразделяются на две группы:

системную, включающую серверы различного назначения (обычно размещаемые в зале ЭВМ);

группу «пользовательскую», содержащую **автоматизированные рабочие места (АРМ)** диспетчеров, инженеров-технологов и др.

Минимально необходимый состав **системной группы** должен включать (рис. 49.7): уже упоминавшиеся ПК-бриджи (В) и два **взаимодублирующих файл-сервера (FS)** для хранения основного объема программ и **базы данных (БД)**.

Кроме **В** и **FS** в состав этой группы должны включаться **коммуникационные серверы (КК)**, обеспечивающие обмен производственно-технологической информацией с ОИУК других уровней управления по коммутируемым телефонным и телеграфным каналам связи.

Кроме того, в **системную группу** должны быть включены сетевые принтеры, подключаемые непосредственно к линии связи или через **принт-сервер**.

В процессе развития количество серверов должно увеличиваться. Целесообразно создать несколько **пар FS** для распределения баз данных по функциональному назначению: **оперативно-диспетчерская,**

производственно-статистическая, коммерческая информация и т.п. Для обмена нерегламентированными данными может быть установлен почтовый сервер (Em) в рамках электронной почты «Электра». В системную группу могут быть включены серверы регистрации диспетчерских переговоров, например ЭХО+, заменяющие устаревшие электромеханические диспетчерские магнитофоны; сервер речевой почты (Vm) для обмена речевыми сообщениями; серверы для выполнения циклических расчетов, архивный сервер.

Развитие и модернизация локальных вычислительных сетей АСДУ должны проводиться с учетом следующих критериев:

высокая надежность работы с сохранением работоспособности при отказах в какой-либо части локальной сети;

обеспечение максимально возможной скорости работы в сети для привилегированных пользователей;

обеспечение приемлемой скорости работы в сети для остальных пользователей;

возможность использования в сети новых приложений, требующих высокой производительности сетевого трафика;

максимально возможная наблюдаемость сети; возможность дальнейшего роста и развития; приемлемые размеры капиталовложений и возможность

постепенного внедрения приобретаемого оборудования без длительных перерывов в работе сети.

Для удовлетворения этим критериям предложены следующие технические решения:

- построение центральной высокоскоростной магистрали обмена данными между серверами;
- повышение производительности серверов на магистрали;
- подключение пользователей к магистрали с использованием технологии коммутации,
- внедрение системы резервного копирования данных в сети;
- внедрение средств контроля доступа к локальной сети извне;
- внедрение системы антивирусной защиты корпоративной сети с централизованным управлением ее работой;
- внедрение в локальной сети службы единого времени.

Центральные магистрали. Центральные магистрали передачи данных должны удовлетворять трем главным критериям. Первый — возможность подключения большого количества низкоскоростных клиентов к небольшому количеству мощных, высокоскоростных серверов. Второй — приемлемая скорость отклика на запросы клиентов. И третий — высокая надежность функционирования. Идеальная магистраль должна обладать развитой системой управления. Под управлением следует понимать, что магистраль может быть построена с учетом всех местных особенностей, а надежность ее должна быть такова, что даже если некоторые ее части выйдут из строя, серверы останутся доступными.

В настоящий момент имеется несколько сетевых технологий, подходящих для использования на магистрали (Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, FDDI, ATM). Вопрос выбора технологии для использования должен решаться с учетом стоимости оборудования и обучения обслуживающего персонала, простоты установки и настройки, надежности эксплуатации и устойчивости к сбоям и отказам.

Серверы повышенной производительности и надежности. При наличии в сети центральной магистрали, обеспечивающей высокую производительность и надежность, необходимо предъявить такие же требования и к серверам, подключаемым к этой магистрали. Фактическим стандартом являются следующие структура и параметры сервера локальной сети:

- два-четыре процессора (Intel Pentium Pro или Intel Pentium II);
- наличие у каждого процессора собственной кэш-памяти второго уровня (встроенной или внешней) размером 256 или 512 Кбайт;
- достаточный объем оперативной памяти (не менее 128 Мбайт) с возможностью расширения;
- достаточный объем дисковой памяти с возможностью расширения;
- шина ввода-вывода PCI;
- дисковая подсистема SCSI (различных уровней);

RAID-контроллер (уровни 0, 1, 5) с кэш-памятью достаточного размера (8 или 16 Мбайт) с возможностью замены дисков во время работы;

резервные источники питания и вентиляторы; возможность расширения. Подключение пользователей к магистрали с использованием технологии коммутации. Появление новых подключений с высокими требованиями по быстродействию, а также постоянный рост числа пользователей ухудшают пропускную способность разделяемой сети Ethernet на 10 Мбит/с. Один из способов решения этой проблемы состоит в реализации коммутируемой технологии сети Ethernet, благодаря которой каждый пользователь может получить выделенное соединение на 10 Мбит/с (путем подключения станции к отдельному порту коммутатора локальной сети). Такой подход является наиболее экономичным способом увеличения пропускной способности сети без дорогостоящей замены адаптеров, проводки, сетевого программного обеспечения и приложений. Расходы на коммутируемую сеть Ethernet в настоящее время приближаются к обычным затратам на совместно используемые порты Ethernet.

Если каждый узел (станция) подключен к своему собственному коммутируемому порту, то конфликты в сети практически исключены: только входящий трафик будет конкурировать с исходящим трафиком. Если же в сети много пользователей пытается получить доступ к одному и тому же серверу, то повышению производительности будет способствовать подключение данного коммутатора к высокоскоростной центральной магистрали, объединяющей серверы.

Если возникла проблема повышения общей производительности локальной сети организации, то возможным вариантом решения может быть установка коммутаторов сети Ethernet с асимметричной коммутацией 10/100 Мбит/с, которые представляют несколько выделенных каналов на 10 Мбит/с к концентраторам внутри организации. Таким образом, сегментируя концентраторы (и сегменты локальной сети), можно повысить пропускную способность локальной сети без изменения ее топологии. Подключение коммутаторов к файл-серверам выполняется с помощью порта на 100 Мбит/с.

Если возникла необходимость повышения производительности отдельных рабочих мест, то можно модернизировать сеть (с изменением ее топологии) посредством установки коммутаторов 10/100 Мбит/с для предоставления каждому такому рабочему месту выделенного канала на 10 Мбит/с. Причем при установке на каком-либо рабочем месте сетевого адаптера на 100 Мбит/с и соответствующей кабельной проводке можно предоставить данному пользователю выделенный канал на 100 Мбит/с.

Резервное копирование данных в сети. Решением проблемы потери данных в сети из-за возможных сбоев в работе электропитания, кабельной системы, сетевого оборудования, компьютеров или ошибок пользователей является резервное копирование данных. В настоящее время наиболее популярны такие программные продукты, как ARCserve фирм «Cheyenne и Storage Manager» и «Seagate».

3.3. Исправляющая способность приемников дискретных сигналов.

Многоканальные системы передачи с частотным и временным разделением каналов - это сложный комплекс технических средств, включающий в себя оконечную аппаратуру, устанавливаемую на *оконечных* пунктах (ОП), промежуточную аппаратуру, размещаемую в *обслуживаемых* (ОУП) или *необслуживаемых* (НУП) *усилительных пунктах*, а также линий связи (Рис. 6.17).

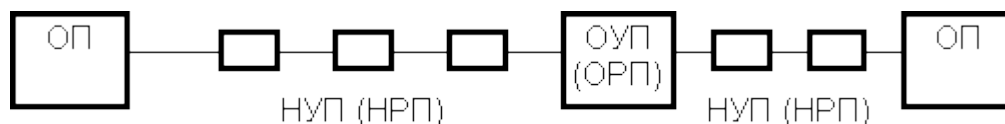


Рис. 3.3. Структурная схема построения систем передачи

В отличие от аналоговых систем во временных (цифровых) системах на обслуживаемых и необслуживаемых пунктах устанавливается аппаратура для восстановления (*регенерации*) импульсных сигналов линейного тракта. Отсюда обслуживаемые и необслуживаемые пункты в этих системах принято называть *регенерационными* (ОРП, НРП).

Поясним для чего нужны усилительные и регенерационные пункты. Дальность передачи сигналов по физическим цепям (средам) определяется прежде всего *затуханием* (ослаблением) сигнала из-за того, что в цепи теряется часть энергии передаваемого сигнала. Конкретные электрические параметры цепи и чувствительность приемного устройства определяют допустимую дальность связи. Например, при передаче речи мощность сигнала на выходе микрофона телефонного аппарата $P_{\text{ПЕР}} = 1$ мВт, а чувствительность телефона приемного аппарата $P_{\text{ПР}} = 0,001$ мВт. Таким образом, максимально допустимое затухание цепи не должно быть больше $a_{\text{max}} = 10 \lg(P_{\text{ПЕР}}/P_{\text{ПР}}) = 10 \lg(1/0.001) = 30$ дБ. Зная затухание a_{max} и километрический коэффициент затухания α , можно определить дальности передачи $l = a_{\text{max}}/\alpha$.

В системах передачи применяется способ компенсации затухания сигналов повышением мощности сигнала в нескольких равномерно расположенных точках тракта. Часть канала связи между соседними промежуточными усилителями называется *усилительным участком*. Изменение уровней сигнала вдоль магистрали описывается *диаграммой уровней*, приведенной на Рис. 6.18.

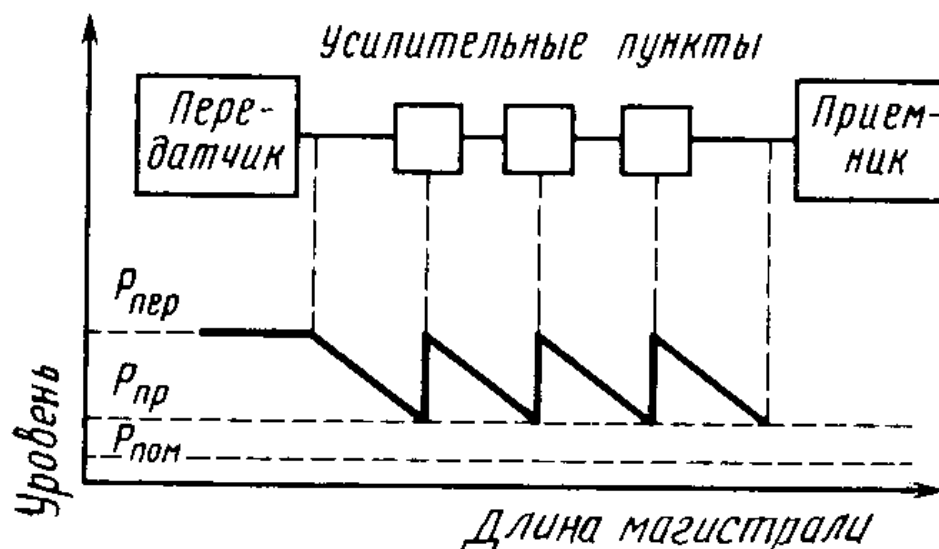


Рис. 3.4 Диаграмма уровней. $P_{пер}$, $P_{пр}$ - уровни сигнала на передаче и приеме, $P_{пом}$ - уровень помехи

Аппаратура ОУП и НУП служит не только для усиления аналогового сигнала, но и для коррекции (выравнивания) амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик линейного тракта. Аппаратура НРП и ОРП предназначена для восстановления амплитуды, длительности и временного интервала между импульсами сигнала цифровых систем.

Расстояние между НУП (НРП) меняется в широких пределах для различных систем передачи и может составлять от единиц до десятков (иногда сотни) километров. Как правило НУП (НРП) представляет собой металлическую камеру, имеющую подземную и наземную части. В камере размещаются вводно-коммутационное и усилительное (регенерационное) оборудование. Аппаратура ОП и ОУП (ОРП) размещается в зданиях, где постоянно находится технический персонал для ее обслуживания.

3.4. Повышение достоверности путем применения корректирующих кодов.

В технике связи принято использование представления сигналов во временной (см. Рис. 3.1) и частотной областях. Используется стандартное значение частоты f , единица измерения Гц, и так называемая круговая частота $\omega = 2\pi f$, единица измерения Рад/с.

Гармонический сигнал вида $f(t) = U_0 \cos(\omega t + \varphi)$ представляется в частотной области единственным значением на оси частот. Любой периодический сигнал с периодом T_0 может быть представлен рядом Фурье (гармоническим рядом). Частотная составляющая $f_0 = 1/T_0$ называется основной гармоникой. Частотные составляющие вида Nf_0 , $N=2,3..$ называются высшими гармониками.

Чем больше сигнал отличается от гармонического, тем больше частотных составляющих в его спектральном представлении и тем меньше расстояние (разнос частот) между ними, т.е. шире спектр такого сигнала. Случайные процессы, которыми являются практически все первичные сигналы, имеют непрерывный бесконечный спектр. Однако обычно основная мощность случайного сигнала сосредоточена в определенной полосе частот. Данное свойство реальных сигналов позволяет использовать для их передачи каналы с ограниченной полосой пропускания.

Наряду с временным и частотным представлениями часто используется представление сигнала в виде *вращающегося вектора* (Рис. 6.1). В данном представлении сигнал может быть разложен (представлен в виде суммы векторов) на синфазную (Re) и квадратурную (Im) составляющие. Длина вектора соответствует амплитуде гармонического сигнала, угол относительно синфазной составляющей - начальной фазе. Тогда на данной так называемой *амплитудно-фазовой плоскости* сигнал может быть представлен в виде точки, соответствующей концу вектора. Такое представление часто используется для описания видов модуляции в современных модемах.

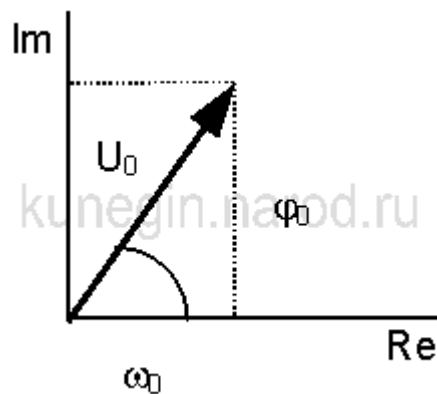


Рис. 3.5 Представление сигнала в виде вращающегося вектора

Общий принцип модуляции состоит в изменении одного или нескольких параметров *несущего колебания (переносчика)* $f(a,b,...,t)$ в соответствии с передаваемым сообщением. Так, например, если в качестве переносчика выбрано гармоническое колебание $f(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$, то можно образовать три вида модуляции: *амплитудную (АМ), частотную (ЧМ) и фазовую (ФМ)*.

Если переносчиком является периодическая последовательность

$$f(t) = U_0 \sum_{-\infty}^{\infty} f_0(t - T_i - t_0)$$

импульсов, то при заданной форме импульсов $f_0(t)$ можно образовать четыре основных вида импульсной модуляции: *амплитудно-импульсную (АИМ), широтно-импульсную (ШИМ), время-импульсную (ФИМ) и частотно-импульсную (ЧИМ)*. Применение радиоимпульсов позволяет получить еще два вида модуляции: по частоте и по фазе высокочастотного заполнения.

Если модулирующий сигнал является дискретным, то такой тип модуляции называют *манипуляцией*.

Модуляция применяется для преобразования первичных сигналов электросвязи во вторичные и обратно (см. подраздел 3.4). При этом осуществляется передача сигналов по линии или каналу связи с пропускаемой полосой частот с ненулевыми нижней и верхней границами - так называемый *канал с эффективно передаваемой полосой частот (ЭППЧ)*.

Спектр первичного сигнала (верхняя и нижняя частоты) обычно не совпадает с полосой пропускания канала (Рис. 6.2), поэтому спектр сигнала нужно перенести в полосу пропускания канала.

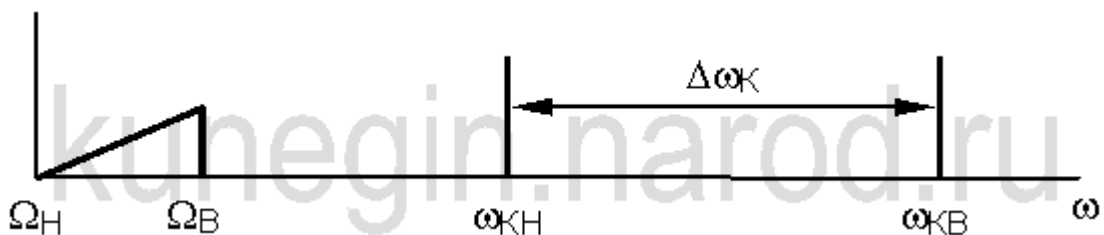


Рис. 3.6 Спектр исходного сигнала и полоса пропускания канала связи/p>

Наиболее просто описывается математически (и реализуется практически) амплитудная модуляция. Рассмотрим АМ на примере, когда роль несущей играет высокочастотное гармоническое колебание $S_H(t) = U_H \cos(\omega_H t)$ и модулирующий сигнал также является гармоническим колебанием, но только низкой частоты $S(t) = U \cos(\Omega t)$ (Рис. 6.3).

$$S_{AM}(t) = U_H (1 + m \cdot S(t)) \cos(\omega_H t);$$

$$\begin{aligned} S_{AM}(t) &= U_H (1 + m U \cos(\Omega t)) \cos(\omega_H t) = \\ &= U_H \cos(\omega_H t) + m U_H U \cos(\Omega t) \cos(\omega_H t) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{AM}(t) &= U_H \cos(\omega_H t) + 0.5 \cdot m U_H U \cos((\omega_H - \Omega)t) + \\ &+ 0.5 \cdot m U_H U \cos((\omega_H + \Omega)t) \end{aligned}$$

$m \leq 1$ - коэффициент модуляции. В результате АМ образуются так называемые *комбинационные частоты* или *боковые полосы* (в случае, если модулирующий сигнал отличается от гармонического) - *верхняя* и *нижняя*.

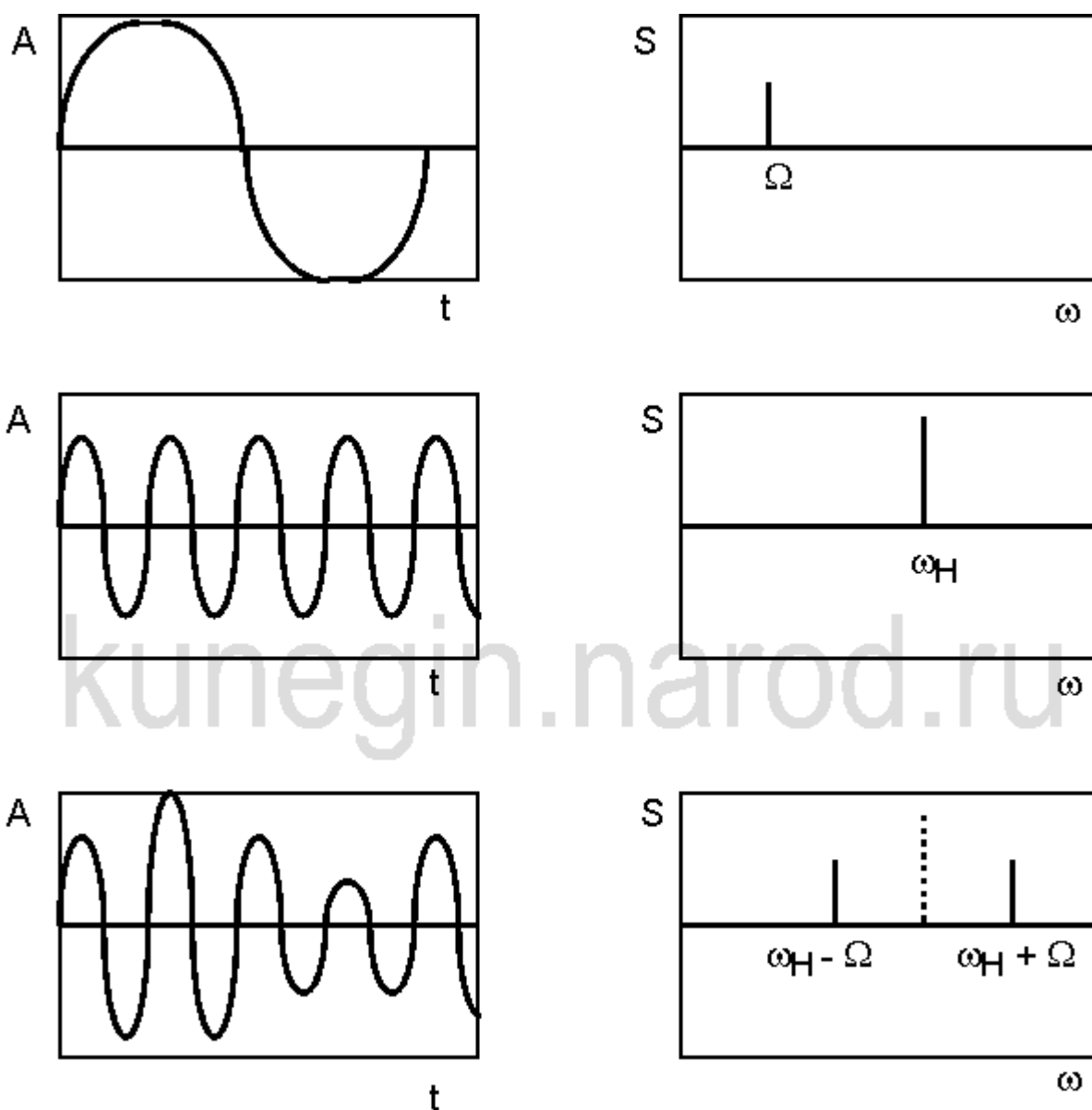


Рис. 3.7. Временное и частотное представление сигналов при АМ

Разновидностью АМ является *балансная модуляция* (АМ с подавленной несущей). Несущая частота не переносит информационный сигнал, но на нее приходится значительная доля мощности сигнала АМ. Поэтому в ряде случаев несущую подавляют. Сигнал балансной модуляции формируется перемножением несущей $S_H(t) = U_H \cos(\omega_H t)$ и модулирующего сигнала $S(t) = U \cos(\Omega t)$.

$$S_H(t) \cdot S(t) = 0.5 \cdot U_H \cdot U \cdot (\cos((\omega_H - \Omega)t) + \cos((\omega_H + \Omega)t))$$

В свою очередь, разновидностью АМ без несущей является *однополосная модуляция* (ОМ) или *амплитудная модуляция с одной боковой полосой* (АМ-ОБП). Такой вид модуляции может быть получен с помощью *линейного модулятора* (Рис. 6.4).

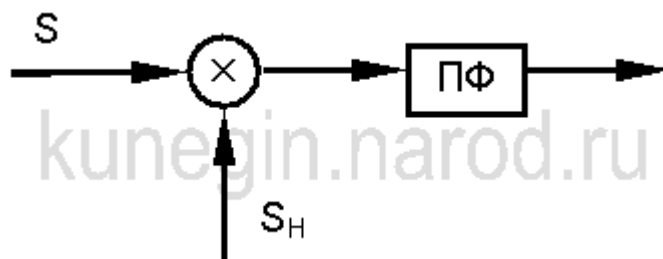


Рис. 3.8. Линейный модулятор

Недостатками АМ и, в частности, линейного модулятора являются:

- В общем случае, необходимость подавления несущей;
- В АМ-сигнале информация дублируется из-за двух боковых полос;
- Сложность выполнения полосового фильтра.

Указанные недостатки, в основном, устраняются при использовании *фазоразностной* схемы (Рис. 6.5). В схеме фазоразностного модулятора происходит подавление одной из боковых полос, а мощность другой боковой полосы удваивается. Недостатком данной схемы является сложность выполнения фазовращателя (ФВ) для всей полосы частот модулирующего сигнала.

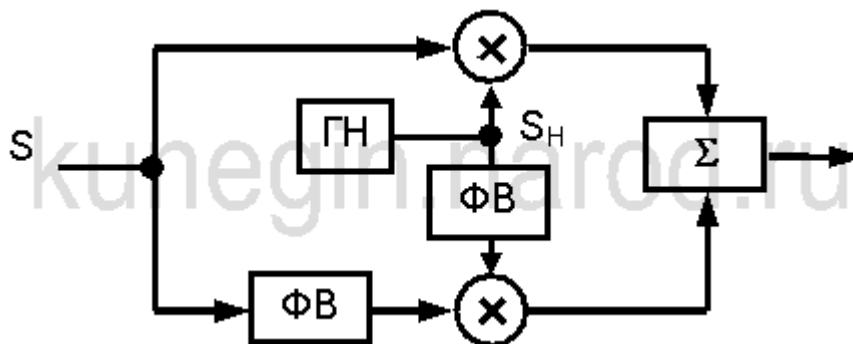


Рис. 3.9 Фазоразностный балансный модулятор

Рассмотрим процесс *демодуляции*. Часто процесс демодуляции называют *детектированием*.

Все методы приема (демодуляции), для реализации которых необходимо точное априорное знание начальных фаз входящих сигналов, называется *когерентным*. В тех случаях, когда сведения о начальных фазах ожидаемых сигналов извлекаются из самого принимаемого сигнала, прием называют *квазикогерентным*. Если сведения о начальных фазах входящих сигналов отсутствуют или их по некоторым соображениям не используют, то прием называют *некогерентным* (Рис. 6.6).

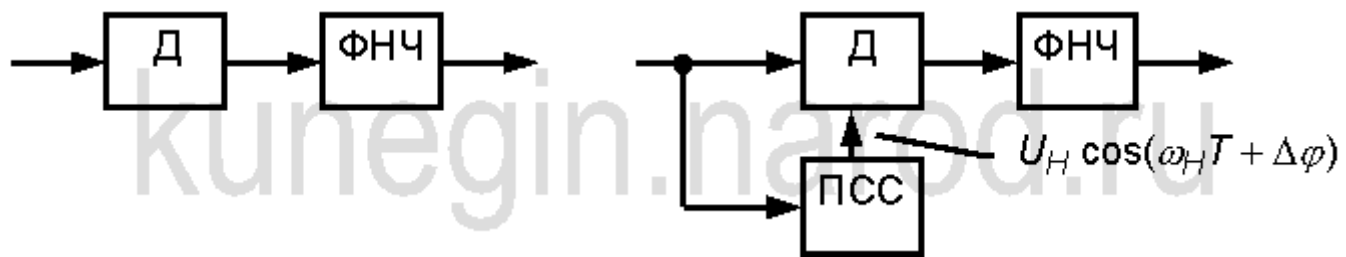


Рис. 3.10. Некогерентный и квазикогерентный прием

Опорный сигнал при когерентном приеме должен иметь те же начальные фазы, что и приходящие сигналы, т.е. должен быть когерентным с приходящими сигналами. Это требование обычно затрудняет реализацию демодулятора и требует введения дополнительных устройств (например, приемник синхросигнала ПСС на Рис. 6.6), обеспечивающих регулировку фаз опорных сигналов.

Помехоустойчивость разных видов модуляции различна. При прочих равных условиях помехоустойчивость ЧМ больше, чем АМ, а помехоустойчивость ФМ больше, чем ЧМ. Однако сложность реализации приемных устройств данных видов модуляции имеет такое же соотношение.

Частотную и фазовую модуляцию рассмотрим на примере модуляции гармонического сигнала (несущей) дискретным (двоичным) сигналом, т.е. случаи частотной и фазовой манипуляции.

При *частотной манипуляции* частота несущего колебания меняется дискретно в зависимости от значения модулирующего сигнала. На практике находит применение не только двоичная ЧМ, но так же 4-х (Рис. 6.7) и 8-уровневая ЧМ. При использовании многоуровневой ЧМ исходная двоичная последовательность разбивается на соответствующее число бит (дибит, трибит и т.д.) для определения одной из возможных частот несущей, передаваемой в данный момент.

3.5. Циклические системы передачи информации и системы с обратной связью.

К большинству систем связи предъявляется требование обеспечения одновременной и независимой передачи сигналов в двух направлениях - требование *двусторонней связи*. Для организации двусторонней связи используются два канала однонаправленного действия, образующих *двунаправленный четырехпроводный канал* (Рис. 6.19).

Проходящие через однонаправленный канал сигналы усиливаются (S_{A-B} и S_{B-A}).

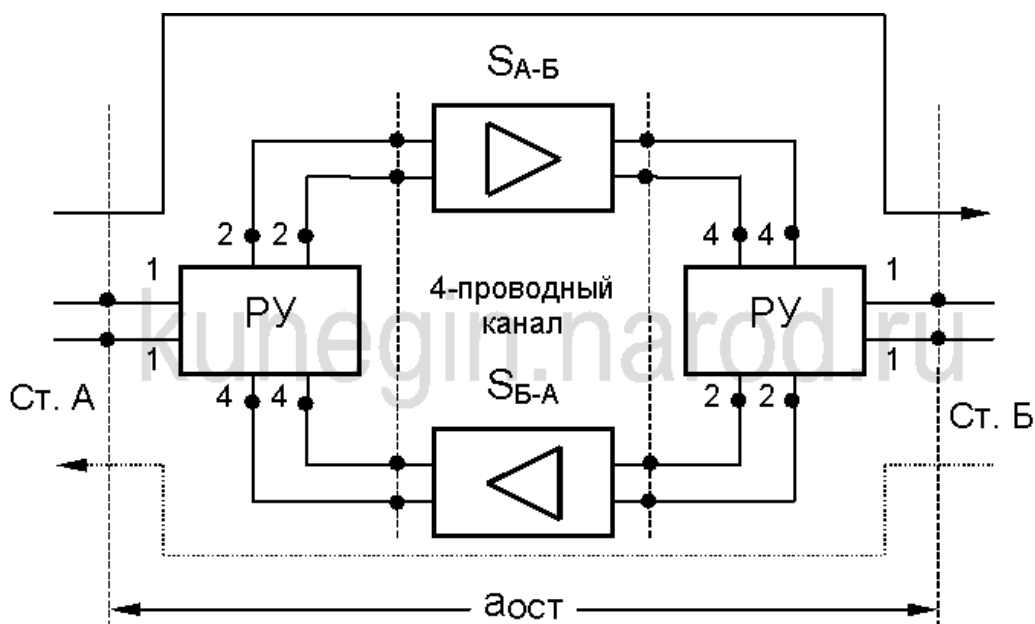


Рис. 3.11. Канал двустороннего действия

Двухнаправленный двухпроводный канал образуется из четырехпроводного при помощи *развязывающих устройств* (РУ). Зажимы 1-1 РУ называются линейными. Прохождение сигналов от линейных зажимов РУ станции А к линейным зажимам РУ станции Б, а также в противоположном направлении показаны на Рис. 6.19 с помощью сплошной и штриховой линий.

Затухание сигналов между линейными зажимами станций А и Б называется остаточным затуханием двухпроводного канала $a_{ост} = a_{1-2} - S_{А-Б(Б-А)} + a_{4-1}$. Желательно, чтобы a_{1-2} и a_{4-1} были минимальны.

Основная трудность при организации перехода от четырех- к двухпроводному каналу с помощью РУ состоит в появлении *петли обратной связи* (ОС). Сигнал, попадая в двухпроводный канал, начинает циркулировать по петле ОС, что приводит к искажениям формы сигналов и в пределе - к самовозбуждению канала.

Затухание, которое претерпевает сигнал, проходя от зажимов 4-4 к зажимам 2-2 РУ, называется переходным $a_{пер}$.

Затухание по петле ОС, равное сумме всех затуханий и усилений, $a_{ос} = a_{пер1} + a_{пер2} - S_{А-Б} - S_{Б-А}$ носит специальное название - запас устойчивости. Если $a_{ос} \leq 0$, то канал неустойчив и самовозбуждается.

В качестве РУ в современных системах передачи широко используется дифференциальная система (ДС), выполненная на основе симметричного трансформатора со средней точкой (Рис. 6.20) (полуобмотки II и III идентичны). В состав ДС входит сопротивление Z_3 ,

называемое балансным. Оно приближенно отражает свойства входного сопротивления абонентской линии.

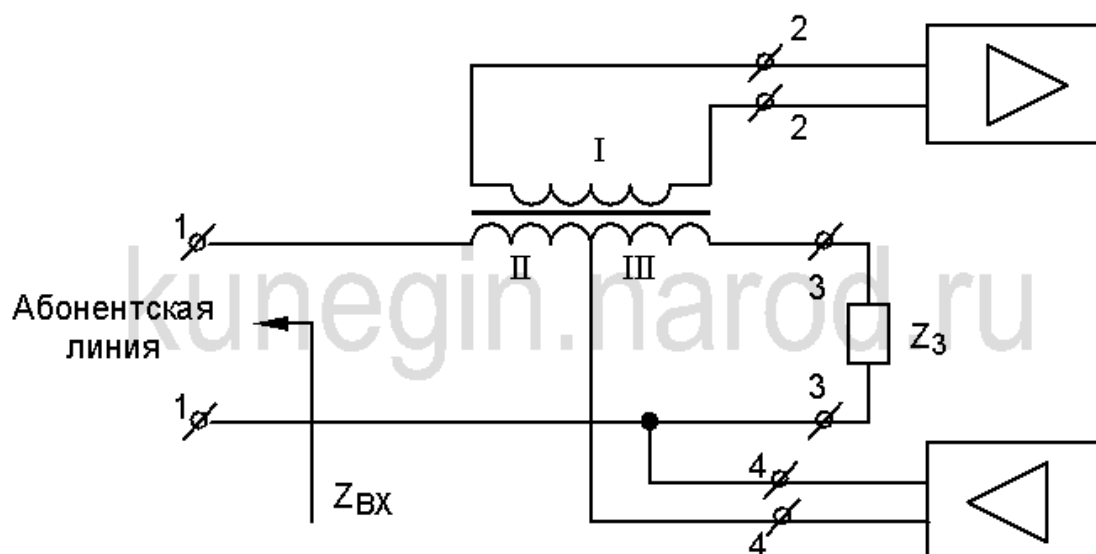


Рис. 3.12 Схема трансформаторной ДС

К ДС предъявляются требования минимального затухания в рабочих направлениях и максимального переходного затухания. Данные требования выполняются при соблюдении так называемого условия баланса ДС. Условием баланса ДС в направлении 4-4 \rightarrow 2-2 является равенство входного сопротивления абонентской линии и балансного сопротивления $Z_{вх}=Z_3$. Условием баланса ДС в направлении 1-1 \rightarrow 3-3 является равенство входного сопротивления первой полуобмотки дифференциального трансформатора и входного сопротивления направления приема четырехпроводного канала $Z_{вх.тр.}=Z_4$.

В случае сбалансированной ДС мощность входных сигналов, подводимых к зажимам 1-1 и зажимам 4-4, передается на соответствующие выходные зажимы 2-2 и 1-1 не полностью, а лишь частично, и входные сигналы испытывают так называемые *рабочие* затухания ДС $a_{4-1} = a_{1-2} = 10\lg 2 = 3\text{ дБ}$. В реальных ДС за счет неидеальности трансформатора рабочие затухания несколько больше.

Переходное затухание реальной ДС также является конечной величиной. Оно зависит, в основном, от точности равенства входного сопротивления абонентской линии и балансного сопротивления. Точно выполнить это равенство на практике не представляется возможным, поскольку к одной и той же ДС могут подключаться абонентские линии с существенно различающимися характеристиками. В то же время характеристики балансного сопротивления являются постоянной величиной. Балансное сопротивление (балансный контур) обычно выполняется в виде последовательно включенных резистора сопротивлением 600 Ом и конденсатора емкостью 1 мкФ. Поэтому величина переходного затухания реальных ДС обычно не превышает 20..40 дБ.

Лекция 4

4. Системы телемеханики по линиям электропередачи.

4.1. Общие сведения о каналах телемеханики по линиям электропередачи.

Сеть связи - совокупность технических средств, обеспечивающих передачу и распределение сообщений. Принципы построения сетей связи зависят от вида передаваемых и распределяемых сообщений.

В настоящее время применяют следующие принципы построения (топологии) сетей:

- *"каждый с каждым"* (Рис. 4.1). Сеть надежна, отличается оперативностью и высоким качеством передачи сообщений. На практике применяется при небольшом числе абонентов;

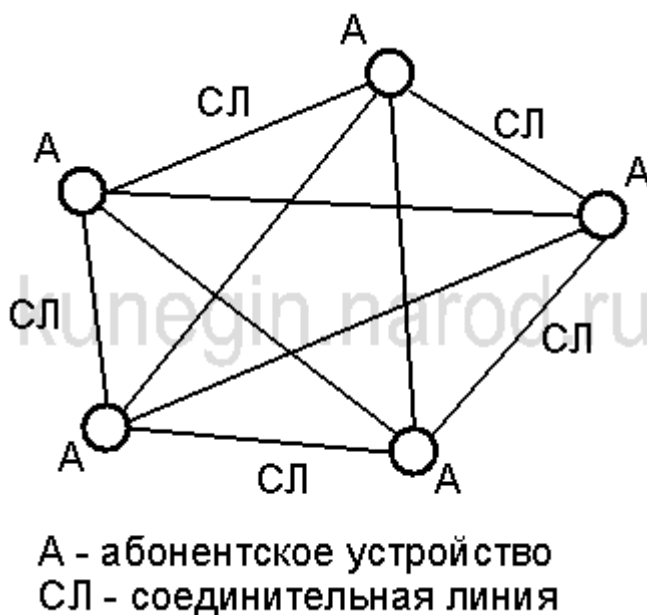


Рис. 4.1. Топология сети "каждый с каждым"

- *радиальный ("звезда")* (Рис. 4.2). Используется при ограниченном числе абонентских пунктов, расположенных на небольшой территории;

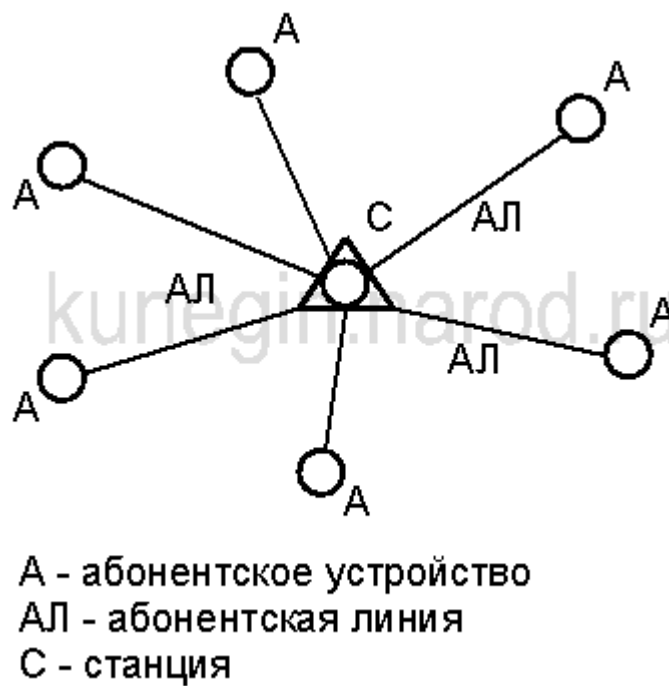


Рис. 4.2. Топология сети "звезда"

- *радиально-узловой* (Рис. 4.3). Такую структуру имеют городские телефонные сети, если емкость сети не превышает 80...90 тысяч абонентов;

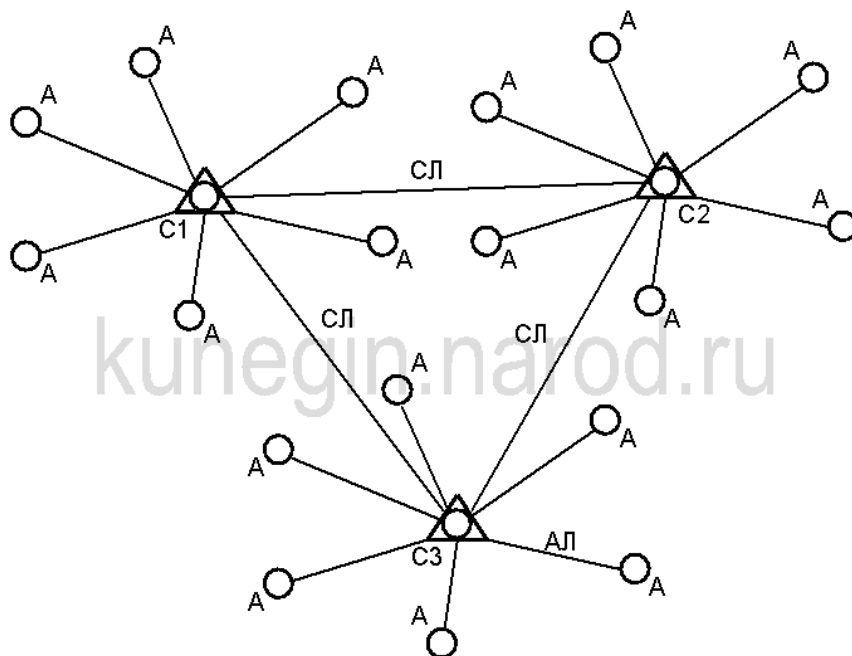


Рис. 4.3. Радиально-узловая топология сети

- *радиально-узловой с узловыми районами* (Рис. 4.4). Используется при построении телефонных сетей крупных городов.

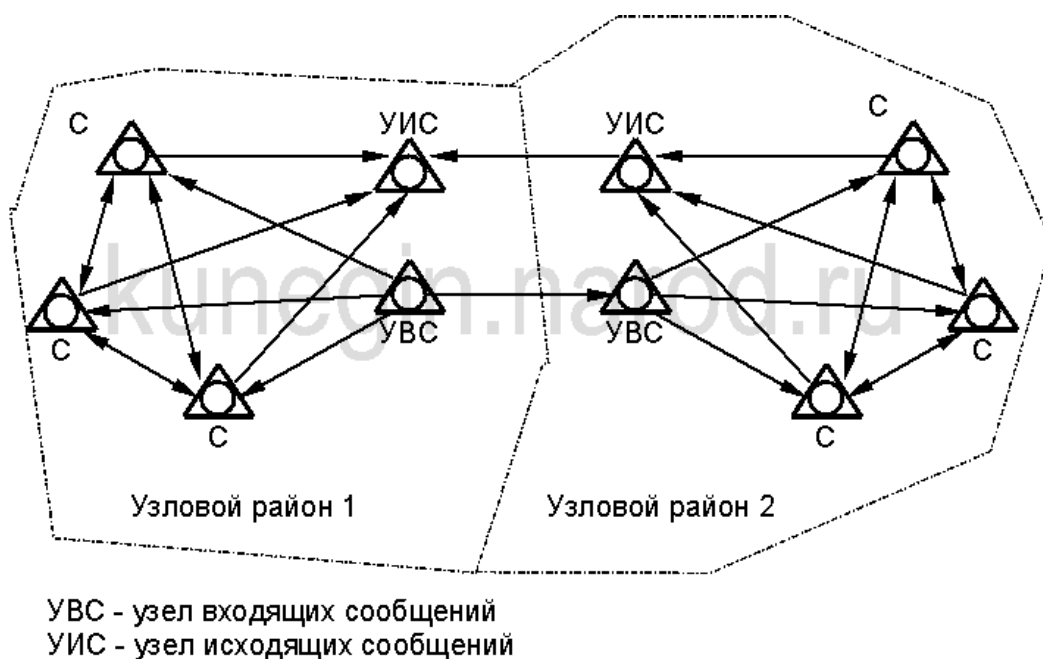


Рис. 4.4. Топология радиально-узловой сети с узловыми районами

Телеграфные сети строятся по радиально-узловому принципу с учетом административно-территориального деления страны. Оконечными пунктами телеграфной сети являются либо отделения связи, либо телеграфные абоненты, обладающие телеграфной аппаратурой. Сеть имеет три уровня узловых пунктов: районные, областные и главные. Сеть *передачи данных* имеет схожую структуру. Сеть *факсимильной* связи строится на базе телефонной сети.

4.2. Высокочастотные каналы телемеханики.

Для обеспечения передачи индивидуальных сообщений необходимо связать (соединить) оконечные аппараты абонентов. Электрическая цепь (канал), состоящая из нескольких участков и обеспечивающая передачу сигналов между абонентами, называется соединительным трактом.

Процесс поиска и соединения электрических цепей называется коммутацией каналов. Сеть, обеспечивающая коммутацию каналов, называется сетью с коммутацией каналов (СКК). Узловые станции сети СКК называются станциями коммутации.

При передаче документальных сообщений кроме организации связи с коммутацией каналов возможно осуществлять поэтапную передачу сообщения от узла к узлу. Такой способ передачи получил название коммутации сообщений. Соответственно сеть, обеспечивающая коммутацию сообщений, называется сетью с коммутацией сообщений (СКС).

Разновидностью сети СКС является сеть с коммутацией пакетов (СКП). В этом случае полученное от передающего абонента сообщение разбивается на блоки (пакеты) фиксированной длины. Пакеты передаются по сети (необязательно по одному и тому же маршруту) и объединяются в сообщение перед выдачей принимающему абоненту.

Узловые станции сетей СКС и СКП называются центрами коммутации сообщений (ЦКС) и пакетов (ЦКП) соответственно.

4.3. Низкочастотные каналы телемеханики.

Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с линиями связи на основе металлических кабелей. К ним относятся: большая пропускная способность, малое затухание, малые масса и габариты, высокая помехозащищенность, надежная техника безопасности, практически отсутствующие взаимные влияния, малая стоимость из-за отсутствия в конструкции цветных металлов.

В ВОЛС применяют электромагнитные волны оптического диапазона. Напомним, что видимое оптическое излучение лежит в диапазоне длин волн 380...760 нм. Практическое применение в ВОЛС получил *инфракрасный* диапазон, т.е. излучение с длиной волны более 760 нм.

Принцип распространения оптического излучения вдоль оптического волокна (ОВ) основан на отражении от границы сред с разными показателями преломления (Рис. 4.5). Оптическое волокно изготавливается из кварцевого стекла в виде цилиндров с совмещенными осями и различными коэффициентами преломления. Внутренний цилиндр называется *сердцевиной* ОВ, а внешний слой - *оболочкой* ОВ.

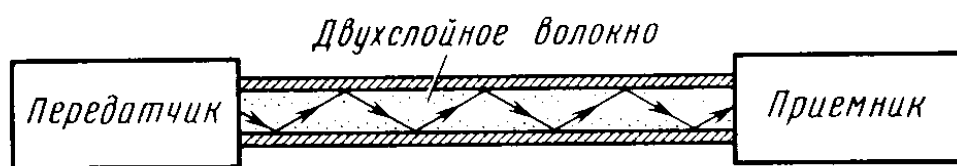


Рис. 4.5. Принцип распространения оптического излучения

Угол полного внутреннего отражения, при котором падающее на границу двух сред излучение полностью отражается без проникновения во внешнюю среду, определяется соотношением $\theta_{кр} = \arccos(n_2/n_1)$, где n_1 - показатель преломления сердечника ОВ, n_2 - показатель преломления оболочки ОВ, причем $n_1 > n_2$. Излучение должно вводиться в волокно под углом к оси меньшим $\theta_{кр}$.

В зависимости от вида профиля показателя преломления сердцевины различают *ступенчатые* и *градиентные* ОВ. У ступенчатых ОВ показатель преломления сердцевины постоянен (Рис. 5.8, а). У градиентных ОВ показатель преломления сердцевины плавно меняется вдоль радиуса от максимального значения на оси до значения показателя преломления оболочки (Рис. 5.8, б).

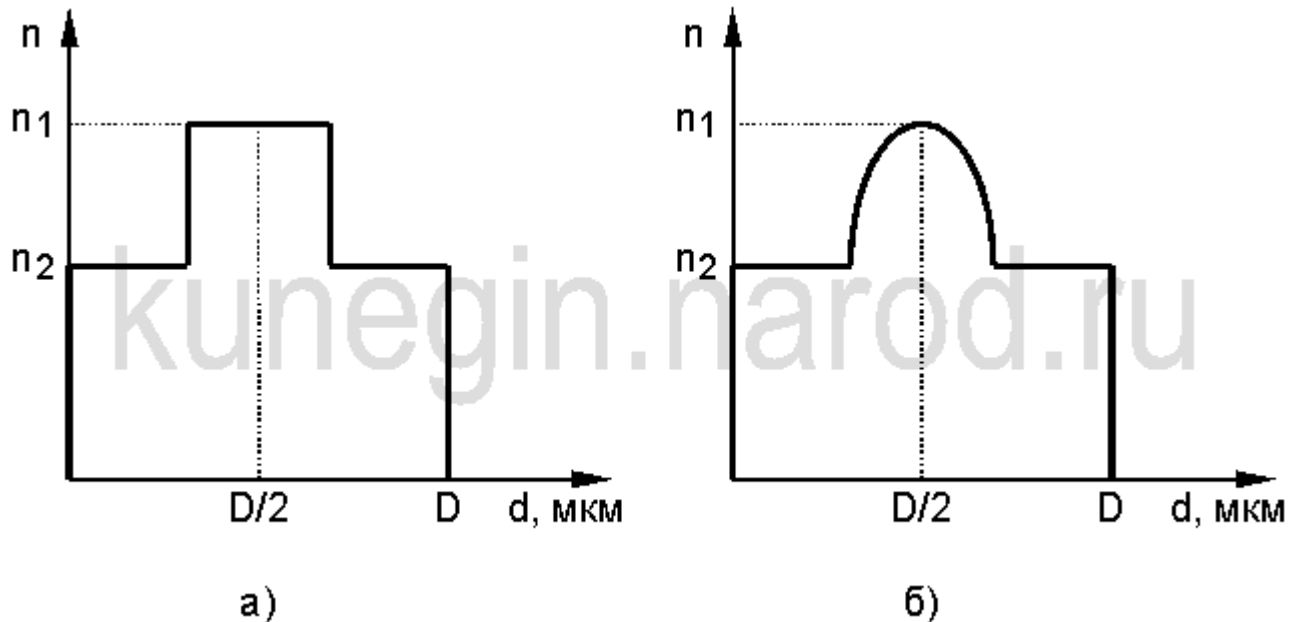


Рис. 4.6. Профиль показателя преломления ступенчатого (а) и градиентного (б) ОВ

В ОВ может одновременно существовать несколько типов волн (мод). В зависимости от модовых характеристик ОВ со ступенчатым профилем преломления делятся на два вида: *многомодовые* и *одномодовые*.

Количество мод зависит от значения нормированной частоты $V = \frac{D\pi}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$, где D - диаметр сердцевины ОВ, λ - рабочая длина волны. Одномодовый режим реализуется при $V < 2.405$. Заранее определенными и сравнительно малыми величинами являются рабочая длина волны и разность показателей преломления $\delta_n = n_1 - n_2$. Обычно ОВ изготавливают с величиной $\delta_n = 0.003 \dots 0.05$. Поэтому диаметр сердцевины одномодовых волокон также является малой величиной и составляет 5...15 (обычно 9 или 10) мкм.

Для многомодовых волокон диаметр сердцевины составляет около 50 (обычно 50 или 62,5) мкм. Диаметр оболочки у всех типов ОВ 125 мкм. Диаметр защитного покрытия - 500 мкм. Наружный диаметр кабеля с числом ОВ от 2...32 с учетом всех защитных оболочек и элементов обычно составляет 5..17 мм.

На Рис. 4.7 приведен пример конструкции оптического кабеля.

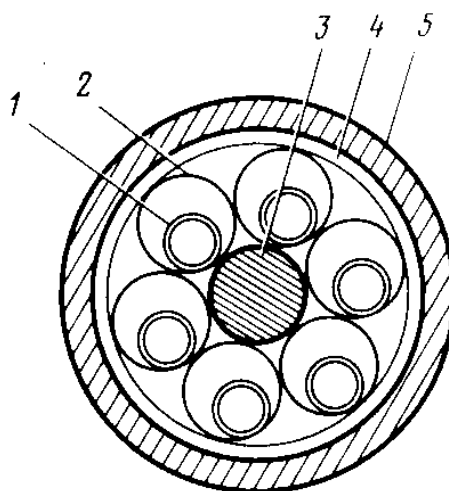


Рис. 4.7. Конструкция оптического кабеля: 1 - ОВ, 2 - полиэтиленовая трубка, 3 - силовой элемент, 4 и 5 - соответственно внутренняя и внешняя полиэтиленовые оболочки

Затухание ОВ неоднородно для разных длин волн. Зависимость коэффициента затухания ОВ от рабочей длины волны приведена на Рис. 5.10. Данная зависимость имеет три минимума, называемые *окнами прозрачности*. Исторически первым было освоено первое окно прозрачности на рабочей длине волны 0.85 мкм.

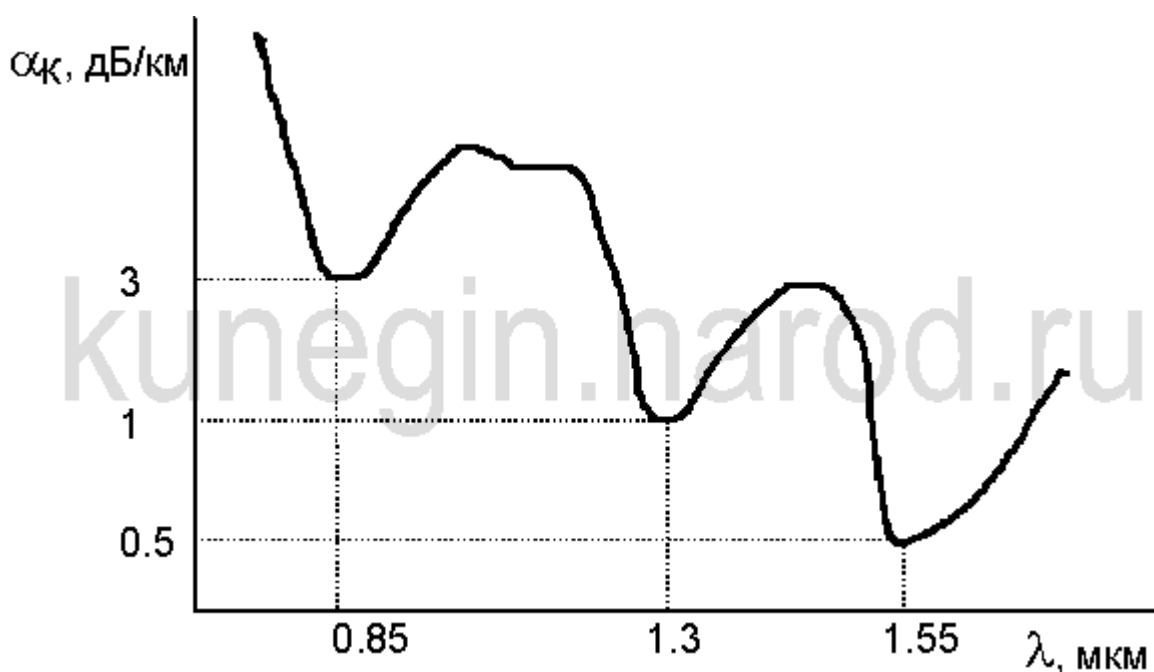


Рис. 4.8. Спектральная характеристика коэффициента затухания ОВ

Первые полупроводниковые излучатели (лазеры и светодиоды) и фотоприемники были разработаны именно для данной длины волны. Коэффициент затухания в первом окне значителен и составляет единицы дБ/км. Позднее были созданы излучатели и фотоприемники, способные работать на

больших длинах волн (1,3 и 1,55 мкм). Современные системы связи обычно используют второе или третье окно с малыми коэффициентами затухания. Современная технология позволяет получить ОВ с коэффициентом затухания порядка сотых долей дБ/км.

Лекция 5

5. Элементы и узлы устройств телемеханики, передачи данных и электронных устройств автоматики

5.1. Диодные и транзисторные элементы и узлы

Диодно-транзисторные ИМС (DTL)

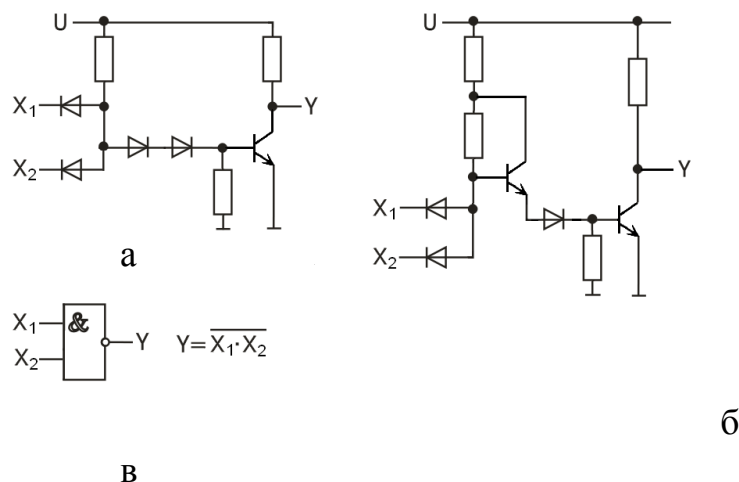


Рис. 5.1. Диодно - транзисторные ЛЭ DTL:

а - с усилителем на одном транзисторе;

б - с усилителем на составном транзисторе;

в - функциональное обозначение элемента И-НЕ

Базовые функциональные элементы (рис. 4) диодно-транзисторных ИМС реализуют типовую логическую функцию И-НЕ (для положительной логики). При этом функцию И выполняют диодные группы, а функцию усилителя-инвертора-транзисторные схемы.

Известны две наиболее распространенные разновидности DTL-ИМС:

1. ИМС с однотранзисторным усилителем на выходе;
2. ИМС с усилителем на составном транзисторе (усилитель Дарлингтона).

Базовые элементы И-НЕ для двух указанных групп DTL-ИМС приведены на рис. 4, а, б соответственно.

Применение усилителя на составном транзисторе позволяет снизить требования к коэффициенту усиления интегральных транзисторов, а также расширить температурный диапазон работы DTL-ИМС.

Модифицированные DTL-ИМС со свободным коллектором позволяют простым способом реализовать двухступенчатую логическую функцию И-ИЛИ-НЕ за счет объединения коллекторов выходных транзисторов.

Общим свойством описанных микросхем является использование нелинейного режима работы активных элементов. Усилители логических схем характеризуются надежным запирающим транзисторов в одном логическом состоянии и насыщением транзисторов в другом.

Режим насыщения не позволяет полностью использовать высокие частотные свойства транзисторов в микросхеме, так как основная задержка определяется длительным рассасыванием заряда при включении насыщенного транзистора.

В связи с разработкой новых поколений ЭВМ встал вопрос о создании ИМС с быстродействием более 50 МГц. Этим требованиям удовлетворяют ИМС с эмиттерными связями (ECL-ИМС), имеющие высокие динамические параметры.

5.2. Цифровые логические элементы.

На рис. 2 показаны электрическая и функциональная схемы ЛЭ ИС типа RTL, реализующего функцию ИЛИ-НЕ. Операция ИЛИ осуществляется на резистивной сборке, а транзистор исполняет роль усилителя-инвертора.

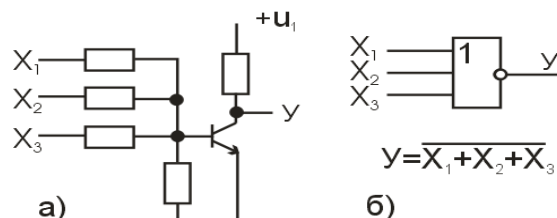


Рис. 2. Элемент двухступенчатой логики(DTL_-2)

а) схема элемента И-ИЛИ-НЕ;б) функциональное обозначение

Необходимо отметить, что ЛЭ может работать в двух логических режимах. При высоком уровне сигнала, принятом за логическую единицу (1), осуществляется так называемая положительная логика работы элемента. Если за логическую 1 принять низкий уровень, то имеет место отрицательная логика. В этом случае ЛЭ реализует операцию И-НЕ. Такое преобразование логики работы элементов в зависимости от принятой полярности сигнала логической 1 характерно и для всех других типов потенциальных микросхем.

Транзисторные ИМС с непосредственной, резистивной и резистивно-емкостной связью (DCTL, TRL, RCTL)

Транзисторные ИМС с непосредственной связью являются одним из основных схемотехнических направлений. Наиболее широко эта схемотехника применяется в ИМС на основе МДП-структур. Возможна также реализация транзисторных ИМС с непосредственными связями на основе биполярных транзисторов (Рис. 3).

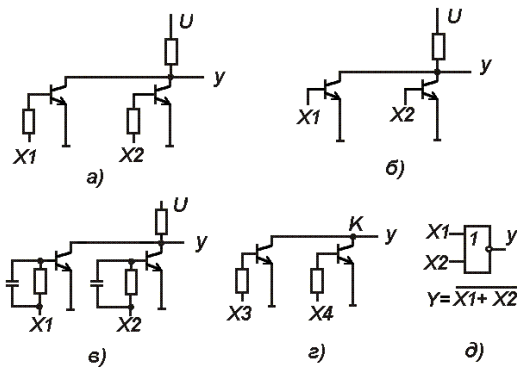


Рис. 2.3. Схемы ЛЭ: а)TRL; б)DCTL; в)RCTL; г)расширитель ИЛИ; д)функциональное обозначение.

Рис 3. Схемы ЛЭ: а)TRL; б)DCTL; в)RCTL; г) расширитель ИЛИ; д) функциональное обозначение

Включение компенсирующих резисторов в базовые цепи транзисторов ЛЭ (рис.

3, а) позволило значительно снизить рабочие токи и потребляемую мощность в TRL-ИМС. На основе элементов TRL были разработаны серии

микромощных ИМС с $P_{cp} \leq 100 \frac{\text{мкВт}}{\text{вентиль}}$. Однако включение компенсирующих резисторов существенно снизило предельное быстродействие микросхем до 1 МГц, но в тоже время обеспечило высокое значение параметров n и m ($n > 4$ и $m > 8$). Для повышения быстродействия элементов TRL параллельно базовому резистору были включены форсирующие конденсаторы (рис. 3, в). Микросхемы такого типа получили название транзисторных ИМС с резистивно-конденсаторными связями (RCTL). Предельное быстродействие элементов такого типа повысилось до 5 МГц при сохранении значений параметров n и m.

Несмотря на очевидные преимущества RCTL-ИМС не получили распространения из-за сложности их изготовления, так как создание идентичных и стабильных емкостей методами интегральной технологии является сложной задачей. Конденсаторы, выполненные на основе короткозамкнутых р-п переходов, занимают большую площадь и имеют значительный разброс характеристик, что снижает степень интеграции и процент выхода годных ИМС в производстве.

5.3. Микросхемные элементы.

В базовом ECL-элементе ИЛИ, ИЛИ-НЕ обе логические операции (ИЛИ, НЕ) выполняются эмиттерно-связанными транзисторами, чем и обусловлено название типа логики. Элемент имеет два выхода, на одном из которых фиксируется результат операции ИЛИ, а на другом — операции ИЛИ-НЕ. Обозначают такой элемент ИЛИ, ИЛИ-НЕ.

Особенностью микросхем транзисторной логики с эмиттерными связями (ECL) является ненасыщенный режим работы транзисторов, что обеспечивает их высокое быстродействие. Вентильная ECL-ИМС выполняется на двух переключателях тока (рис. 5). Один из них, нормально открытый, реализован на транзисторе, на базу которого подано отпирающее напряжение U_0 . Уровень U_0 ниже минимального уровня логической 1. Второй переключатель тока состоит из m (по числу логических входов) транзисторов, имеющих общие коллекторы и эмиттеры, что обеспечивает реализацию функции ИЛИ. При отпирании любого транзистора второго переключателя тока, повышается уровень напряжения на общем эмиттерном резисторе R_0 и обеспечивается запираание первого переключателя тока, что приводит к формированию на выходе Y высокого уровня (логическая 1), в то время как на выходе \bar{Y} формируется низкий уровень (логический 0). Следовательно, по выходу \bar{Y} реализуется функция ИЛИ-НЕ, а по выходу Y — логическая функция ИЛИ.

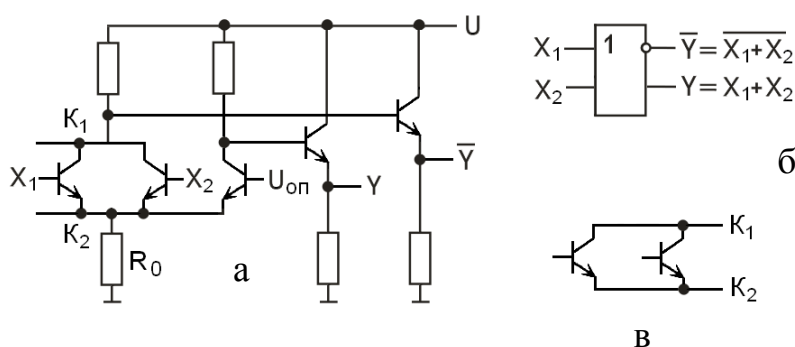


Рис. 5. Логический элемент с эмиттерными связями (ECL):

а — схема ИЛИ, ИЛИ-НЕ;

б — функциональное обозначение; в — расширитель функции ИЛИ

Выполнение выходных каскадов логической схемы на эмиттерных повторителях (выходное сопротивление $30 \dots 50 \text{ Ом}$) обеспечивает большую нагрузочную способность базового элемента ($n > 10$). Кроме того, при наличии эмиттерных повторителей смещается выходной уровень 1 элемента на величину падения напряжения на переходе кремниевого транзистора ($U_{бэ} = 0,7 \dots 0,8 \text{ В}$), создавая условия для ненасыщенного режима работы транзисторов последующей логической группы.

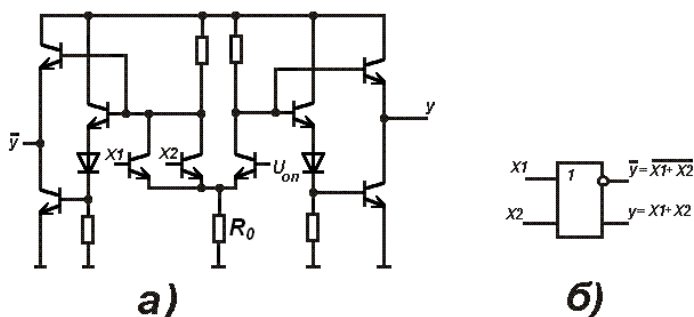


Рис. 2.6. Логический элемент ECL с мощным выходом:
а) схема элемента ИЛИ, ИЛИ-НЕ;
б) функциональное обозначение.

Рис. 6. Логический элемент ECL с мощным выходом:

а) схема элемента ИЛИ, ИЛИ-НЕ;

Транзисторы выходных эмиттерных повторителей работают в ненасыщенном режиме, так как напряжение на коллекторе всегда выше напряжения на базе и переходы коллектор-база никогда не оказываются смещенными в прямом направлении. Перепад напряжений логических уровней 1 и 0, как правило, находится в пределах $0,7 \dots 0,8 \text{ В}$, а помехоустойчивость составляет $0,15 \dots 0,2 \text{ В}$. За счет низкого выходного сопротивления уровень помех в линиях связи между элементами невысок, а постоянная токовая нагрузка элемента не вызывает всплесков напряжения в цепях питания. Наличие двух парафазных логических выходов в ECL-ИМС обеспечивает большую гибкость при проектировании цифровых устройств.

Увеличение коэффициента объединения по входам ИЛИ осуществляется за счет подключения к базовой ECL-ИМС логического расширителя. Однако на практике стремятся избежать применения логических расширителей, подключение которых существенно снижает быстродействие ИМС из-за значительных паразитных емкостей, что ограничивает параметр m в ECL БИС.

5.4. Логические контроллеры

Схемы интегральной инжекционной логики (ИИЛ), или И²Л-схемы, являются развитием схем с непосредственными связями (рис. 8).

Типовой И²Л-вентиль содержит транзисторную структуру n-p-n, включенную по схеме с общим эмиттером и выполняющую роль выходного инвертирующего усилителя, обеспечивающего развязку выходов для исключения их взаимного влияния, а также дополняющую транзисторную структуру p-n-p, включенную по схеме с общей базой и служащую для инжекции тока в базу выходного усилителя. Соответственно транзистор VT₁ называют инжектором, а VT₂ — инвертором (рис. 8, а). Эти транзисторы в многоступенчатой логической схеме совмещаются в объеме полупроводника, причем база транзистора p-n-p есть эмиттер транзистора n-p-n, а коллекторы транзисторов p-n-p есть базовые области транзисторов n-p-n. Это обеспечивает высокую плотность упаковки элементов инжекционных микросхем на кристалле.

Типовые многовыходовые И²Л вентили с логикой ИЛИ-НЕ и И-НЕ приведены на рис. 8, в-е. Функция ИЛИ организуется объединением коллекторов выходных инвертирующих транзисторов, а функция И — подачей инверсных управляющих сигналов на входе и подключением дополнительного инвертирующего усилителя на выходе логической схемы.

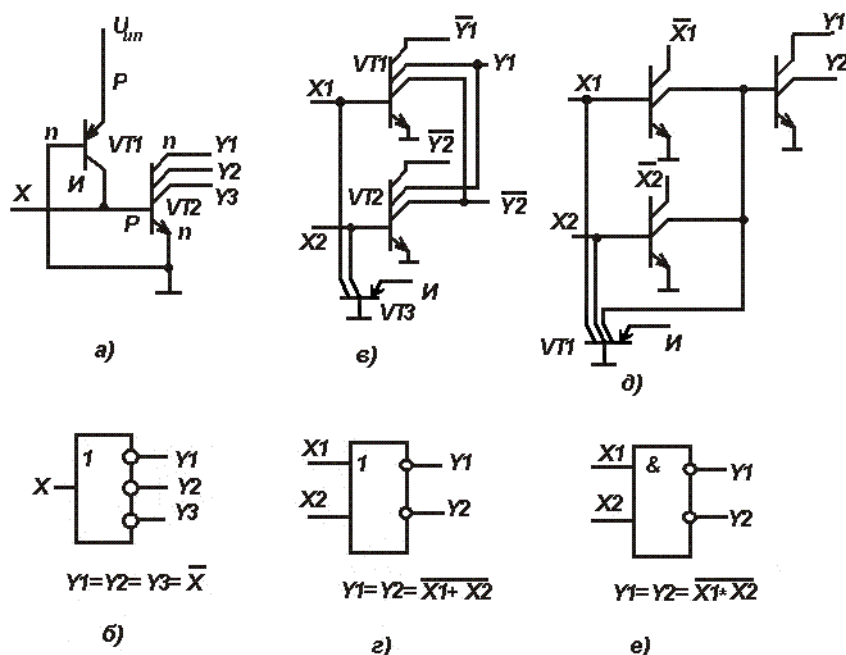


Рис. 8. Логические элементы инжекционной логики (И²Л):

а,б - схема инвертора и её функциональное обозначение; в,г- схема ИЛИ-НЕ и её функциональное обозначение;
 д,е - схема И-НЕ и её функциональное обозначение

Работа инжекционной микросхемы может быть рассмотрена на основе логического вентиля ИЛИ-НЕ (рис. 8, в, г). При уровнях логического 0 на входах X_1 , X_2 ток инжектора через многоколлекторный транзистор VT_3 не сможет поступить в базы транзисторов VT_1 , VT_2 и они останутся запертыми, что приведет к формированию на выходе вентилей (Y_1 и Y_2) уровня 1. При поступлении логической 1 на любой из входов (это соответствует режиму запирающего транзистора предшествующего каскада) инжектируемый ток через соответствующий коллектор транзистора VT_3 поступит в базу транзистора схемы ИЛИ-НЕ (при $X_2=1$ ток поступит в базу транзистора VT_2) и откроет его, что приведет к формированию логического 0 на выходах $Y_1=Y_2=0$. (Логику работы схемы И-НЕ (рис. 8, д, е) предполагается рассмотреть самостоятельно).

Быстродействие переключения инжекционных микросхем определяется током инжектора, увеличение которого до определенного значения позволяет уменьшить задержку срабатывания вентиля. Однако, при значительном увеличении тока инжектора из-за накопления больших избыточных зарядов в активных областях, задержка срабатывания резко возрастает.

Повышение быстродействия реализуется при уменьшении геометрических размеров транзисторов, увеличении коэффициентов усиления, а также при создании И²Л-ИМС с небольшими логическими перепадами уровней сигналов. Логический перепад можно снизить в 2...3 раза за счет применения диодов Шотки, включенных последовательно между выходом одного логического каскада и входом другого. Вариант включения диодов Шотки приведен на примере инвертора (рис. 9).

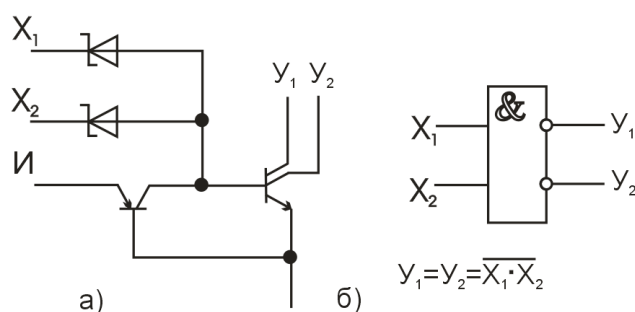


Рис. 9. Схема быстродействующего элемента И²Л с диодами Шотки (функция И-НЕ) (а) и его функциональное обозначение (б)

Важной проблемой проектирования БИС на инжекционных элементах является обеспечение необходимой помехоустойчивости. Типовые И²Л-вентили имеют низкую помехоустойчивость к запирающим помехам (менее 0,1 В), что предопределило их использование преимущественно во внутренних узлах БИС. Для повышения помехоустойчивости во входных каскадах БИС применяют вентили с несколькими включенными последовательно базовыми диодами Шотки (помехоустойчивость к запирающим помехам увеличивается в 2...3 раза).

5.5. Интеллектуальное электронное устройство.

Интеллектуальные электронные устройства ЭНИП-3 предназначены для применения в автоматизированных системах мониторинга переходных режимов (СМНР), автоматизированных системах технологического управления электрических сетей и электростанций, АСУ ТП и АИИС подстанций, а также для реализации режимной и противоаварийной автоматики энергосистем.

Интеллектуальные электронные устройства ЭНИП-3 дополнительно к измерениям основных параметров электрической сети, выполняемым ЭНИП-2, обеспечивают поддержку технологии векторных измерений, т.е. выполняют измерения комплексных амплитуд токов и напряжений основной гармоники.

Алгоритмы обработки сигналов в ЭНИП-3 разработаны в соответствии со стандартом СЗ7.118.1 и:

- отстроены от помех в виде свободных составляющих электромагнитных переходных процессов и высших гармоник;
- обеспечивают требуемую точность измерения векторов тока и напряжения при изменении частоты, а также при изменении огибающих токов и напряжений основной гармоники в условиях электромеханических переходных процессов в энергосистеме, при изменении нагрузки, вследствие работы АРВ и иных устройств автоматики энергосистем.

Устройства ЭНИП-3 в максимальной степени удовлетворяют требованиям, предъявляемым к ИЭУ нового поколения для интеллектуальных (активно-адаптивных) электрических сетей.

На базе ЭНИП-3 создаются системы мониторинга переходных режимов, системы телемеханики и технического учета электроэнергии, автоматика энергосистем.

ЭНИП-3 может быть установлен в релейных отсеках КРУ, на панелях или в шкафах ОПУ. Интеллектуальные устройства ЭНИП-3 могут эксплуатироваться на необслуживаемых и неотапливаемых объектах.

ЭНИП-3 поддерживает следующие протоколы обмена: МЭК 60870-5-104-2004, С37.118.

ЭНИП-3 является базой для дальнейшего развития целой серии интеллектуальных электронных устройств с различными функциональными и коммуникационными возможностями.

Представленный в каталоге ЭНИП-3 выполняет функции векторных измерений (комплексные величины) напряжений и токов по основной гармонике (PMU — phasor measurement unit), регистрирует электромеханические переходные режимы энергосистемы, обеспечивает полный набор измеряемых параметров трехфазной электрической сети, осуществляет ввод 5 дискретных сигналов и передачу всей информации по сети Ethernet.

Опционально ЭНИП-3 может иметь встроенный GPS-приемник, а также цветной сенсорный TFT экран.

Лекция 6

Устройства автоматики в системах электроэнергетики

6.1. Общие понятия

1. **Автоматика управления нормальными режимами СЭС.** Она обеспечивает:

- автоматическое поддержание на заданном уровне напряжения, частоты и реактивной мощности на шинах электрических станций;
- автоматического регулирования коэффициента трансформации трансформаторов с устройствами регулирования под нагрузкой;
- автоматического регулирования реактивной мощности статических конденсаторов;
- автоматического регулирования возбуждения синхронных машин – синхронных компенсаторов и синхронных двигателей;
- автоматическое регулирование настройки компенсации дугогасящих реакторов в электрических сетях напряжением 6-10-35 кВ;

Эти устройства автоматики обеспечивают на заданном уровне напряжение и частоту в нормальном режиме работы системы электроснабжения, устройство АРВ стремится поддержать напряжение в аварийных ситуациях.

2. **Противоаварийная автоматика (ПА).** Она должна обеспечить устойчивость функционирования системы электроснабжения в аварийных и послеаварийных режимах. ПА должна прежде всего ликвидировать повреждение. Это выполняют:

- устройства релейной защиты (УРЗ);
- устройства автоматического повторного включения (УАПВ).

При успешном АПВ система электроснабжения восстанавливается, а при неуспешном защита отключает поврежденный элемент. В этом случае может нарушиться электроснабжение потребителей и потребуются их подключение к резервному источнику питания. Для этой цели служит устройство автоматического включения резерва (УАВР).

Аварийный режим и его ликвидация могут сопровождаться возникновением дефицита мощности и, как следствие этого, понижением частоты и напряжения. Для их восстановления используют:

- устройство автоматической частотной разгрузки (УАЧР) - для восстановления частоты;
- устройства токовой разгрузки (УРТ).

Назначением противоаварийной автоматики, функционирующей при интенсивных возмущающих воздействиях, угрожающих развитием аварийной ситуации в СЭС, является устранение возмущающего воздействия, предотвращение развития общесистемной аварии и восстановление нормального режима работы [48.30, 48.31].

Эффективность ПА определяется быстродействием и дозированием противоаварийных управляющих воздействий, вырабатываемых на основе обширной информации о предшествующем возмущающему воздействию (исходном) режиме и получаемой о переходных процессах в СЭС в реальном времени, что является ее главной особенностью. Последнее выполняется с помощью устройств телемеханики.

3. Устройства телемеханики. Они предназначены прежде всего для управления нормальными режимами системы электроснабжения и являются составной частью автоматизированных систем управления (АСУ).

Для функционирования АСУ необходим непрерывный поток информации о режимах производственного процесса, особенно о значениях напряжения, тока, мощности, частоты и состоянии оборудования. Системы электроснабжения крупных промышленных предприятий, городов и особенно предприятий агропромышленного комплекса и железнодорожного транспорта рассредоточены на значительных территориях. Поэтому необходимы автоматические информационные устройства, обеспечивающие сбор и передачу информации от контролируемых пунктов (подстанций) на диспетчерский пункт сетевого предприятия, где находятся АСУ и диспетчерский персонал.

Использование микропроцессорной техники позволяет значительно расширить функции и возможности рассредоточенных по системе электроснабжения автоматических устройств, осуществляющих управление процессом производства, передачи и потребления электроэнергии как в нормальных, так и в аварийных и послеаварийных режимах.

6.2. Система регулирования частоты и активной мощности

Автоматическая частотная разгрузка рассчитывается и выполняется по многоступенчатому принципу - в несколько очередей, отличающихся друг от друга различными уставками по частоте и времени срабатывания. Это необходимо для более точного выявления соответствия нагрузки, отключаемой устройством АЧР, дефициту активной мощности, образовавшемуся при аварии.

АЧР заключается в том, что при значительном снижении частоты в сети отключается часть электрических нагрузок, причем осуществляется это дискретно, очередями. Устройства АЧР в зависимости от своего назначения подразделяются на три основные категории:

- АЧР1 - быстродействующая категория разгрузки, предназначенная для предотвращения глубокого снижения частоты;

- АЧР2 - категория разгрузки, предназначенная для подъема частоты после действия устройств АЧР1, а также для предотвращения "зависания" частоты на недопустимом уровне;

- дополнительная разгрузка - предназначена для ускорения разгрузки и увеличения ее объема при значительных (45 % и более) дефицитах мощности. Должна действовать селективно, т.е. только при появлении

местных дефицитов мощности (аварийное отделение района или узла нагрузки от главного источника питания и т.п.).

При АЧР1 отключение нагрузки производится несколькими очередями, начиная с уставки $f_{1АЧР1}$ и заканчивая при уставке $f_{НАЧР1}$. Верхний предел уставки $f_{1АЧР1}$ обычно принимают равным 48,5 Гц, а нижний предел $f_{НАЧР1}$ - 46,5 Гц. В этом диапазоне очереди отключаются равномерно с минимальным интервалом по частоте $\Delta f = 0,1$ Гц. Уставка по времени для всех устройств АЧР1 принимается одинаковой и равна 0,1...0,3 с. Присоединенная к АЧР1 мощность распределяется равномерно между отдельными очередями. Так, при наличии 20 очередей и отключаемой мощности 30 % P_n на каждую очередь придется по 1,5 % P_n (P_n - номинальная (расчетная) мощность энергосистемы).

При АЧР2 нагрузка отключается также очередями. Они имеют общую уставку по частоте, равную верхнему пределу уставок устройств 1ЧР1 или несколько больше (до 0,5 Гц), но не выше 48,8 Гц. Минимальные интервалы выдержки времени между смежными очередями принимаются равными $\Delta t = 3$ с. Минимальная начальная уставка по времени устройств АЧР1 составляет 5...10 с, а максимальная - 60 с. При наличии существенной резервной мощности на ГЭС и возможности ее мобилизации указанная конечная уставка по времени может быть повышена до 70...90 с. Отключаемая мощность между отдельными очередями АЧР2 распределяется равномерно.

Следует отметить, что допускается неселективное действие смежных очередей АЧР1, а также отдельных очередей АЧР2, например, при медленном снижении частоты в энергосистеме до значения, близкого к уставке АЧР2.

Мощность нагрузки, присоединенную к устройствам АЧР1, находят по формуле

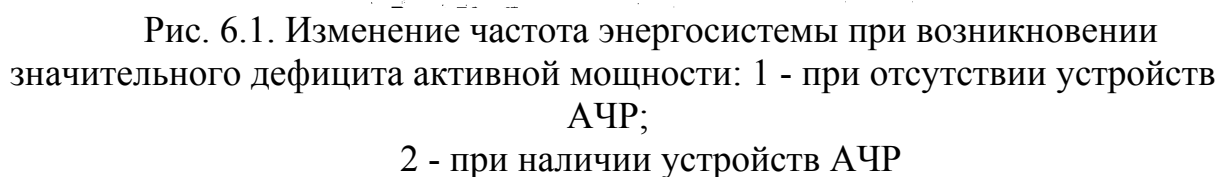
$$P_{АЧР1} \geq \Delta P_{\text{дм}} + 0,05 \cdot P_{\text{но}} - \Delta P_{\text{гр}},$$

где $\Delta P_{\text{дм}}$ - максимальный дефицит мощности; $P_{\text{но}}$ - мощность нагрузки в исходном режиме до возникновения дефицита мощности; $\Delta P_{\text{гр}}$ - величина учитываемой части гарантированного резерва мощности на ГЭС.

Мощность нагрузки, отключаемой устройствами АЧР2, принимается

$$P_{АЧР2} \geq 0,4 \cdot P_{АЧР1}, \text{ но не менее } 0,1 \Delta P_{\text{но}}.$$

Процесс изменения частоты f при появлении в энергосистеме дефицита мощности показан на рис.4.1, из которого видно, что при уменьшении частоты в момент времени t_1 вступает в действие АЧР1 и предотвращает глубокое снижение частоты, а в момент времени t_2 начинает действовать АЧР2 и обеспечивает восстановление частоты (кривая 2). При возникновении значительного дефицита активной мощности в энергосистеме и отсутствии устройств АЧР может наступить явление "лавины частоты", т.е. частота будет снижаться, стремясь к нулю (кривая 1).



На рис. 6.2 изображена схема совмещенной АЧР. Пуск АЧР1 происходит от реле частоты РЧ1, а АЧР2 - от реле частота РЧ2 и реле времени РВ. При понижении частоты срабатывает реле РЧ2 и реле РВ начинает отсчитывать выдержку времени. Если уставка реле РЧ1 ниже, чем РЧ2, то при дальнейшем снижении частоты срабатывает РЧ1, а затем промежуточное реле РП1. В зависимости от того, какая категория АЧР сработала первой, через указательное реле РУ1 или РУ2 будет подано напряжение на выходное реле РП2, замыкающее цепи отключения потребителей. Указательные реле обеспечивают сигнализацию вида сработавшего АЧР. Схемы управления отдельными очередями АЧР1 и АЧР2 представляют собой частные случаи схемы, изображенной на рис.4.2.

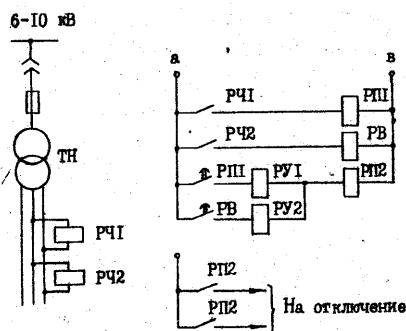


Рис. 6.2. Схема совмещенной АЧР

Частотное АПВ

Важным условием обеспечения нормального технологического процесса производства остается скорейшее восстановление питания истребителей, отключенных устройствами АЧР. Это достигается применением частотного АПВ (ЧАПВ). ЧАПВ применяют, в первую очередь, в следующих случаях:

- а) для ответственных потребителей;
- б) для автоматизации процесса включения на подстанциях без обслуживающего персонала;
- в) для исправления ложных действий устройств АЧР при кратковременных снижениях частоты в случае КЗ или при работе АВР и АПВ.

ЧАПВ выполняется несколькими очередями, порядок подключения нагрузок обратен порядку подключения их к устройствам АЧР. Нагрузку между очередями ЧАПВ по возможности распределяют равномерно. Уставка по частоте выполняется либо единой, либо делают ряд уставок в диапазоне 49,2...50 Гц. В последнем случае более высоким уставкам должны соответствовать большие выдержки времени.

Минимальная начальная уставка устройств ЧАПВ по времени равна 10...20 с, а минимальный интервал времени смежных очередей ЧАПВ в пределах энергосистемы или отдельного узла принимают равным 5 с. Отметим, что ЧАПВ выполняется однократным.

6.3. Противоаварийная автоматика

Противоаварийная автоматика (ПАА) — комплекс автоматических устройств, предназначенных для ограничения развития и прекращения аварийных режимов в энергосистеме.

Областью применения ПАА являются объекты генерирующих и электросетевых предприятий с целью обеспечения стабильности энергосистемы, предотвращения возможности развития аварий и минимизации их последствий.

Состояние энергосистемы характеризуется рядом таких факторов и параметров, как электрическая схема, состав оборудования, перетоки мощности по электропередачам и межсистемным связям, значения токов, уровни напряжения, частота и т.п. Устройства ПАА непрерывно контролируют эти параметры, выявляют и фиксируют моменты опасного отклонения или внезапного нарушения нормального режима, определяют их тяжесть и вырабатывают соответствующие воздействия на объекты управления. При этом, чем больше факторов и параметров контролирует ПАА, тем ближе к оптимальным будут ее воздействия.

Для решения задач поддержания устойчивости энергосистем применяются современные системы ПАА, построенные на базе микропроцессорной техники и современных информационных технологий, что позволяет использовать весь потенциал быстрогодействия, точных

расчетов места повреждения. Основная задача систем ПАА — реализовывать противоаварийные алгоритмы в конкретных сложившихся ситуациях.

Компания «ТелеСвязь» является дилером ведущих Российских предприятий, производящих микропроцессорные устройства защиты и автоматики для предприятий отечественной электроэнергетики, а также партнером мирового электротехнического гиганта SIEMENS. На базе этих устройств и модулей специалисты компании проектируют и собирают комплектные шкафы аппаратуры для внедрения на объектах.

Имея опыт участия в комплексной реконструкции и строительстве объектов генерации (новые энергоблоки ТЭЦ) и распределения электроэнергии (подстанции), компания «ТелеСвязь» обладает потенциалом для выполнения работ полного цикла в областях:

- ПА – противоаварийная автоматика;
- РЗА – релейная защита и автоматика станционного и подстанционного оборудования;
- НКУ – низковольтные комплектные устройства.

Выполняется на базе сборных шкафов противоаварийной автоматики. Предлагаются системы, предназначенные для применения в качестве:

- Локальной противоаварийной автоматики генераторов гидростанций, тепловых станций;
- Автоматики защиты линий электропередач;
- Систем управления аварийными режимами объектов генерации электроэнергии.

Комплекс противоаварийной автоматики (ПА) выполняется в виде дублирующих систем, для которых предусмотрены комплекты микропроцессорных терминалов, индивидуальные измерительные трансформаторы, разделительные цепи по постоянному оперативному току и разделительные цепи воздействия во внешние схемы.

6.4. Автоматические системы, реализующие функции ПА

Устройство телемеханики содержит диспетчерский полукомплект, устанавливаемый на ДП, и контролируемые полукомплекты, устанавливаемые на КП. Полукомплекты связаны между собой ЛС.

Отдельные узлы устройств телемеханики выполняются на разных элементах. До последнего времени широкое распространение в устройствах телемеханики имели релейно-контактные и полупроводниковые элементы. Большое количество таких устройств, телемеханики находится в эксплуатации в системах электроснабжения. Однако наиболее перспективной элементной базой для создания систем телемеханики являются интегральные микросхемы.

Современной тенденцией в построении систем телемеханики является создание агрегатной системы средств телемеханики (АССТ). Система АССТ представляет собой набор типовых функциональных узлов и блоков, а также построенных из них комплексов телемеханических устройств. Система

АССТ входит в государственную систему промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП), что предполагает свободное сопряжение устройств АССТ с устройствами других агрегатных систем, входящих в ГСП, в частности агрегатной системы переработки информации (АСПИ), контроля и регулирования (АСКР) и др.

Промышленностью выпускается комплекс устройств телемеханики типа ТМ-320, предназначенный для телемеханизации промышленных предприятий, объектов коммунального хозяйства и энергоснабжения городов. Комплекс ТМ-320 обеспечивает обмен информацией между ДП и КП при наличии выделенных двухпроводных ЛС. Число ЛС, отходящих от ДП, может изменяться от одной до тридцати двух, причем к каждой ЛС может подсоединяться от одного до трех КП, образующих последовательную цепочку. Расстояние между ДП и КП ограничивается параметрами ЛС, сопротивление которой не должно превышать 3 кОм, а ее емкость - 0,6 мкФ.

На каждом из подключенных к одной ЛС КП комплекс ТМ-320 обеспечивает телесигнализацию 56 объектов. По одной ЛС на все подключенные к ней КП может быть передано 48 команд ТУ (ТР), причем каждая команда ТУ может быть использована для вызова двух датчиков ТИ-параметров или телефонного разговора.

Для ТИ используются первичные преобразователи (датчики) с выходным сигналом в виде постоянного тока или напряжения. Погрешность ТИ без учета точности первичного преобразователя и измерительного прибора составляет 1 %.

Вся информация между ДП и КП передается спорадически. Команды ТУ инициируются диспетчером, сообщения ТС - изменением положения контролируемого объекта, а ТИ - изменением ТИ-параметра на заданную величину. С каждого КП может быть передан один аварийный сигнал независимо от наличия на КП напряжения, что дает возможность сигнализировать исчезновение напряжения на КП.

Диспетчерский полукомплект комплекса ТМ-320 обладает оперативной памятью, в которой хранится поступающая с КП информация. ТС воспроизводится на имеющейся на ДП мнемонической схеме системы электроснабжения, что обеспечивает возможность индивидуальной сигнализации положения всех контролируемых объектов. ТИ воспроизводится с помощью измерительных приборов. Число одновременно воспроизводимых ТИ-параметров не превышает десяти.

Комплекс ТМ-320 обеспечивает автоматический контроль исправности аппаратуры и ЛС. Неисправная ЛС может быть отключена без нарушения работоспособности остальной части комплекса.

Дальнейшим развитием устройств телемеханики, предназначенных для использования в системах электроснабжения, является комплекс устройств телемеханики ТМ-310. Характерной особенностью этого комплекса является наличие устройства сопряжения с агрегатными средствами вычислительной техники (АСВТ-М), что позволяет вводить данные, получаемые с КП,

непосредственно в память ЭВМ и тем самым активно использовать ЭВМ в процессе управления (в том числе и оперативного) системой электроснабжения. Передача ЭВМ функций обработки поступающей телеинформации позволяет существенно повысить эффективность работы диспетчера.

Назначение АСУ системой электроснабжения

Если объект управления прост и управляемые процессы имеют аналитическое описание, управление может проводиться автоматически, т. е. без участия человека. При наличии сложных объектов управления, например системы электроснабжения города или промышленного предприятия, для которых аналитическое описание управляемых процессов отсутствует, автоматическое управление оказывается невозможным. Решающая роль в управлении сложным объектом остается за человеком. Управление объектом, например системой электроснабжения, всегда является целенаправленным, и следовательно, необходимо предвидеть (прогнозировать) последствия управляющих воздействий на объект управления в текущей конкретной ситуации. Это оказывается возможным только при обработке большого количества информации, часть которой (оперативная информация) должна обрабатываться в темпе процесса (в реальном времени). По мере увеличения мощности системы электроснабжения, усложнения ее конфигурации и режимов работы потребителей электроэнергии управление системой электроснабжения без использования ЭВМ оказывается малоэффективным.

Поэтому в последние годы широкое распространение получили человеко-машинные системы управления, или автоматизированные системы управления (АСУ). В зависимости от решаемых АСУ задач управления создаются различные виды АСУ. Если АСУ предназначена для решения задач планирования производства, управления финансовой деятельностью предприятия, учета и организации оборота материальных ресурсов, рациональной перспективной загрузки оборудования и других задач, не требующих обработки информации в темпе технологического процесса (в реальном времени), то такая АСУ носит название АСУ предприятием - АСУП. Система АСУ, назначением которой является обеспечение качественного протекания технологических процессов, что невозможно без обработки информации в темпе этих процессов, называется АСУ технологическими процессами, или АСУ ТП.

Электроснабжение города или промышленного предприятия можно рассматривать как совокупность различных технологических процессов, управление которыми объединено одной целью - бесперебойное снабжение города или промышленного предприятия электрической энергией определенного качества при минимуме затрат на ее распределение. Поэтому основной задачей АСУ электроснабжением (АСУЭ) является выбор и реализация такой последовательности операций, которая составляет

наилучший вариант управления конкретной системой электроснабжения в конкретных условиях ее работы. Кроме того, на АСУЭ возлагается, как правило, и решение задач, связанных со сбором и обработкой производственно-статистической информации, необходимой для составления энергетических балансов, расчета технико-экономических показателей и т. п. [68, 69]. Таким образом, для АСУЭ характерно как решение задач АСУ ТП, так и решение некоторых задач АСУП. Такая АСУ называется организационно-технологической системой. На промышленном предприятии АСУЭ является составной частью (подсистемой) АСУ предприятием.

В АСУЭ все вычислительные и логические операции выполняются ЭВМ. За человеком сохраняется только творческая работа, что позволяет существенно повысить производительность труда и эффективность управления системой электроснабжения. Быстрая переработка ЭВМ больших объемов информации позволяет смоделировать реакцию управляемой системы на управляющее воздействие. Человек в АСУЭ получает таким образом возможность анализировать результаты управляющих воздействий до их реализации, так как имеет в своем распоряжении информационную экономико-математическую модель управляемой системы.

6.5. Измерительные устройства ПА

Важнейшей частью ПА являются измерительные устройства, предназначенные для фиксации изменения важнейших параметров режима энергосистемы: разности фаз и изменения векторов напряжений в двух частях энергосистемы; частоты и скорости ее изменения, мощности в различных режимах работы энергосистемы; повышения напряжения и т. д. Примером таких устройств являются устройства типов ШДЭ2601, ШДЭ2602, ШП2701, ШП2702, ШП2703 и ШП2704, выполненные в шкафом исполнении.

Устройство ШДЭ2601 предназначено для фиксации следующих параметров и режимов:

- а) статистической перегрузки линий электропередачи по значению угла между напряжениями на ее концах;
- б) динамической перегрузки по значениям узла и скорости скольжения векторов напряжения;
- в) интенсивности переходных процессов.

Фиксация разности фаз напряжений между напряжением в точке установки устройства и напряжениями в двух заданных точках энергосистемы осуществляется с помощью систем телемеханики, обеспечивающих телепередачу фазы. ШДЭ2601 может работать систем телемеханики, используя для 188 анализа фаз, предусмотренных в нем, узлы моделирования векторов напряжения. При наличии системы телемеханики контроль за частотой осуществляется по данным телеизмерения фазы напряжения в контрольных точках энергосистемы.

Устройство ШДЭ2602 используется в автоматической системе ограничения повышения частоты при контроле за генераторами станции. Ограничение выполняется по величине и скорости изменения частоты, которая пропорциональна избытку мощности генераторов, появляющемуся при отключении станции от линий электропередачи или повреждении этих линий. Измерительный орган устройства реагирует на повышение частоты выше заданного предела и на суммарное воздействие текущего значения частоты и исходной мощности станции.

Устройство ШП2701 предназначено для измерения мощности исходного режима в симметричном режиме работы энергосистемы. Устройство рассчитано на контроль суммарной мощности, передаваемой по четырем линиям электропередачи пункта установки устройства и двух удаленных объектов, связанных с ШГ12701 двумя системами телеизмерения. Передача информации в каждой телеизмерительной системе осуществляется по двум каналам связи (основному и резервному) восьмиразрядным кодом. В ШГ12701 предусмотрена защита от приема по системам телеизмерения ложной информации. Защита осуществляется путем сравнения информации, полученных по основному и резервному каналам связи и блокировки узла приема в тех случаях, когда эти информации не совпадают.

Для дистанционного управления устройство ШП2701 связано с пунктом управления системой телеуправления; команды телеуправления передаются сигналами восьмиразрядного кода.

Устройство ШП2702 предусмотрено для фиксации перегрузки линий электропередачи по активной мощности при помощи измерения текущей трехфазной мощности контролируемых линий.

Управление устройством предусматривается по каналу телемеханики (резервному и основному).

Устройство ШП2703 рассчитано на фиксацию внезапного уменьшения активной мощности контролируемых линий в результате КЗ, оно осуществляет контроль до четырех линий электропередачи. Управление режимом работы (установками) устройства производится по каналу телеуправления с пункта управления.

Устройство ШП2704 рассчитано на фиксацию повышения напряжения по результатам контроля реактивной мощности в линии электропередачи.

Рассмотрение устройств ПА показывает, что в настоящее время важным элементом ПА являются системы телеизмерения и телеуправления. К этим системам должны предъявляться

повышенные требования в части качественной работы и высокой надежности. Системы ТМ, используемые в ПА, в обязательном порядке должны содержать основной и резервный каналы передач информации. Эти каналы должны быть независимыми, т. е. не иметь общих элементов (линий связи, аппаратуры связи, трассы).

Лекция 7

7. Аппаратура телеизмерения

7.1. Основные принципы измерения

Телеизмерение — область телемеханики, охватывающая теорию и технические средства для измерения на расстоянии значений контролируемых параметров.

Телеизмерение (ТИ) преследует цель наиболее точно и с минимальными затратами обеспечить возможность измерения при значительных расстояниях от места замера до места отсчета измеряемой величины.

В функциональном смысле под радиопередающим устройством понимается комплекс оборудования, предназначенный для формирования и излучения радиочастотного сигнала (радиосигнала). В качестве функциональных узлов в состав радиопередатчика входят генератор несущей и модулятор. Как правило, генератор несущей и модулятор строятся по многокаскадной схеме. Кроме того, в состав радиопередающих устройств (особенно мощных) входит много другого оборудования: источники питания, средства охлаждения, автоматического и дистанционного управления, сигнализации, защиты и блокировки и пр.

Основные показатели радиопередающих устройств условно могут быть разделены на три группы: энергетические, показатели электромагнитной совместимости и качественные.

Важнейшими энергетическими показателями радиопередающего устройства являются номинальная мощность и промышленный коэффициент полезного действия. Под номинальной мощностью радиопередающего устройства P понимают среднее за период радиочастотного колебания значение энергии, подводимой к антенне. Промышленный коэффициент полезного действия КПД представляет собой отношение номинальной мощности P к общей $P_{\text{общ}}$, потребляемой от сети переменного тока радиопередающим устройством

$$\eta = \frac{P}{P_{\text{общ}}} \cdot 100\%$$

Основными показателями электромагнитной совместимости являются диапазон рабочих частот, нестабильность частоты колебаний и внеполосные излучения. Диапазоном рабочих частот называют полосу частот, в которой радиопередающее устройство обеспечивает работу в соответствии с требованиями стандарта. Под нестабильностью частоты радиопередатчика понимают отклонение частоты колебаний на его выходе за определенный промежуток времени относительно установленной частоты. Малая нестабильность (высокая стабильность) частоты позволяет ослабить помехи радиоприему. Внеполосными называют такие излучения, которые расположены

вне полосы, отведенной для передачи полезных сообщений. Внеполосные излучения являются источником дополнительных помех радиоприему. В случае подавления внеполосных излучений качество передачи сигнала не ухудшается.

По назначению радиопередающие устройства делятся на связные, радиовещательные и телевизионные. По диапазону рабочих частот радиопередающие устройства подразделяются в соответствии с классификацией видов радиоволн. В зависимости от номинальной мощности радиопередающие устройства делятся на маломощные (до 100 Вт), средней мощности (от 100 до 10 000 Вт), мощные (от 10 до 500 кВт) и сверхмощные (свыше 500 кВт).

Специфика эксплуатации позволяет выделить стационарные и подвижные радиопередающие устройства (автомобильные, самолетные, носимые и т.д.).

7.2. Классификация систем телеизмерения

В зависимости от типа информационного сигнала, используемого для передачи значений контролируемого параметра, системы ТИ подразделяют на аналоговые системы ТИ и дискретные системы ТИ.

Аналоговые системы ТИ в зависимости от расстояния между источником информации ДИ и получателем информации ПИ разделяют на системы ближнего и системы дальнего действия. Если связь ДИ и ПИ, которым является измерительный прибор диспетчерского пункта, осуществляется непосредственно через физическую линию связи, то такая система является системой ближнего действия. Дальность действия этой системы не превышает 1—2 км.

Если в схеме системы ТИ предусмотрены специальные устройства передачи и приема сигналов, обеспечивающие преобразование первичного сигнала в тональный сигнал, который затем передается по каналу связи, то такие системы ТИ называются системами дальнего действия. Характерной особенностью аналоговых систем является использование аналогового сигнала и в качестве первичного, и в качестве линейного сигналов.

Первичный сигнал датчиков информации представляет собой сигнал постоянного тока, амплитуда напряжения или тока которого однозначно связана со значением параметра измеряемого процесса.

при изменении первичного сигнала в пределах установленного шага дискретности информационный параметр линейного сигнала сохраняет свое значение и изменение его происходит только в момент, когда меняется уровень дискретизации первичного сигнала. Вполне очевидно, что в дискретных системах ТИ, используемых для передачи аналоговых первичных сигналов, в передающем устройстве ТИ должен предусматриваться преобразователь аналогового сигнала в дискретный сигнал. Если на приемном пункте в качестве ПИ используется аналоговый

измерительный прибор, в схеме приемного устройства ТИ должен быть узел преобразования дискретного сигнала в первичный аналоговый сигнал. Максимальная погрешность преобразования аналогового j сигнала по уровню (погрешность дискретности) определяется I половиной величины кванта (шага дискретности).

7.3. Кодоимпульсные системы телеизмерения

В настоящее время в энергосистемах повсеместно используются дискретные системы ТИ дальнего действия. Аналоговые системы ТИ имеют ограниченное применение. Наибольшее распространение получили дискретные ТИ кодоимпульсного типа. В кодоимпульсных системах ТИ каждому уровню первичного сигнала (измеряемого параметра) присваивается свой определенный номер, и задачей передачи результатов измерения контролируемого параметра является передача на приемное устройство ТИ номера уровня, которому соответствует контролируемый параметр в данный момент времени. Передача номера обычно ведется двоичным или двоично-десятичным кодом, элементом которого является двоичный дискретный сигнал. Для передачи используются рассмотренные выше дискретные каналы телемеханики.

Применительно к кодоимпульсным системам дискретное изменение информационного параметра линейного сигнала Y_c , показанное на рис. 7.2, в, следует рассматривать как дискретное изменение кодовой комбинации двоичных сигналов, определяющей номер измеренного уровня.

В системах ТИ с аналоговым первичным сигналом в передающем устройстве ТИ используется аналого-цифровой преобразователь. Приемное устройство ТИ может работать как с цифровым получателем информации, так и с аналоговым измерительным прибором. В последнем случае для преобразования кодовых сигналов в аналоговый используются устройства ЦАП (цифро-аналоговый преобразователь).

Здесь п должно быть кратно четырем. Достоинства кодоимпульсных систем ТИ: возможность получения высокой точности ТИ; высокая помехозащищенность, обусловленная возможностью использования помехозащищенных кодов;

отсутствие погрешности ТИ при ретрансляции по схеме код — код.

Рассмотрим основные методы преобразования, нашедшие широкое применение в кодоимпульсных устройствах ТИ.

Счетно-импульсный метод. Сущность этого метода состоит в том, что измеряемая величина преобразуется в соответствующее число импульсов, которое подсчитывается двоичным счетчиком.

При сравнении методов кодирования следует исходить из следующих их свойств: способа выдачи кода и возможности декодирования, реализуемой точности и быстродействия.

При счетно-импульсном методе код выдается по способу считывания. Преимуществом этого способа является большая свобода выбора

декодирующего устройства, недостатком — необходимость перерывов между циклами кодирования для посылки кода. Счетно-импульсный метод нельзя назвать чисто цифровым: методом, так как здесь квантуется только изменение интервала времени. Измерение же напряжения осуществляется косвенно через интервал времени, и схема, обеспечивающая преобразования напряжения в его временной эквивалент, работает на аналоговых принципах, что, естественно, ведет к увеличению погрешности. Этот метод правильнее относить к аналого-цифровому.

Компенсационный метод и метод последовательного удвоения позволяют использовать совмещенный способ выдачи кода, при этом имеется строго определенный порядок кодовых импульсов — по удвоению «весов».

Все методы кодирования позволяют производить последовательную посылку кода, а параллельная посылка может быть произведена только при наличии в устройстве специальной памяти.

Точность метода кодирования можно характеризовать реализуемым числом различных дискретных уровней, которое в каждом методе ограничивается определенными факторами.

7.4. Измерительные преобразователи

Измерительные преобразователи предназначены для преобразования измеряемого параметра контролируемого процесса в унифицированный первичный сигнал (обычно токовый) с пределами изменения от 0 до 5 мА, от —5 до +5 мА. Первый тип измерительных преобразователей (ИП) называется неперверсивным и предназначается для преобразования измеряемых величин, не меняющих направления.

В системах телеизмерения ближнего действия выход ИП подключается к линии, в системах ТИ дальнего действия сигнал с выхода ИГ1 подается на вход передающего устройства ТИ.

В ряде случаев в выходную цепь ИП могут быть включены суммирующие преобразователи устройства противоаварийной автоматики, развивающиеся усилители и другие элементы. Общее суммарное сопротивление нагрузки на выходных зажимах ИП не должно превышать 2,5 кОм. К ИП предъявляются высокие требования надежности и достоверности. Погрешность преобразования современных ИП лежит в пределах 0,25—1%. Принцип действия ИП целесообразно рассмотреть на примере простейшего преобразователя тока ВПТ-4 и достаточно сложного преобразователя активной (реактивной) мощности типа Е728. Входная цепь преобразователя представляет собой первичную обмотку вспомогательного трансформатора тока ТТ. Вторичная дифференциальная обмотка ТТ совместно с диодами *VD1*, *VD2* и фильтром.

7.5. Суммирование значений измеряемых величин

При телеизмерении часто необходимо иметь сумму каких-либо величин, например сумму активной мощности нескольких электрических станций или суммарную мощность всех генераторов станции и т. д. Суммирование может производиться на передающей либо на приемной стороне, при этом суммируются не показания мощностей, а вспомогательные величины.

Методы суммирования различаются в зависимости от типа первичного датчика и от вида параметра, в который преобразуется измерение: может быть суммирование вращающихся моментов, угловых перемещений, токов, напряжений, числа импульсов и т. п. Наибольшее распространение получили методы суммирования токов и напряжений. Суммируются, как правило, постоянные или выпрямленные токи и переменные напряжения. Метод сложения токов является основным для суммирования значений измеряемых величин на приемной стороне в тех случаях, когда измеряемые параметры преобразуются в ток. Этот метод наиболее прост и может быть применен для практически неограниченного числа слагаемых. Метод сложения постоянных напряжений в основном применяется для суммирования значений

Лекция 8

8. Система передачи данных

8.1. Основные требования к системам связи

Информация - сведения о каких-либо процессах, событиях, фактах или предметах. Известно, что 80..90% информации человек получает через органы зрения и 10..20% - через органы слуха. Другие органы чувств дают в сумме 1..2% информации. Физиологические возможности человека не позволяют обеспечить передачу больших объемов информации на значительные расстояния.

Связь - техническая база, обеспечивающая передачу и прием информации между удаленными друг от друга людьми или устройствами. Аналогия между связью и информацией такая же, как у транспорта и перевозимого груза. Средства связи не нужны, если нет информации, как не нужны транспортные средства при отсутствии груза.

Сообщение - форма выражения (представления) информации, удобная для передачи на расстояние. Различают *оптические* (телеграмма, письмо, фотография) и *звуковые* (речь, музыка) сообщения. *Документальные* сообщения наносятся и хранятся на определенных носителях, чаще всего на бумаге. Сообщения, предназначенные для обработки на ЭВМ, принято называть *данными*.

Информационный параметр сообщения - параметр, в изменении которого "заложена" информация. Для *звуковых* сообщений информационным параметром является мгновенное значение звукового давления, для *неподвижных* изображений - коэффициент отражения, для *подвижных* - яркость свечения участков экрана.

По характеру изменения информационных параметров различают непрерывные и дискретные сообщения.

Сигнал - физический процесс, отображающий передаваемое сообщение. Отображение сообщения обеспечивается изменением какой-либо физической величины, характеризующей процесс. Эта величина является *информационным параметром сигнала*.

Сигналы, как и сообщения, могут быть *непрерывными* и *дискретными*. Информационный параметр непрерывного сигнала с течением времени может принимать любые мгновенные значения в определенных пределах. Непрерывный сигнал часто называют *аналоговым*. Дискретный сигнал характеризуется конечным числом значений информационного параметра.

Часто этот параметр принимает всего два значения. На Рис. 8.1 показаны виды аналогового и дискретного сигналов.

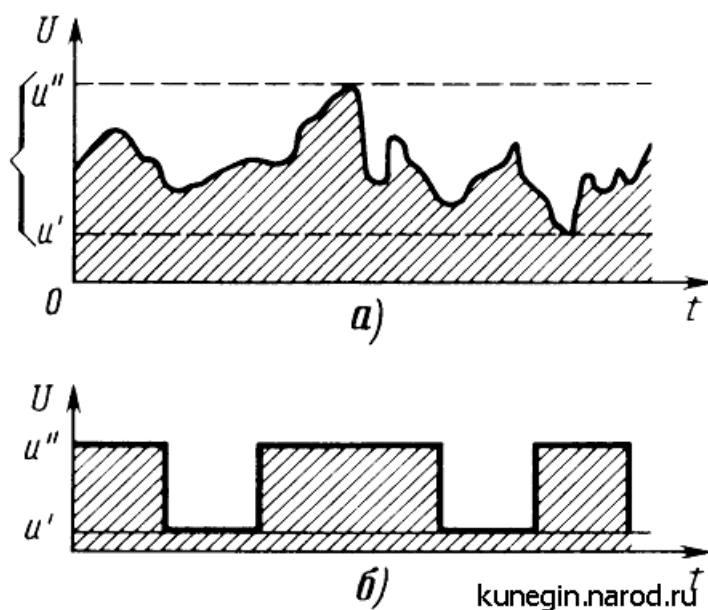


Рис. 8.1. Виды сигналов: а - аналогового, б - дискретного

В дальнейшем будем рассматривать принципы и средства связи, основанные на использовании электрической энергии в качестве переносчиков сообщений, т.е. *электрических сигналов*. Выбор электрических сигналов для переноса сообщений на расстояние обусловлен их *высокой скоростью распространения* (около 300 км/мс).

8.2. Коммуникационная топология

Под коммутацией понимается замыкание, размыкание и переключение электрических цепей. Коммутация осуществляется на коммутационных узлах. На сетях электросвязи посредством коммутации абонентские устройства соединяются между собой для передачи (приема) информации. Абонентские устройства в некоторых случаях называют окончными устройствами сети. Коммутация осуществляется на коммутационных узлах (КУ), являющихся составными частями сети электросвязи.

Абонентские устройства сети соединяются с КУ абонентскими линиями (АЛ). КУ, находящиеся на территории одного города (населенного пункта), соединяются соединительными линиями (СЛ). Если коммутационные узлы находятся в разных городах, то линии связи, соединяющие их, называются междугородными или внутризоновыми.

Коммутационный узел, в который включаются абонентские линии, называется коммутационной станцией или просто станцией. В некоторых

случаях абонентские линии включаются в подстанции (ПС). Лицо, пользующееся абонентским устройством для передачи и приема информации, называется абонентом. Для передачи информации от одного абонентского устройства сети к другому требуется установить соединение между этими устройствами через соответствующие узлы и линии связи. Для осуществления соединения на коммутационных узлах устанавливается коммутационная аппаратура.

Совокупность линейных и станционных средств, предназначенных для соединения оконечных абонентских устройств, называется соединительным трактом. Число коммутационных узлов между соединяемыми абонентскими устройствами зависит от структуры сети и направления соединения.

Для осуществления требуемого соединения коммутационный узел и абонентское устройство обмениваются управляющими сигналами.

На КУ соединение может устанавливаться на время, необходимое для передачи одного сообщения (например, одного телефонного разговора), или на длительное время, превышающее время передачи одного сообщения. Коммутация первого вида называется оперативной, а второго - кроссовой (долговременной).

8.3. Методы связи

Условная классификация современных видов электросвязи показана на Рис. 3.6. Все виды электросвязи по типу передаваемых сообщений могут быть разделены на предназначенные для передачи *звуковых* сообщений, *оптических* сообщений в виде *подвижных* изображений, *оптических* сообщений в виде *неподвижных* изображений и сообщений между ЭВМ. В зависимости от назначения сообщений виды электросвязи могут быть разделены на предназначенные для передачи сообщений *индивидуального* и *массового* характера.

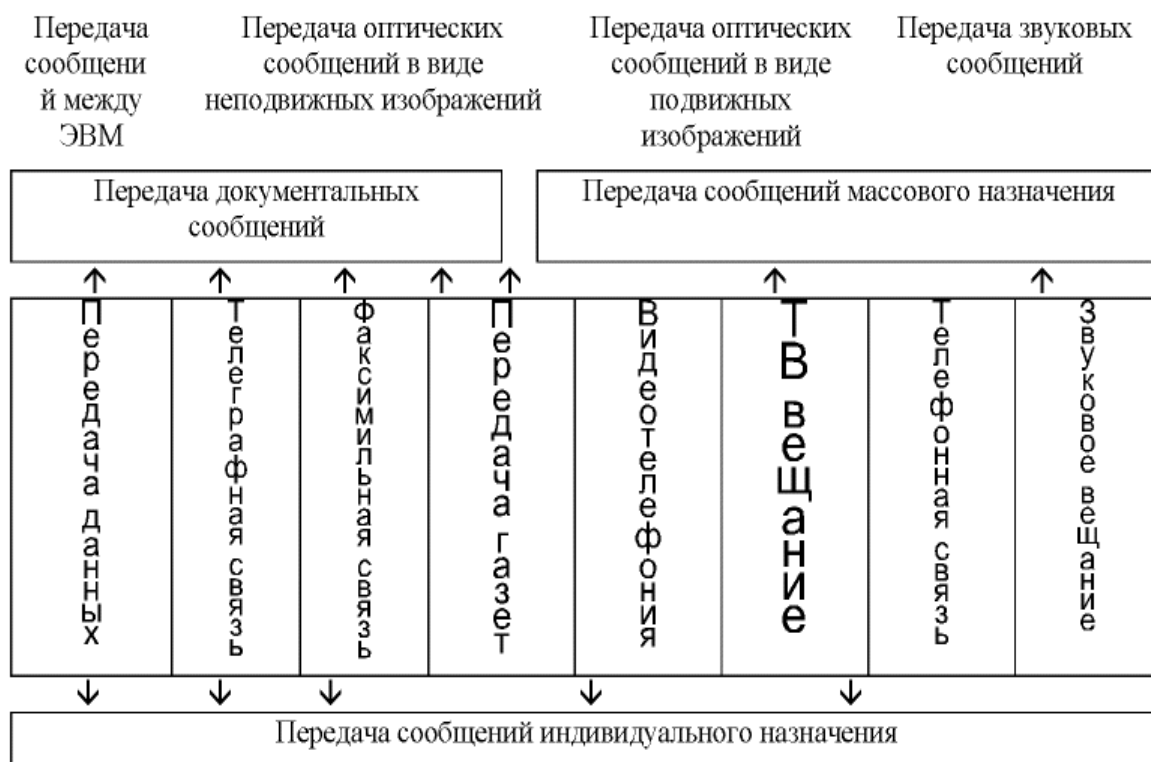


Рис. 8.2. Современные виды электросвязи

Приведенная на Рис. 8.2 классификация достаточно условна, поскольку в последнее время наметилась тенденция объединения видов электросвязи в *единую интегральную систему* на основе цифровых методов передачи и коммутации для передачи всех видов сообщений.

8.4. Принципы управления доступом к среде передачи данных

Физические принципы, в соответствии с которыми функционирует оборудование, не слишком сложны. По методу получения доступа к среде передачи, их можно разделить на два класса - детерминированные и недетерминированные.

При детерминированных методах доступа передающая среда распределяется между узлами с помощью специального механизма управления, гарантирующего передачу данных узла в течение некоторого интервала времени.

Наиболее распространенными (но далеко не единственными) детерминированными методами доступа являются метод опроса и метод передачи права. Метод опроса мало применим в локальных сетях, но широко используется в промышленности для управления технологическими процессами.

Метод передачи права, наоборот, удобен для передачи данных между компьютерами. Принцип работы состоит в передаче по сети с кольцевой логической топологией служебного сообщения - маркера.

Получение устройством маркера предоставляет ему право на доступ к разделяемому ресурсу. Выбор у рабочей станции в этом случае ограничен лишь двумя вариантами. В любом случае она должна отправить маркер следующему по очереди устройству. Причем сделать это после доставки данных адресату (при их наличии), или сразу (при отсутствии информации, нуждающейся в передаче). На время прохождения данных маркер в сети отсутствует, остальные станции не имеют возможности передачи и коллизии невозможны в принципе. Для обработки возможных ошибок, в результате которых маркер может быть утерян, существует механизм его регенерации.

Недетерминированные - случайные методы доступа. Предусматривают конкуренцию всех узлов сети за право передачи. Возможны одновременные попытки передачи со стороны нескольких узлов, в результате чего возникают коллизии.

Наиболее распространенным методом такого типа является CSMA/CD (carrier-sense multiple access/collision detection) - множественный доступ с контролем несущей / обнаружением коллизий. Перед началом передачи данных устройство "прослушивает" сеть, чтобы убедиться, что никто больше ее не использует. Если среда передачи в данный момент кем-то используется, адаптер задерживает передачу, если же нет, то начинает передавать.

В том случае, когда два адаптера, обнаружив свободную линию, начинают передачу одновременно, происходит коллизия. При ее обнаружении обе передачи прерываются, и устройства повторяют передачу спустя некоторое случайное время (естественно, предварительно опять "прослушав" канал на предмет занятости). Для получения информации устройство должно принимать все пакеты в сети, чтобы определить, не оно ли является адресатом.

Лекция 9

9. Коммуникационные протоколы передачи данных в электроэнергетике

9.1. Протокол распределенной сети (DNP V3.0)

Коммуникационный протокол DNP3 (Distributed Network Protocol - Распределенный Сетевой Протокол) разработан для расширения возможностей взаимодействия между устройствами и системами управления в энергетической, нефтегазовой отраслях, в системах водоснабжения и системах безопасности. Это гибкий, открытый и многоуровневый протокол, который обеспечивает более высокую целостность передаваемых данных, чем обычные коммуникационные протоколы. DNP3 можно применять на разных уровнях SCADA-систем, как для связи ПЛК с ПЭВМ, так и для связи между устройствами одного уровня в режиме «точка-точка».

Поддержкой и развитием протокола DNP3 занимается группа DNP3 User Group (www.dnp.org).

Достоинства и возможности DNP3

Контроллеры SCADAPack успешно используются в разных приложениях во многих отраслях промышленности. Применение удобного для использования DNP3 интерфейса позволяет быстро встраивать контроллеры SCADAPack в разнообразные системы контроля и управления. Этому способствуют возможности протокола, которые включают:

- Отправку инициативных сообщений при изменении значений параметров
- Передачу информации с учетом Приоритетов
- Широковещательную рассылку сообщений
- Ведомые устройства могут посылать сообщения нескольким Ведущим устройствам
- Формирование событий с меткой времени
- Хранение данных – до 10.000 событий в контроллере SCADAPack100 и более 30.000 событий в контроллере SCADAPack32
- Расширенную адресацию ПЛК – до 65.535 ПЛК
- Возможность использовать при передаче сообщения большого размера
- Удаленное конфигурирование ПЛК
- Профили настройки DNP3 поставляются с оборудованием

Конфигурация

В программные среды разработки TelePACE, ISaGRAF встроен простой и понятный диалог конфигурирования протокола DNP3. Уровни приложений и данных, периоды опроса, режимы имитации и отображения адресного пространства, маршрутизация сообщений, а также настройка обработки каждой точки ввода/вывода - все настраивается с помощью этого интерфейса.

Большинство приложений DNP3 могут быть сконфигурированы при помощи этого диалога, исключая необходимость в дополнительном программировании.

Приложения TelePACE, ISaGRAF, RealFLO и Firmware Loader поддерживают DNP-соединения с контроллерами.

Используя DNP-соединение, можно загрузить фирменное ПО контроллера и прикладные программы, а также просмотреть их выполнение в режиме отладки.

Дополнительные функции DNP3

При необходимости можно использовать пользовательские логические функции DNP3. Эти функции позволяют приложениям ПЛК инициировать различные DNP-события, включая опросы классов данных, синхронизацию времени, и формирование инициативных ответных сообщений. Другой комплект дополнительных функций позволяет ПЛК получить доступ к диагностической информации DNP, такой как: состояние соединения DNP, число событий по типу и классу данных, статистика обмена по портам и станциям.

Режим Ведомый - Slave

Все ПЛК SCADAPack и вычислитель расхода газов поддерживают режим DNP3-Ведомый (DNP3-slave).

В режиме DNP3-slave, контроллер передает DNP-мастеру по запросам статические данные (Class 0) и данные по событиям (Class 1, 2, 3). PLC может посылать инициативные сообщения и маршрутизировать сообщения других DNP-устройств.

Инициативные сообщения

Важной особенностью DNP3 является возможность PLC генерировать отправку незапрошенных (unsolicited) сообщений Ведущему ПЛК /ПК по собственной инициативе. Разбиение данных по уровню приоритета позволяет назначить правила передачи сообщений для каждого класса объектов (1, 2, 3 классы).

Правила передачи сообщений для классов объектов включают в себя:

- Разрешение/Запрет передачи инициативных сообщений
- Настройку интервала между сеансами передачи данных
- Настройку счетчика максимального количества событий в ПЛК, после накопления которых начинается передача данных

Классы объектов

Классификация объектов данных дает возможность осуществлять управление содержимым передаваемых сообщений и отправлять сообщения в соответствии с приоритетами данных, определенными пользователем. Класс данных присваивается независимо от уровня приоритета данных. Классы объектов могут быть, к примеру, сконфигурированы со следующей структурой приоритетов:

- Class 1 – высший приоритет
- Class 2 – средний приоритет
- Class 3 – низкий приоритет

Class 0 является указанием мастеру для опроса всех объектов данных DNP. Это мгновенные текущие значения параметров. Мастер опрашивает объекты данных Class 0 не часто и при перезапуске контроллеров DNP (Ведущих и Ведомых).

Ethernet и Последовательное соединение

DNP3 полностью поддерживается на всех коммуникационных RS232 и RS485 портах контроллера SCADAPack и Ethernet TCP/IP портах контроллеров SCADAPack 32, SCADAPack2, SCADAPack ES и SCADAPack ER.

9.2. Протокол передачи данных Modbus

В протоколе Modbus устройства (процессоры) осуществляющие обмен между собой делятся на ведущие и ведомые (Master и Slave), что не позволяет ведомым устройствам передавать данные по мере их появления и требует интенсивного опроса ведомых устройств ведущим.

Разновидностями Modbus являются протоколы Modbus Plus - многомастерный протокол с кольцевой передачей маркера и Modbus TCP, рассчитанный на использование в сетях Ethernet и Интернет. Сам же протокол Modbus имеет два режима передачи: RTU (Remote Terminal Unit – «удаленное терминальное устройство») и ASCII. Стандарт предусматривает, что режим RTU в протоколе Modbus должен присутствовать обязательно, а режим ASCII является опционным.

В данной статье будем описывать протокол Modbus RTU, как наиболее широко применяемый в промышленных микропроцессорных исполнениях.

Стандарт Modbus RTU предусматривает применение физического интерфейса RS-485, RS-422 или RS-232. Наиболее распространенным для организации промышленной сети является 2-проводной интерфейс RS-485, т.к. позволяет наиболее удаленную передачу без использования повторителей. Для соединений точка-точка на коротки расстояния (как правило, не более 1-2 метров) может быть использован интерфейс RS-232 или RS-422.

Организация сети

Протокол Modbus позволяет создать промышленную сеть из одного ведущего устройства и до 247 ведомых (модулей ввода-вывода). Обмен данными всегда инициируется ведущим устройством, а ведомые не начинают передачу данных, пока не получают запрос от ведущего. Ведомые устройства не могут обмениваться данными друг с другом. В любой момент времени в сети Modbus может происходить только одна операция обмена.

Адреса с 1 по 247 являются адресами Modbus ведомых устройств в сети, адреса с 248 по 255 зарезервированы, не должно быть два одинаковых адреса в одной сети. Ведущее устройство не должно иметь адреса. Ведущее устройство может посылать запросы как одному устройству, так и всем устройствам одновременно ("широковещательный режим"). Для широковещательного режима используется адрес "0", при этом посылка принимается всеми ведомыми устройствами.

Описание посылки (кадра) протокола Modbus

В протоколе Modbus RTU сообщение воспринимается как новое после паузы (тишины) в шине длительностью не менее 3,5 символов (14 бит), величина паузы в секундах зависит от скорости передачи.

Общая структура посылки (кадра) запроса по протоколу Modbus имеет следующий вид:

Адрес ведомого устройства	№ функции	Данные	Контрольная сумма
---------------------------	-----------	--------	-------------------

где

- Адрес ведомого устройства – адрес подчинённого устройства, к которому адресован запрос. Ведомые устройства отвечают только на запросы, поступившие в их адрес. Ответ также начинается с адреса отвечающего ведомого устройства;
- № функции – это следующее однобайтное поле кадра. Оно говорит ведомому устройству, какие данные или выполнение какого действия требует от него ведущее устройство;
- Данные – поле содержит информацию, необходимую ведомому устройству для выполнения заданной мастером функции или содержит данные, передаваемые ведомым устройством в ответ на запрос ведущего. Длина и формат поля зависит от номера функции;
- Контрольная сумма – контрольная сумма для проверки отсутствия ошибок в кадре.

Максимальный размер посылки для последовательных сетей RS232/RS485 – 256 байт.

Структура данных в протокола Modbus RTU

В протоколе Modbus RTU данные передаются байтами младшим разрядами вперед с добавлением контрольных битов (стартовый, стоповый биты и бит четности).

По умолчанию в RTU режиме бит четности (паритета) устанавливают равным 1, если количество двоичных единиц в байте нечетное, и равным 0, если оно четное. Такой паритет называют четным (even parity), а метод контроля называют контролем четности. При четном количестве двоичных единиц в байте бит паритета может быть равен 1. В этом случае говорят, что паритет является нечетным (odd parity).

Стартовый бит	1 (младший разряд)	2	3	4	5	6	7	8	Бит четности (паритета)	Стоповый бит
---------------	-----------------------	---	---	---	---	---	---	---	----------------------------	--------------

Контроль четности может отсутствовать, в этом случае вместо бита паритета должен использоваться второй стоповый бит.

Структура сообщения протокола Modbus RTU

Сообщения Modbus RTU передаются в виде кадров, для каждого из которых известно начало и конец. Признаком начала кадра является пауза (тишина) продолжительностью не менее 3,5 шестнадцатеричных символов (14 бит). Кадр должен передаваться непрерывно. Если при передаче кадра обнаруживается пауза продолжительностью более 1,5 шестнадцатеричных символа (6 бит), то считается, что кадр содержит ошибку и должен быть отклонен принимающим модулем. Эти величины пауз должны строго соблюдаться при скоростях ниже 19200 бит/с, однако больших скоростях рекомендуется использовать фиксированные значения пауз, 1,75 мс и 750 мкс соответственно.

Контроль ошибок

В режиме RTU имеется два уровня контроля ошибок в сообщении:

- контроль четности для каждого байта (опционально);
- контроль кадра в целом с помощью метода подсчета контрольной суммы (CRC) метода.

CRC метод используется независимо от проверки четности. Значение CRC устанавливается в ведущем устройстве перед передачей. При приеме сообщения вычисляется контрольная сумма всего сообщения (без учета принятой контрольной суммы) и сравнивается с его значением, указанным в поле CRC кадра. Если оба значения совпадают, считается, что сообщение не содержит ошибки.

Стартовые, стоповые биты и бит четности в вычислении CRC не участвуют.

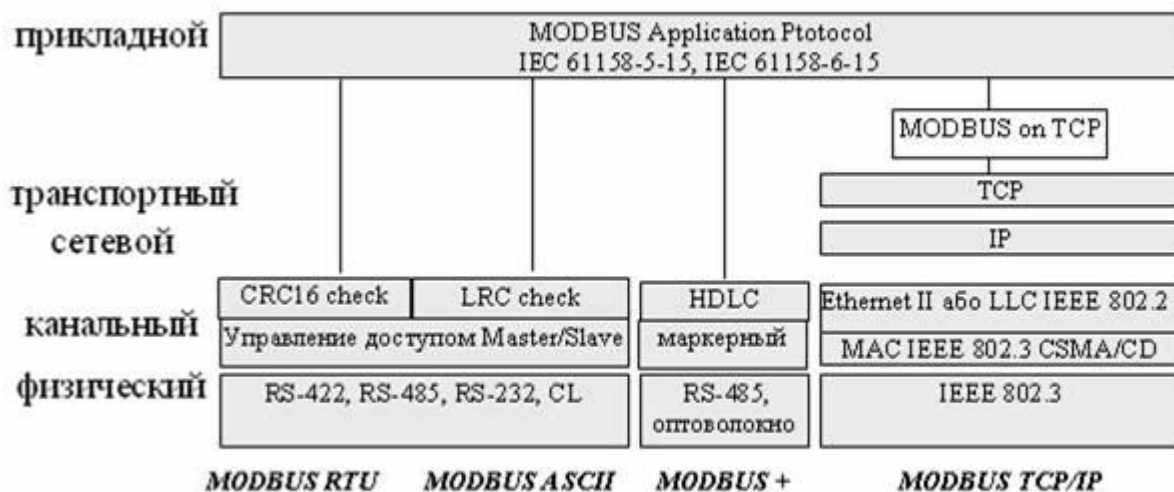
9.3. Протокол передачи данных Modbus Plus

Modbus Plus представляет собой сетевой протокол обмена данными, разработанный компанией Modicon (ныне входит в состав Schneider Electric). Структура сообщений Modbus Plus идентична cRTU спецификацией, однако является более надежной и быстродействующей.

Modbus Plus имеет одинаковый с RTU, ASCII и TCP спецификациями прикладной уровень сетевой модели OSI, что позволяет использовать их совместно при обработке данных пользователя.

Modbus Plus использует метод передачи данных либо формата «точка-точка», либо мультимастерный с передачей маркера. Таким образом, сети, построенные на этом протоколе обмена, являются одноранговыми, любое устройство может быть как ведущим, так и ведомым, а так же инициировать обмен данными.

Физический уровень протокола **Modbus Plus** может быть представлен либо RS-485 интерфейсом, либо оптоволоконном.



MODBUS в контексте OSI-модели

Именно различие физического уровня и метода передачи данных, не позволяет коммутировать **Modbus Plus** с другими версиями протокола. Однако, именно это отличие и влияет на повышение скорости передачи данных и надежности системы обмена.

Размер сети построенной на **Modbus Plus** может достигать 32 или 64 устройств без или с использованием репитеров соответственно. Скорость передачи данных достигает 2 Мбит/с. Протяженность линий связи до 500 м без репитеров/2000 м с репитерами/ более 2000 м с использованием оптоволокна как физического уровня.

Среди дополнительных функций **Modbus Plus** стоит выделить наличие общей базы транзакций, возможности сканирования сети, чтение и запись отдельных регистров, а так же возможность маршрутизации до 6 сетей.

9.4. Протокол передачи данных LonTalk

Протокол LonTalk является важнейшей составной частью (наряду с физической реализацией специализированного микропроцессора **Neuron Chip**) сетевой технологии *LonWorks*, основная задача которой – объединение в одну сеть самых различных систем и устройств автоматики, без использования интеллектуальных устройств и сетевых конвертеров. Не стоит полагать, что *LonTalk* и *LonWorks* – это одно и то же. В то время как **LonTalk** является сетевым протоколом обмена данными, *LonWorks* включает в себя множество оборудования и программного обеспечения, интерфейсов, средств управления и пр.

Протокол LonTalk построен и использует все 7 уровней сетевой модели **OSI**. Собственно, схемная часть и специализированная прошивка реализованы на базе кремниевого чипа **Neuron Chip**, представляющего собой вышеназванный специализированный микропроцессор. Помимо собственно реализации протокола обмена данными, Neuron Chip выполняет функции цифро-аналоговых и аналогово-цифровых преобразований и выполнения внутренних программ устройства, на которое Neuron Chip установлен. Чипы разрабатываются эксклюзивно компаниями Motorola и Mitsubishi, имеют уникальный в мире 12-значный идентификатор Neuron ID для обнаружения новых сетевых устройств.

Протокол LonTalk поддерживает ряд функций, среди которых:

- Подтверждение транзакции
- Определение отправителя сообщения
- Приоритетная передача данных
- Поиск и обнаружение дубликатов сообщений протокола LonTalk
- Предотвращение конфликтов передачи
- Три вида адресации: конкретная, многопунктовая и широковещательная
- Поиск и обнаружение ошибок

Протокол LonTalk может быть реализован на базе кабеля витой пары, силового кабеля, радиочастот, инфракрасных луче, оптоволокну и коаксиального кабеля.

Канал связи *протокола LonTalk* может содержать в себе до 32 385 устройств, и при этом состоять из нескольких каналов связи, что оптимизирует загрузку сети, посредством ограничения потока.

Скорость канала протокола LonTalk может быть запрограммирована на различную величину, однако физические ограничения лежат в интервале от 0,6 кбит/с до 1,25 мбит/с.

Структура *сети LonWorks* определяется каналом и сегментом сети. Главным в иерархии адресации выступает домен сети. Он может включать в себя до 255 подсетей. Подсеть может нести в себе до 127 узлов. Как было замечено выше, в сетях *LonWorks*, при поддержке протокола *LonTalk* возможно наличие до 32 385 устройств или узлов.

9.5. Протокол передачи данных Ethernet

Протокол Ethernet/IP (Industrial Ethernet Protocol) разработан на основе CIP (Common Interface Protocol) — протокола, по которому осуществляется объединение отдельных компонентов в единый модуль. Протокол EtherNet/IP обеспечивает передачу критичных ко времени доставки данных между управляющим устройством и устройствами ввода-вывода, а также обмен в сети Internet. Некритичные ко времени данные пересылаются через стек TCP, а доставка критичных ко времени данных осуществляется через стек UDP. Протокол Profinet IO предназначен для обмена с периферийными устройствами и создания модульных распределённых систем ввода-вывода, в которых пользователь сам задаёт способ и параметры каскадирования блоков. Некритичные ко времени данные передаются по протоколу TCP/IP, а критичные — по протоколу IRT для обеспечения обмена в режиме реального времени. Для оптимизации связи всем пакетам присваиваются приоритеты согласно IEEE 802.1p. Данные, пересылаемые в реальном масштабе времени, должны иметь высший приоритет. Протокол Profinet IO используется в основном в системах управления перемещением с применением специальных коммутаторов

Ethernet/Profinet

Irt.

Протокол Modbus-TCP представляет собой реализацию сети Modbus на основе Ethernet-TCP/IP. Сети Modbus используются для связи промышленных электронных устройств. При пересылке данных кадр Modbus вставляется в кадр Ethernet. Проверка контрольной суммы при получении пакета не производится. Modbus-TCP характеризуется повышенной скоростью передачи данных, имеет более широкое адресное пространство и возможность обмена через Internet.

Ethernet Powerlink (EPL) является расширением Ethernet IEEE802.3 и обеспечивает возможность передачи данных в масштабе реального времени в микросекундном диапазоне. EPL гарантирует передачу критичных по времени данных и обеспечивает синхронизацию всех сетевых узлов в субмикросекундном диапазоне. Передача менее критичных по времени данных происходит в резервном асинхронном канале. Для передачи критичных по времени данных используется дополнительный стек Powerlink. Обмен осуществляется с помощью технологии SCNM (Slot Communication Network Management), которая для каждой станции в сети определяет приоритет и временной интервал для передачи данных. В каждый временной интервал только одна станция имеет полный доступ к сети, что позволяет избавиться от коллизий и обеспечить детерминированность в работе. В дополнение к этим индивидуальным интервалам времени для изохронной передачи данных SCNM обеспечивает общие интервалы времени для асинхронной передачи данных.

Стандарт SERCOS-III представляет собой адаптацию протокола SERCOS под сеть Ethernet. SERCOS (SErial Real-Time COmmunication System) — цифровой последовательный интерфейс с разделением по времени, предназначенный для использования в системах контроля движения. В отличие от рассмотренных интерфейсов с топологией, полевая шина

SERCOS является разветвлённой линейной сетью, обеспечивая не только контроль устройств нижнего уровня (датчиков, стартеров и инверторов), но и связь с устройствами ввода-вывода. Некритичные ко времени данные, как и в предыдущих случаях, передаются по протоколу TCP/IP. Для передачи критичных ко времени данных в протоколе SERCOS-III используется тот же механизм обеспечения работы в масштабе реального времени, что и в SERCOS.

Топология SERCOS-III имеет две разновидности: двойное кольцо и шина. В первом случае сеть характеризуется повышенной надёжностью и стойкостью к обрыву линии, а во втором — минимальной длиной кабеля. Протокол EtherCAT (Ethernet for Control Automation Technology) предназначен для контроля технологического процесса. Инициатор обмена — мастер шины EtherCAT. Он посылает по сети один пакет, который поочередно обходит все устройства. При этом каждый абонент прочитывает его и вносит свои данные технологического процесса. Таким образом, за счёт циркулирования только одного общего пакета значительно снижается нагрузка сети и задержка, вносимая каждым узлом, поскольку в случае обмена индивидуальными пакетами абонент затрачивает больше времени на приём, проверку, обработку и отправку данных. Сеть EtherCAT может иметь любую топологию, однако принцип работы у неё всегда кольцевой за счёт дуплексного обмена.

9.6. Протокол передачи данных TCP/IP

Как уже упоминалось ранее, NetWare обеспечивает поддержку стандартного протокола TCP/IP. Он устанавливается на сервере в виде NLM. Целью разработки TCP/IP было создание набора протоколов, обеспечивающих взаимодействие различных хост-систем. В 1983 г. TCP/IP стал официальным протоколом сети Internet Министерства обороны США. Эта объединённая сеть была разработана, чтобы связать участвующие в государственных и научно-исследовательских проектах компьютеры по всем США и в Европе.

Рабочие станции с TCP/IP (где работает продукт LAN WorkPlace) могут взаимодействовать непосредственно с рабочими станциями Sun, машинами VAX, Macintosh, мини-ЭВМ и большими ЭВМ, связанными с ними сетевым кабелем. NetWare-сервер, где работает TCP/IP, может при необходимости маршрутизировать эти пакеты (в зависимости от расположения систем с TCP/IP).

TCP/IP состоит из протокола транспортного уровня TCP и сетевого протокола IP. IP содержит целевой адрес пакетов и интерфейсы с уровнем TCP. TCP, аналогично SPX, обеспечивает гарантированную связь. Верхний уровень TCP/IP состоит из следующих протоколов (имеющих важное значение для рабочих станций, имеющих доступ к системам TCP/IP):

- Сетевой файловой системе NFS - совместно используемой и распределенной файловой системы Unix. Первоначально она была разработана фирмой Sun Microsystems.
- Протокола SNMP (Simple Network Management Protocol). Это сетевой управляющий протокол, включающий информацию о сети и передающий ее администраторам.
- Протокол передачи файлов FTP (File Transfer Protocol) позволяет передавать данные между рабочей станцией и хост-системой Unix или Novell NetWare NFS.
- Протокол SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) - это простой протокол для электронного обмена сообщениями.
- Telnet обеспечивает эмуляцию терминалов vt100 и vt330 фирмы DEC.

В мире сетей доминируют протоколы TCP/IP и IPX. Оба эти протокола имеют свои преимущества, но TCP/IP лучше подходит для организации межсетевого взаимодействия. При использовании IPX синхронизированные таблицы маршрутизации должны поддерживаться с помощью протокола RIP (Routing Information Protocol). Все таблицы должны передаваться по сети, что может значительно уменьшить производительность глобальных сетей, использующих телефонные линии или сети передачи данных. TCP/IP не обязательно должны иметь эти средства маршрутизации, и в этом преимущество данных протоколов. Независимыми разработчиками были созданы специализированные маршрутизаторы с продвинутыми средствами, отвечающие потребностям TCP/IP.

TCP/IP несложно реализовать в сети NetWare. Для загрузки описанных ниже модулей можно использовать программу INSTALL NetWare:

- TCPIP.NLM обеспечивает средства протокола TCP/IP.
- SNMP.NLM обеспечивает поддержку функций SNMP. Если он не загружен, то TCPIP.NLM автоматически загружает его.
- TCPCON.NLM представляет собой консольный модуль, обеспечивающий централизованное управление статистикой протокола TCP/IP. Он может использоваться для обновления таблиц маршрутизатора, упреждения IP и просмотра статистики по системе, поддерживающей базу данных SNMP Management Information Base (MIB).
- Модуль SNMPLOG.NLM позволяет средству регистрации событий SNMP перехватывать информацию о событиях SNMP.

9.7. Протокол передачи данных PROFIBUS

Открытость и независимость от производителя гарантирует стандарт EN 50170, всё остальное реализовано в соответствии со стандартом DIN 19245 (а именно: техника передачи данных, методы доступа, протоколы передачи, сервисные интерфейсы для уровня приложений,

спецификация протоколов, кодирование, коммуникационная модели т. д.). С помощью Profibus, устройства разных производителей могут работать друг с другом без каких-либо специальных интерфейсов. Семейство Profibus состоит из трех совместимых друг с другом версий: Profibus PA, Profibus DP и Profibus FMS.

Благодаря тестам на совместимость, проводимых испытательными лабораториями, авторизированными PROFIBUS International и сертификации устройств PNO, пользователь может быть абсолютно уверен в том, что качество и функциональность обеспечены даже в установках с оборудованием разных изготовителей.

Варианты PROFIBUS

PROFIBUS FMS (Fieldbus Message Specification) – универсальное решение для коммуникационных задач на полевого уровня и уровне ячеек промышленной иерархии коммуникаций.

PROFIBUS PA (Process Automation) – вариант шины для применений в области автоматизации технологических процессов.

PROFIBUS PA использует взрывобезопасную технологию передачи данных, определённую в IEC 61158-2.

PROFIBUS DP (Distributed I/Os) – этот оптимизированный по скорости вариант, разработанный специально для коммуникации систем автоматизации с децентрализованными станциями периферийных устройств и приводами. PROFIBUS DP отличаются следующие параметры:

- очень короткое время реакции
- высокая помехоустойчивость

PROFIBUS DP заменяет дорогостоящую технику параллельной передачи сигналов уровня 24 В и технику передачи результата измерения 0/4 – 20 мА.

PROFIBUS и SIMOTION

SIMOTION использует шину PROFIBUS и протокол PROFIBUS DP.

Дизайн

Участники шины

PROFIBUS DP различает 2 различных класса ведущих устройств (Master) и один класс ведомых устройств (Slave):

Ведущее устройство DP, класс 1:

Ведущее устройство класса 1 является центральным компонентом в PROFIBUS DP. Центральная станция ведущего устройства обменивается информацией с распределёнными станциями (ведомые DP) с фиксированным циклом сообщений.

Ведущее устройство DP, класс 2:

Устройства данного типа (устройства программирования, конфигурирования и управления) используются во время ввода в эксплуатацию, конфигурирования DP-системы, для диагностики и управления при нормальной работе. Ведущее устройство DP класса 2 можно использовать, например, для чтения входов, выходов, для

диагностирования и конфигурирования данных ведомых устройств.

Ведомое устройство DP:

Ведомое устройство DP - это устройство ввода/вывода, которое получает выводимые данные или задания от ведущего устройства DP и посылает ему в качестве ответа информацию о входах, измеренные и текущие значения.

Ведомое устройство DP никогда не посылает данные самостоятельно, а только по запросу от ведущего устройства DP.

Объём входных и выходных данных зависит от устройства, может быть максимально 244 байт на одно ведомое устройство и передаётся напрямую.

Функции

Функции PROFIBUS DP

Набор функций может отличаться для ведущих и ведомых устройств DP. Набор функций разделяется на DP-V0, DP-V1 и DPV2.

DP-V0:

Функции ведущего устройства состоят из функций «Конфигурирование», «Назначение параметров», «Чтение диагностических данных», а также функций циклического чтения входных/текущих значений и запись выходных/заданных значений.

DP-V1:

Функциональные расширения DP (DP-V1) позволяют выполнять также ациклические функции чтения и записи параллельно выполнению циклического обмена. Этот тип ведомых устройств должен снабжаться расширенными данными параметрирования во время пуска, а также во время работы. Эти ациклически передаваемые данные параметрирования изменяются редко по сравнению с циклически передаваемыми заданиями, истинными значениями и результатами измерения, и передаются с более низким приоритетом параллельно к высокоскоростной передаче данных. Таким образом можно передавать подробные данные диагностирования.

DP-V2:

Функциональные расширения ведущих устройств DP (DP-V2) охватывает главным образом тактовую синхронизацию и прямой обмен данными между ведомыми устройствами DP.

Тактовая синхронизация реализуется применением постоянного сигнала синхронизации на шине. Этот циклический, эквидистантный такт посылается ведущим устройством всем участникам шины в качестве глобальной телеграммы управления DP. Ведущие и ведомые устройства могут синхронизировать свои приложения по этому сигналу. Дрожание сигнала синхронизации от цикла к циклу не более 1 мкс.

Прямой обмен данными между ведомыми устройствами реализуется на основе модели «Издатель/Подписчик». «Издатель» предоставляет свои входные/истинные данные и результаты измерений другим ведомым устройствам, «Подписчикам», для чтения.

Это осуществляется посылкой широковещательной телеграммы в качестве

ответа ведущему устройству, т.е. обмена происходит циклически.

Устройства SIMOTION и PROFIBUS DP

Устройства SIMOTION могут использоваться и как ведущие и как ведомые DP устройства, они поддерживают все коммуникационные функции (DP-V0, DP-V1 и DP-V2).

Лекция 10

10. Системы SCADA

10.1. Классификация систем

SCADA ([аббр.](#) от [англ.](#) Supervisory Control And Data Acquisition, Диспетчерское управление и сбор данных) — программный пакет, предназначенный для разработки или обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления. SCADA может являться частью [АСУ ТП](#), [АСКУЭ](#), системы экологического мониторинга, научного эксперимента, автоматизации здания и т. д. SCADA-системы используются во всех отраслях хозяйства, где требуется обеспечивать операторский контроль за технологическими процессами в реальном времени. Данное программное обеспечение устанавливается на компьютеры и, для связи с объектом, использует драйверы ввода-вывода или [OPC/DDE](#) серверы. Программный код может быть как написан на языке программирования (например на [C++](#)), так и сгенерирован в среде проектирования.

Иногда SCADA-системы комплектуются дополнительным ПО для программирования промышленных контроллеров. Такие SCADA-системы называются интегрированными и к ним добавляют термин SoftLogic.

Термин SCADA имеет двоякое толкование. Наиболее широко распространено понимание SCADA как приложения[2], то есть программного комплекса, обеспечивающего выполнение указанных функций, а также инструментальных средств для разработки этого программного обеспечения. Однако, часто под SCADA-системой подразумевают программно-аппаратный комплекс. Подобное понимание термина SCADA более характерно для раздела [телеметрия](#).

Значение термина SCADA претерпело изменения вместе с развитием технологий автоматизации и управления технологическими процессами. В 80-е годы под SCADA-системами чаще понимали программно-аппаратные комплексы сбора данных реального времени. С 90-х годов термин SCADA больше используется для обозначения только программной части [человеко-машинного интерфейса](#) АСУ ТП.

10.2. Принципы построения систем ближнего действия

Нижний уровень - уровень объекта (контроллерный) - включает различные датчики для сбора информации о ходе технологического процесса, электроприводы и исполнительные механизмы для реализации регулирующих и управляющих воздействий. Датчики поставляют информацию локальным программируемым логическим контроллерам (PLC -

Programming Logical Controoller), которые могут выполнять следующие функции:

- сбор и обработка информации о параметрах технологического процесса;

- управление электроприводами и другими исполнительными механизмами;

- решение задач автоматического логического управления и др.

Так как информация в контроллерах предварительно обрабатывается и частично используется на месте, существенно снижаются требования к пропускной способности каналов связи.

В качестве локальных PLC в системах контроля и управления различными технологическими процессами в настоящее время применяются контроллеры как отечественных производителей, так и зарубежных. На рынке представлены многие десятки и даже сотни типов контроллеров, способных обрабатывать от нескольких переменных до нескольких сот переменных.

К аппаратно-программным средствам контроллерного уровня управления предъявляются жесткие требования по надежности, времени реакции на исполнительные устройства, датчики и т.д. Программируемые логические контроллеры должны гарантированно откликаться на внешние события, поступающие от объекта, за время, определенное для каждого события.

Для критичных с этой точки зрения объектов рекомендуется использовать контроллеры с операционными системами реального времени (OSPB). Контроллеры под управлением OSPB функционируют в режиме жесткого реального времени.

Разработка, отладка и исполнение про-грамм управления локальными контроллерами осуществляется с помощью специализированного программного обеспечения, широко представленного на рынке.

К этому классу инструментального ПО относятся пакеты типа ISaGRAF (CJ International France), InConrol (Wonderware, USA), Paradym 31 (Intellution, USA), имеющие открытую архитектуру.

Информация с локальных контроллеров может направляться в сеть диспетчерского пункта непосредственно, а также через контроллеры верхнего уровня (см. рис.). В зависимости от поставленной задачи контроллеры верхнего уровня (концентраторы, интеллектуальные или коммуникационные контроллеры) реализуют различные функции. Некоторые из них перечислены ниже:

- сбор данных с локальных контроллеров;

- обработка данных, включая масштабирование;

- поддержание единого времени в системе;

- синхронизация работы подсистем;

- организация архивов по выбранным параметрам;

обмен информацией между локальными контроллерами и верхним уровнем;

работа в автономном режиме при нарушениях связи с верхним уровнем;

резервирование каналов передачи данных и др.

Верхний уровень - диспетчерский пункт (ДП) - включает, прежде всего, одну или несколько станций управления, представляющих собой автоматизированное рабочее место (АРМ) диспетчера/оператора. Здесь же может быть размещен сервер базы данных, рабочие места (компьютеры) для специалистов и т. д. Часто в качестве рабочих станций используются ПЭВМ типа IBM PC различных конфигураций.

Станции управления предназначены для отображения хода технологического процесса и оперативного управления. Эти задачи и призваны решать SCADA - системы. SCADA - это специализированное программное обеспечение, ориентированное на обеспечение интерфейса между диспетчером и системой управления, а также коммуникацию с внешним миром.

Спектр функциональных возможностей определен самой ролью SCADA в системах управления и реализован практически во всех пакетах:

автоматизированная разработка, дающая возможность создания ПО системы автоматизации без реального программирования;

средства исполнения прикладных программ;

сбор первичной информации от устройств нижнего уровня;

обработка первичной информации;

регистрация алармов и исторических данных;

хранение информации с возможностью ее пост-обработки (как правило, реализуется через интерфейсы к наиболее популярным базам данных);

визуализация информации в виде мнемосхем, графиков и т.п.;

возможность работы прикладной системы с наборами параметров, рассматриваемых как "единое целое" ("recipe" или "установки").

Рассматривая обобщенную структуру систем управления, следует ввести и еще одно понятие - Micro-SCADA. Micro-SCADA - это системы, реализующие стандартные (базовые) функции, присущие SCADA - системам верхнего уровня, но ориентированные на решение задач автоматизации в определенной отрасли (узкоспециализированные). В противоположность им SCADA - системы верхнего уровня являются универсальными.

Все компоненты системы управления объединены между собой каналами связи. Обеспечение взаимодействия SCADA - систем с локальными контроллерами, контроллерами верхнего уровня, офисными и промышленными сетями возложено на так называемое коммуникационное ПО. Это достаточно широкий класс программного обеспечения, выбор которого для конкретной системы управления определяется многими

факторами, в том числе и типом применяемых контроллеров, и используемой SCADA - системой.

Большой объем информации, непрерывно поступающий с устройств ввода/вывода систем управления, предопределяет наличие в таких системах баз данных (БД). Основная задача баз данных - своевременно обеспечить пользователя всех уровней управления требуемой информацией. Но если на верхних уровнях АСУ эта задача решена с помощью традиционных БД, то этого не скажешь об уровне АСУ ТП. До недавнего времени регистрация информации в реальном времени решалась на базе ПО интеллектуальных контроллеров и SCADA - систем. В последнее время появились новые возможности по обеспечению высокоскоростного хранения информации в БД..

Бурное развитие Интернет не могло не привлечь внимание производителей программного продукта SCADA.

10.3. Принципы построения частотных систем

Обычно любая система SCADA имеет пять задач. Каждая из этих задач отвечает за свой собственный процесс.

- ♦ Задача ввода/вывода.

Эта программа является интерфейсом между контрольно-измерительной системой и производственным цехом.

- ♦ Задача сигнала тревоги.

Эта программа управляет всеми сигнальными устройствами, обнаруживая цифровые сигналы тревоги и сравнивая аналоговые значения сигналов тревоги с порогом срабатывания сигнальных устройств.

- ♦ Задача анализа тенденций.

Задача анализа тенденций отвечает за сбор данных для динамического анализа.

- ♦ Задача отчета.

На основе данных электростанции составляются отчеты. Эти отчеты могут быть периодическими, инициированными определенным событием или составленными по запросу оператора.

- ♦ Задача отображения.

Управление всеми данными, с которыми работает оператор, и выполнение всех команд управления, данных оператором.

Обычно программное оборудование SCADA состоит из четырех главных модулей:

- ♦ сбор данных;
- ♦ управление;
- ♦ архивация/хранение баз данных;
- ♦ человеко-машинный интерфейс (ЧМИ).

Сбор данных

Сбор данных включает получение, анализ и обработку всех данных с полевых устройств. Данные в режиме реального времени обычно отображаются графически, в соответствии с заданной пользователем конфигурацией. Данные сравниваются с заданными границами значений, и в случае превышения этих границ подаются сигналы тревоги. Некоторые сигналы тревоги обнаруживаются и помечаются полевыми устройствами, другие - главной станцией SCADA, в зависимости от определенной системы и ее конфигурации.

То, каким образом полевые устройства получают доступ к данным, зависит от конфигурации системы и от коммуникационного протокола. От этого зависит, будет ли ПО главной станции SCADA активно и безостановочно контролировать сеть связи или оно будет играть только информационную роль и действовать в качестве центра дистанционного управления.

Управление

Управляющие команды главной станции SCADA будут подаваться на полевые устройства или оператором, или автоматически, согласно заданным параметрам.

Архивация/хранение баз данных

То, каким образом хранятся и архивируются исторические данные, зависит от типа оборудования, программного обеспечения, а также от заданной пользователем конфигурации. Доступ к архивным данным нужен для анализа тенденций, обнаружения сбоев и для составления отчетов. Пользователю следует внимательно относиться к резервному копированию данных и выбору концепции их хранения.

Человеко-машинный интерфейс

Человеко-машинный интерфейс (ЧМИ) состоит из устройств ввода и вывода для обеспечения взаимодействия между оператором и ПО и определяет способ отображения данных и подачи команд системе. Для вывода обычно используется графический дисплей (для данных в режиме реального времени) или принтер (для записанных событий или отчетов). Устройствами ввода, как правило, являются клавиатура и мышь. Несмотря на их удобство, стоит с осторожностью относиться к идее использования технологии сенсорного экрана в автоматике сетей электроснабжения по соображениям безопасности. С помощью сенсорного экрана слишком легко отдать неверную команду, что может привести к катастрофическим последствиям.

Правильно сконструированный дисплей SCADA должен иметь четыре уровня графического отображения ситуации на электростанции в реальном времени. Первый уровень должен показывать общий план станции, за которой идет наблюдение, как показано на рис. 8.3. Отображаются некоторые важные параметры контролируемых подстанций для того, чтобы дать общее представление об электростанции. Графические дисплеи полностью

программируются пользователем. Для наглядного отображения разных значений напряжения, исправной работы или аварийной ситуации и пр. используются разные цвета. Поступивший сигнал тревоги изменит цвет той подстанции, с которой он пришел, и, в зависимости от пользовательских настроек, ее изображение может начать мигать и/или прозвучит звуковой сигнал. Дисплей может автоматически переключиться на изображение устройства, подающего сигнал тревоги, или оставит это на усмотрение оператора.

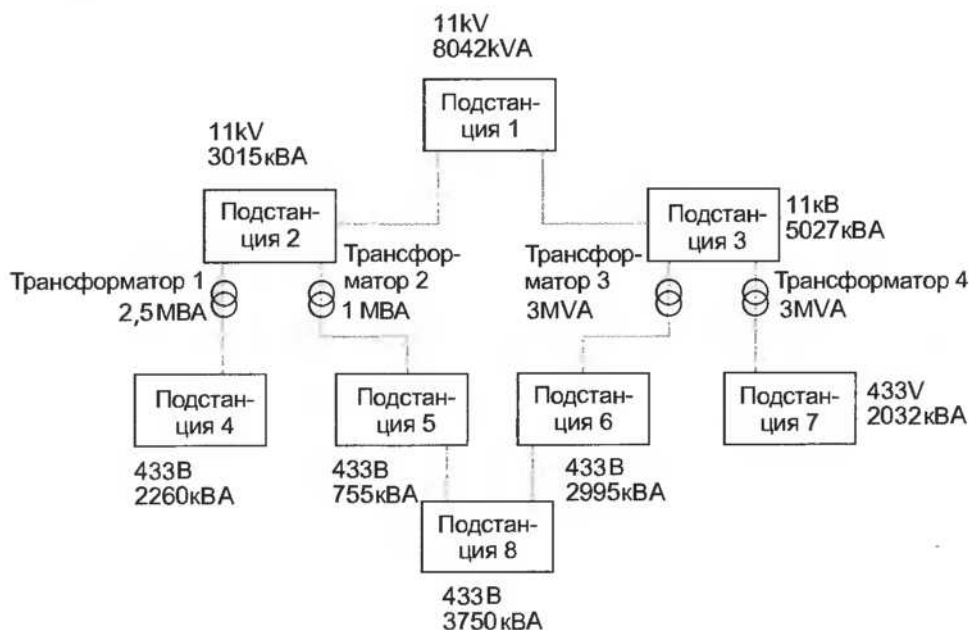


Рис. 8.3. Пример экрана обзора SCADA

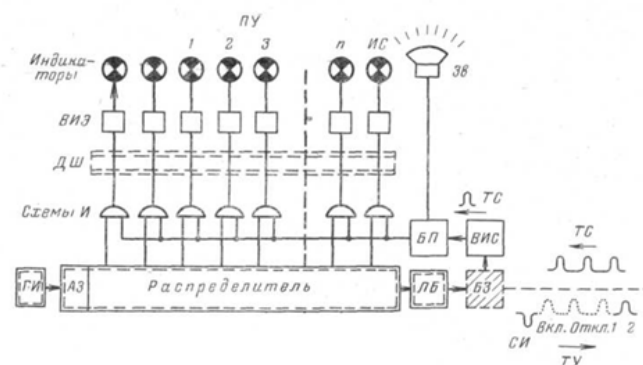
Второй уровень должен изображать детали определенной подстанции, как показано на рис. 8.4. На данном примере изображена двойная система сборных шин, но показан только поверхностный вид с самыми важными электрическими показателями, видными с первого взгляда. Для отображения статуса выключателя (открыт/закрыт) и аварийной ситуации используются разные цвета.

10.4. Принципы построения временных систем

Основные принципы.

- 1) временное разделение сигналов;
- 2) циклическая передача, в которой для увеличения надежности за один цикл может передаваться не более одной команды;
- 3) двухступенчатый выбор объекта;
- 4) сигнализация по методу темного щита;
- 5) выполнение схемы на бесконтактных элементах.

Системы для сосредоточенных объектов



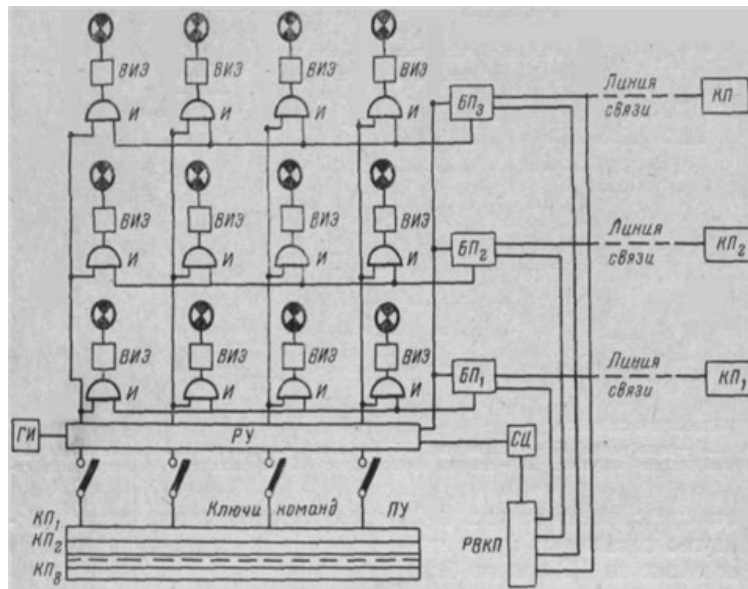
Структурная схема системы ТУ и ТС с временным разделением сигналов. ГИ - генератор импульсов; АЗ - автозапуск; ВИЭ - выходные исполнительные элементы; Ш - шифратор; ДШ - дешифратор; БП - блок памяти; ЛБ - линейный блок; БЗ - блок запирания или схемы развязки; ВИС - выделитель импульсов сигнализации; БСИ - выделитель синхронизирующего импульса; ДС - датчики сигнализации; ИС - сигнализация об исправности системы; Зв - звонок; СИ - синхронизирующий импульс.

Информация передается с КП на ПУ, режим ТС - телесигнализации.

Основой системы являются два распределителя, которые переключаются от генератора импульсов ГТИ и работают синхронно, что обеспечивается синхронизацией (возможна посылка с одного распределителя - ведущего) синхронизирующего сигнала СИ, который отличается от импульсов ТС и ТУ. На КП он выделяется блоком синхронизирующих импульсов БСИ и подается на распределитель КП. Т.к. рассматриваемая схема является циклической, то СИ поступает в линию связи в начале каждого цикла. Запуск ведущего распределителя осуществляется блоком автозапуска АЗ.

Количество импульсов ТС зависит от состояния контролируемых объектов и может меняться от цикла к циклу. Если объект изменил свое состояние, т.е. переключился, то датчик сигнализации ДС подключает выход элемента распределителя к линейному блоку ЛБ. Импульс с элемента распределителя усиливается в ЛБ и поступает в линию связи. На ПУ импульс ТС выделяется блоком ВИС (выделитель импульсов сигнализации) и поступает на все элементы И. Так, если поступил сигнал ТС с объекта 2, то вместе с импульсом с распределителя он образует на выходе элемента И импульс, который возбуждает выходной исполнительный элемент ВИЭ, включающий индикатор 2. Одновременно приходящий сигнал ТС включает звонок Зв. Сигнализация на ПУ может быть выполнена по методу светлого или темного щита.

Системы для рассредоточенных объектов



Структурная схема системы ТУ-ТС с временным разделением сигналов для рассредоточенных объектов. РУ - распределитель управления; РВКП - распределитель выбора КП; СЦ - счетчик циклов - БП - блок подключения КП; ГИ - генератор импульсов.

Информация подается через ключи команд ПУ на КП (сигналы ТУ) и обратно (сигналы ТС) в течении цикла работы с КП_n, циклы могут повторяться потом произойдет переключение на сигнал ИП.

Ранее были рассмотрены общие принципы, на основании которых возможно построение систем ТУ - ТС как для сосредоточенных, так и для рассредоточенных объектов. Однако при построении рассредоточенных систем, имеются некоторые особенности, связанные с присоединением аппаратуры КП к линии связи.

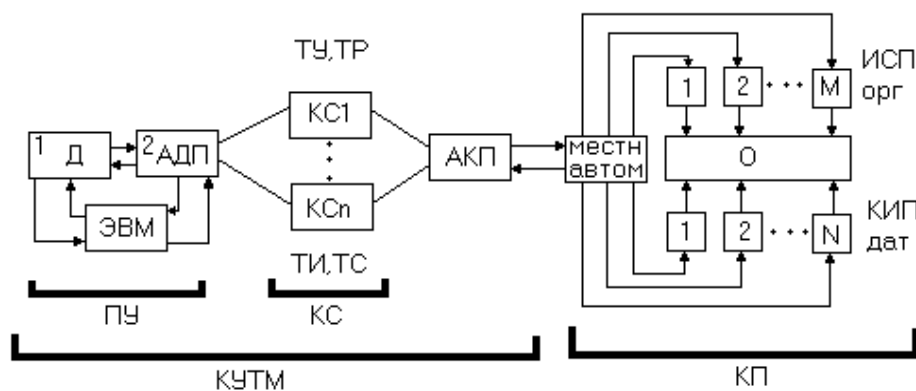
Если линия связи радиальная и состоит из нескольких независимых линий, то принципиальных трудностей не возникает. Могут быть лишь разные решения при построении систем. Одно из них может быть таким: пункт управления системы рассчитан на наибольшее число каналов, равное числу объектов самого крупного КП, и состоит из двух распределителей, блоков сигнализации (элемент И, выходные исполнительные элементы - ВИЭ и индикаторные лампы), число которых равно числу КП, и общих командных ключей.

Приведенная схема выполнена применительно к радиальной структуре линии связи. Присоединение аппаратуры КП к распределителю управления объектами РУ и получение с них сигнализации осуществляется поочередно и автоматически с помощью циклического опроса. Для этого используется еще один распределитель выбора КП - РВКП и устройства блоков подключения БП, подключающие КП к РУ. Контролируемый пункт подключается к РУ в течении времени, равного нескольким циклам работы РУ, чтобы диспетчер успел привести необходимые операции с объектами и получить с них сигнализацию об изменениях состояния объектов. После заданного числа цикла счетчик циклов СЧЦ срабатывает и переключает РВКП на следующий элемент (число элементов в РВКП равно числу КП), вследствие чего

включается очередной блок БП и подсоединяет соответствующий КП и РУ. Предыдущий блок БП при этом отключается. Т.к. в данный момент времени может быть включен только один элемент распределителя РВКП, то это обеспечивает очередность и единственность подключения КП и РУ (два КП присоединены быть не могут). Циклический опрос действует непрерывно для получения сигнализации с объектов, даже если не производится никаких операций управления.

10.5. Структурные схемы систем

Телемеханика- отрасль науки и техники, охватывающая теорию и технические средства контроля и управления объектами на расстоянии с применением специальных преобразователей сигнала для эффективного использования каналов связи.



1-диспетчер, 2- аппаратура диспетчерского пункта. КС- канал связи. АКП(АДП)- аппаратура контрольного(диспетчерского) пункта, Д- диспетчер, О- объект.

КУТМ(комплекс устройств телемеханики)- совокупность технических средств, выполняющие обмен информации между ПУ и КП через канал связи.

ТУ(телеуправление)- воздействие на органы управления или исполнительные устройства имеющие дискретные состояния путем подачи дискретных команд.

ТР(телерегулирование)- ТУ объектами с непрерывным множеством состояний.

ТИ(телеизмерение)- передача значений непрерывных измеряемых величин с КП на ПУ.

ТС(телесигнализация)- передача информации о дискретных состояниях объекта типа «да»(нет).

Классификация систем телемеханики.

1)по выполняемым функциям:
- ТИ;

- ТИ-ТС;
 - ТУ-ТИ-ТС.
- 2)по условиям эксплуатации:
- стационарные;
 - мобильные.
- 3)по размещению объектов управления:
- сосредоточенные (1 КП для группы объектов);
 - рассредоточенные (1 ПУ и несколько КП).
- 4)по структуре каналов связи:
- успочечные;
 - радиальные;
 - комбинированные.

Лекция 11

11.Современные средства управления электроэнергетическими параметрами

11.1. Телемеханическая система GE

Системы автоматики сетей электроснабжения, предлагаемые GE, сосредоточены вокруг семейства универсальных реле (серия UR). Компания GE в своих печатных материалах использует в основном термин «реле» и очень осторожно употребляет термин «ИЭУ», хотя серия UR на самом деле подпадает под определение ИЭУ в контексте автоматики сетей электроснабжения, так как они объединяют в одном устройстве защиту, управление, измерения, мониторинг и обмен данными. Предлагаемая компанией GE структура является типичным примером конфигурации первого типа. Эта конфигурация изображена на рис. 11.1.

Как видно, ИЭУ напрямую обменивается данными по общей коммуникационной шине с системой SCADA. В зависимости от используемого протокола поддерживается обмен данными между равноправными узлами.

Серия UR основывается на общей платформе, каждый представитель этого семейства ИЭУ обладает различными защитными свойствами.

Защитные свойства каждого устройства отличают представителей класса UR /г от друга. В настоящее время насчитывается семь различных представите- л класса:

L90 - дифференциальная защита линии;

L60 - дифференциально-фазовая защита линии;

D60 - дистанционная защита;

T60 — защита трансформатора;

F60 - защита фидера;

S60 - защита прерывателя;

C30 - контроллер (типичный контроллер отсека, не обладающий какими- либо защитными функциями).

L90. Дифференциальная токовая защита с резервной максимальной токовой защитой. Высокая скорость срабатывания - менее одного периода, обеспечиваемая дифференциальной защитой, и функция обнаружения замыкания, поддерживаемая приложением мониторинга.

L60. Это приложение защиты применяет сравнение фаз тока для выявления замыкания и используется для линий электропередачи высокого и сверхвысокого напряжения. В качестве резервной защиты включены защита от максимального тока и от замыкания на землю с чувствительным детектором нарушения нормального режима тока (замыкания).

D60. Высокоскоростная дистанционная защита для линий электропередачи среднего и высокого напряжения. Включает четыре зоны дистанци-

онной защиты и резервную защиту от максимального тока и от замыкания на землю, а также чувствительный детектор максимального тока и защиту от минимального напряжения. Предоставляет выбор до пятнадцати различных время-токовых характеристик, включая две кривые, определяемые пользователем.

FlexcurUe создается путем наложения различных форм кривых, как показано на рис. 11.2. (Термин «FlexCurUe» является торговой маркой компании GE.)

Типичное применение FlexCurve™ универсальных реле (UR):

Когда кривые защиты, используемые для ответвительных линий 2 и 3, РАЗЛИЧАЮТСЯ, МОЖЕТ БЫТЬ ПОСТРОЕНА ОПРЕДЕЛЯЕМАЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕМ кривая FlexCurve™ для координации обеих линий.

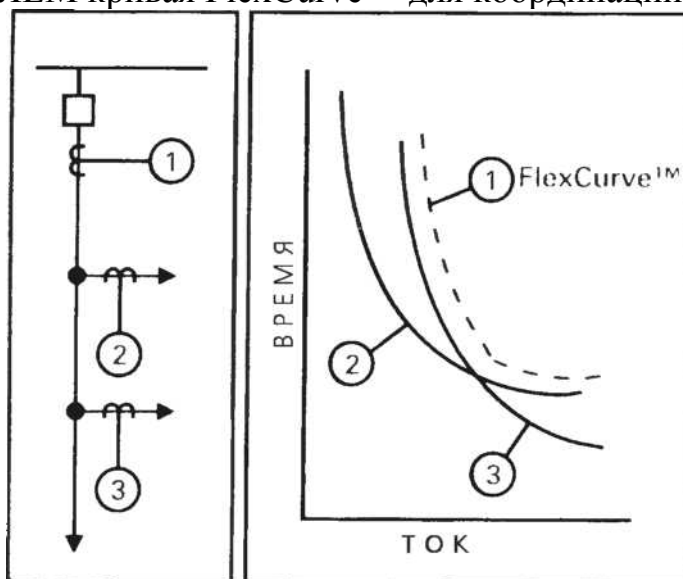


Рис. 11.1. Пример использования FlexCurUe™

(Источник. CD «Продукты управления электропитанием компании GE»)

Т60. Защита трансформатора для небольших, средних и больших силовых трансформаторов, включая дифференциальную защиту с ограничением гармоник. Включены многие элементы защиты от максимального тока.

Ф60. Реле управления фидером для защиты фидера и измерений. Полная трехфазная защита, защита от максимального тока и замыкания на землю, с задержкой времени и моментальная. Предоставляет пятнадцать время-токовых кривых, перечисленных выше. Включены чувствительная защита от замыкания на землю и защита от минимального тока.

С60. Реле управления прерывателем для контроля прерывателя, мониторинга и защиты. Это ИЭУ включает полное наблюдение за прерывателем, проверку синхронности и функции автоматического повторного включения. Включены максимальная токовая защита, защита от минимального напряжения и от пониженной частоты, а также чувствительная защита от замыкания на землю.

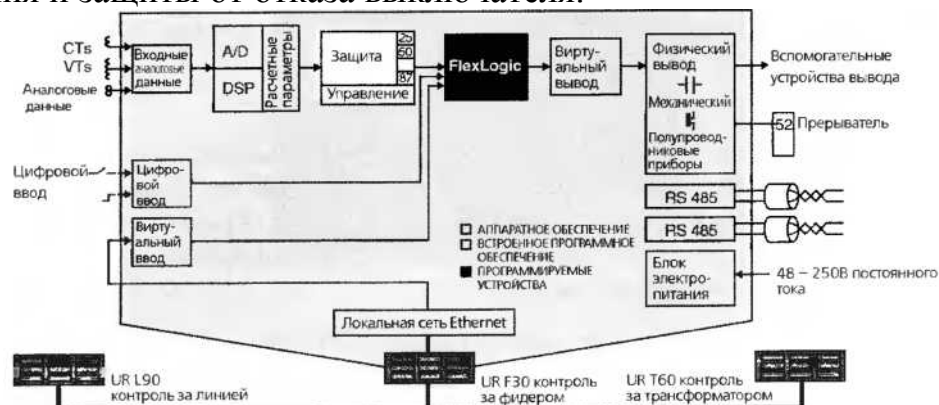
С30. Контроллер отсека, не обладающий функциями защиты или измерения.

Управление

Все ИЭУ семейства UR компании GE обладают функциями локального и дистанционного управления. ИЭУ программируются путем применения логических уравнений (FlexLogic, торговая марка GE).

Основная конфигурация структуры изображена на рис. 11.3.

Реле С60 обладает функциями сброса нагрузки, автоматического повторного включения и защиты от отказа выключателя.



СТs - трансформаторы тока

УТs - трансформаторы напряжения

A/D - аналого-цифровой преобразователь

DSP - цифровой обработчик сигналов

Рис. 11.2. Основная конфигурация структуры серии UR (Источник: CD «Продукты управления электропитанием компании GE»)

Измерения

Все ИЭУ включают функции измерения тока, напряжения, мощности и частоты, включая векторы тока и напряжения.

11.2. Комплекс устройств телемеханики типа АВВ

Компания АВВ предлагает различные виды оборудования для использования в системах автоматики в зависимости от требуемой структуры. Установки оборудования могут быть заданы для его использования или в системах первого типа, или в системах второго типа, описанных в 10-й главе.

Оборудование первого типа

Основным оборудованием первого типа, производимым компанией АВВ, является серия реле REF. Реле REF задумывались как реле защиты фидера, и компания АВВ также именуется их «терминалами фидера». Эту серию составляют реле REF 541, REF 543 и REF 545. Единственное отличие реле этой серии друг от друга заключается в количестве устройств ввода-вывода, которые размещаются с каждым реле. Реле REF являются ИЭУ в полном смысле этого слова, так как они обладают усовершенствованными возможностями защиты, управления, мониторинга, измерений и обмена данными. Реле REF разработаны для распределительных сетей среднего напряжения.

Защита

Серия REF содержит перечисленные ниже функциональные блоки защиты в качестве стандартных свойств приложений защиты. В зависимости от необходимых функций конфигурация функциональных блоков может быть изменена, или же они могут быть отключены.

♦ Ненаправленная защита от максимального тока (с низкой уставкой и семью различными типами кривых, с высокой уставкой, моментальная).

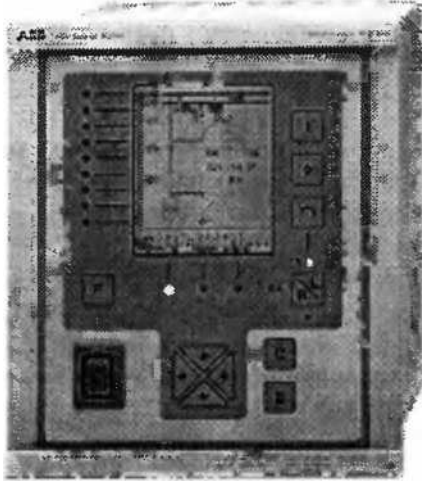


Рис. 11.4. Реле REF 54 компании ABB

Ненаправленная защита от замыкания на землю (с низкой и высокой уставкой, моментальная).

Направленная защита от максимального тока (с низкой и высокой уставкой, моментальная).

Направленная защита от замыкания на землю (с низкой и высокой уставкой, моментальная).

Защита от сдвига по фазе.

Трехфазная защита от перенапряжения (с низкой уставкой и высокой уставкой).

Защита от остающегося перенапряжения (с низкой и высокой уставкой, моментальная).

Защита от минимального напряжения (с низкой уставкой и высокой уставкой).

Защита от минимальной или максимальной частоты (5 этапов).

Защита от перегрева.

Детектор пускового броска трансформатора и старта двигателя.

Функция автоматического повторного запуска.

Функция проверки синхронности.

Функции управления

Функции управления включают локальное и дистанционное управление до 6 коммутационными объектами (выключателями, разъединителями или заземлителями), индикацию статуса коммутационных объектов и блокировку уровня

отсека или станции, часть приложения управления составляет информация и каналах тревоги.

Конфигурация индикации объектов на локальном графическом дисплее может быть изменена. Пользователь может задать мимическую конфигурацию.

Измерения

Функции измерения включают измерения трехфазных токов, нейтральных токов, трехфазного напряжения, остающегося напряжения, частоты, активной и реактивной мощности, обратной мощности, коэффициента мощности и гармоник.

В приложение измерения входит устройство записи кратковременных нарушений режима. Это устройство используется для слежения за формами кривых тока и напряжения, а также за статусной информацией логических сигналов и двоичными входными данными соединенных с реле терминалов. Возможен мониторинг до 16 аналоговых и цифровых каналов. Частота выборки составляет 40 отсчетов за один фундаментальный цикл.

Длина записи зависит от количества записей и используемых каналов. Например, одна запись на одном канале может содержать 1066 периодов, а если сделать 10 записей на 10 каналах, каждая запись будет содержать 12 периодов.

Запись производится в случае наступления одного из перечисленных ниже событий.

Верхний или нижний край одного или нескольких двоичных сигналов.

Максимальный ток, максимальное или минимальное напряжение.

Ручной запуск через интерфейс пользователя.

Параметр серийной коммуникации.

Периодический запуск.

Мониторинг

Функции мониторинга включают в себя функции слежения за состоянием, такие, как наблюдение за цепью отключения, счет времени работы, контроль электрического износа прерывателя, времени распространения волны прерывателя, запланированная передача данных и самодиагностика. Другие функции включают контроль вспомогательного напряжения и индикацию внутреннего перегрева. Коммутационная аппаратура SF6 обладает способностью слежения за давлением газа.

Обмен данными

На передней панели оборудования находится оптический порт RS-232, с помощью которого возможен обмен данными по стандарту ASCII с локальным ПС или ноутбуком. Он предназначен для первоначальной конфигурации во время запуска прибора в эксплуатацию, но может также использоваться для локальной загрузки. Порт RS-485 на задней панели с возможностью подключения оптоволоконного интерфейса может быть использован для участия в сетевом обмене данными. В качестве стандарта поддерживаются

два протокола, а именно: протокол ABB SPA-bus (до 19,2 кбит/с) и шина LON (до 1,25 Мбит/с).

11.3. Аппаратура телемеханики с элементами оптоволоконной техники SEL

Система автоматизации сетей электроснабжения компании SEL построена вокруг интеллектуальных реле и связного процессора и является типичным примером структуры третьего типа, описанной в 10-й главе.

Для различных функций защиты могут использоваться разные реле. Реле типа SEL-351 являются первыми многофункциональными реле, используемыми для приложений передачи и распределения, и включают комплексные приложения защиты, управления, измерений и мониторинга, объединенные в одном устройстве. К связному процессору типа SEL-2020 или SEL-2030 могут быть подсоединены до 16 реле. Связной процессор SEL-2030 отличается от модели SEL-2020 тем, что он с легкостью настраивается под любой протокол. В случае возникновения необходимости добавить новый протокол к процессору SEL-2030 нужно просто вставить карту протокола в соответствующий разъем.

Связной процессор регулирует весь обмен данными подстанции, происходящий между ним и реле, а также обмен данными на высшем уровне с сетью SCADA.

На рис. 11.5 изображен пример системы, размещенной компанией SEL на своем веб-сайте.

Обмен данными между равноправными узлами в многоточечной шинной сети не поддерживается, так как SEL использует звездообразную топологию. Вместо этого SEL применяет технологию MIRRORED BITSTM собственной разработки, которая поддерживает обмен данными между равноправными узлами по прямому оптоволоконному каналу. Сначала был доступен только обмен данными между двумя реле, но впоследствии был создан логический защитный процессор SEL-2100, способный поддерживать до 15 устройств.

В результате приходится тщательно изучать технические данные реле, чтобы сделать правильный выбор для определенного приложения. Компания SEL предлагает пользователям воспользоваться бесплатной программой для выбора реле, соответствующих требуемому приложению. Пользователю нужно ввести свои требования, и программа подскажет, какие реле стоит использовать.

Основой системы автоматизации сетей электроснабжения компании SEL является многофункциональное реле SEL-351.

Многофункциональное направленное максимальное реле SEL-351 обладает следующими защитными функциями.

Направленная максимальная токовая защита (фазовая и на землю).

Ненаправленная максимальная токовая защита (фазовая и на землю).

Защита от минимального и максимального изменения частоты электрического тока (шесть шагов).

Защита от перенапряжений и провалов напряжения.

Проверка синхронности.

Автоматическое повторное включение.

Защита от обратной мощности.

Контроль выхода из строя выключателя.

Управление

Устройство записи последовательности событий автоматически передает данные на SEL-2030.

До 16 дистанционно управляемых устройств на каждое реле.

Измерения

Точное измерение всех электрических значений избавляет от необходимости в щитовых измерительных приборах.

Составление диаграмм нагрузки для максимум 15 выбираемых пользователем значений, включая U, A, f, W, (JAR, Wh, UARh, PF, пиковое потребление.

До 40 дней хранения данных диаграмм нагрузки для максимум 15 значений, загружаемых каждые 15 минут.

Отчеты о нарушениях нормального режима для до- и постсобытийного анализа; выбор 15 или 30 периодов.

Отчеты о падении/увеличении/перебоях мощности, инициированные событием и привязанные по времени.

Мониторинг

Слежение за уровнем напряжения батареи подстанции.

Мониторинг интеллектуального прерывателя.

Мониторинг статуса до 16 устройств.

Самодиагностика.

Обмен данными

Компания SEL применяет международный протокол, получивший название «fast meter protocol», для обмена данными между реле и связным процессором. Это чередующийся обмен данными по протоколу ASCII.

SEL-2030 поддерживает последовательную связь с продуктами других производителей.

SEL-2030 поддерживает многочисленные передачи высшего уровня на сеть SCADA. В настоящее время в качестве стандарта поддерживаются следующие протоколы:

Modbus;

DNP3.0;

IEC-870-5-101;

UCA.

Компания SEL утверждает, что по запросу SEL-2030 может поддерживать практически любой другой широкоиспользуемый протокол.

Процессор SEL-2030 может поддерживать одновременный обмен данными на всех активных портах (до шестнадцати портов). В дополнение к поддержке коммуникационного протокола SEL-2030 также осуществляет

хранение и обработку данных, автоконфигурацию ИЭУ, синхронизацию времени и контрольные уравнения SELOGIC® (например, передачу определенного сообщения в случае наступления какого-либо события).

В случае использования двумя реле технологии SEL MIRRORED BITS может быть установлен быстрый (менее 10 мс) равноправный обмен данными.

Компанией SEL был создан защитный логический процессор SEL-2100, который может отвечать за 1 5 удаленных устройств, используя для обмена данными технологию MIRRORED BITS. Этот процессор также обладает мощным локальным интеллектом для координации сложных решений прерывания и закрытия. Типичным применением является его применение в создании очень эффективной и недорогой схемы защиты сборных шин с использованием реле, установленных для защиты фидера (для сборных шин, имеющих менее 1 5 прерывателей).

SCADA

Компания SEL не обладает собственным программным обеспечением SCADA. Вместо этого они обычно поручают компаниям, выпускающим ПО SCADA, или системным интеграторам, участвующим в проекте, установить компоненты SCADA для создания системы автоматизации сетей электроснабжения.

Предпочтительно, чтобы ПО SCADA поддерживало один из протоколов, поддерживаемый процессором SEL-2030 в качестве стандарта; если же это другой протокол, в коммутационный процессор может быть установлена карта протокола для поддержки протокола, предпочтительного для программного обеспечения или конечного пользователя.

Информация от производителя

Ниже изложены главные преимущества, указанные компанией SEL в отношении собственных систем.

Связной процессор SEL может напрямую обмениваться данными практически со всеми микропроцессорными реле. В звездообразной сети поддерживается оборудование разных производителей, с разными протоколами, включая протоколы многоточечной связи, так как каждое устройство имеет собственный прямой канал связи.

Звездообразная конфигурация сетей SEL поддерживает широкий ряд возможностей ИЭУ. В одной системе могут бок о бок располагаться и простые медленные устройства связи, и более сложные реле связи.

Звездообразная сеть SEL является действительно открытой архитектурой и объединяет разнообразные протоколы, скорости передачи и сетевые интерфейсы.

Прямые соединения в звездообразной сети устраняют необходимость в дополнительных адресных данных, увеличивая пропускную способность.

В звездообразной сети устранение неисправностей средств передачи осуществляется быстро и просто. Связной процессор SEL поддерживает простую процедуру подтверждения в виде светодиодной индикации.

Коммуникационные проблемы одного реле не повлияют на работу сети таким же образом, как, например, невозможность реле передать управление обменом данными в многоточечной сети.

Связной процессор упрощает установку благодаря автоматической конфигурации. Этот процесс автоматически определяет нужную скорость передачи для обмена данными с соединенным реле, а также устанавливает параметры стартовой загрузки, тип устройства и возможности.

Связной процессор может контролировать обмен данными между двумя реле, получать и хранить эти данные.

Ресурсы реле могут использоваться для оптимизации планов защиты.

В связной процессор легко добавляются новые протоколы. В случае изменения требований протокола нужно модернизировать только одно устройство, а не каждое реле по отдельности. Это более экономичный способ, позволяющий не вмешиваться в работу реле во время изменения протокола.

Способность связного процессора использовать различные протоколы для обмена данными с разными реле удлинит полезную сервисную жизнь реле, так как реле не должно поддерживать новый протокол.

Новые и будущие ИЭУ легко размещаются и интегрируются подстанцией.

Ниже изложен полный список преимуществ, опубликованный на сайте SEL.

Преимущества звездообразной сети (SEL)

Звездообразная сеть позволяет перенести некоторые коммуникационные функции с ИЭУ на сетевой контроллер. Размещение протоколов в ИЭУ увеличивает их стоимость и ускоряет процесс их устаревания по мере развития технологии. Вместо этого лучше сфокусировать ресурсы ИЭУ на оптимизации планов защиты.

Связной процессор, используемый как сетевой контроллер, может выполнять функции приложения «клиент/сервер», накопителя данных, архива подстанции, программируемой логической платформы, шлюза, маршрутизатора, устройства подключения к внешним службам по телефонной линии, связного коммутатора и передатчика синхронизации времени.

Время осуществления управляющих действий меньше при связи главной станции с ИЭУ, чем в шинной топологии.

Связной процессор может обмениваться данными без использования программ поддержки определяемого поставщиком протокола и может прослушивать обмен данными между двумя устройствами в информационно-управляющей системе.

Звездообразные сети могут получать и передавать данные, используя гораздо более медленные прямые соединения, так как в них одновременно происходит множество сеансов связи. Эти прямые соединения гораздо надежнее, прочнее и дешевле.

Связной процессор упрощает внедрение с помощью автоконфигурации, которая описывает характеристики и свойства реле.

Все прямые соединения в звездообразной сети являются независимыми и позволяют сети поддерживать широкий ряд возможностей реле. Простые устройства с низкой скоростью передачи сосуществуют с более сложными и быстрыми реле.

Звездообразная сеть SEL является действительно открытой архитектурой и объединяет разнообразные протоколы, различные скорости передачи и разные сетевые интерфейсы.

Связные процессоры, играющие роль сетевых контроллеров, увеличивают ценность данных информационно-управляющей системы, так как делают их доступными многочисленным главным системам и другим пользователям.

Связной процессор создает информационно-управляющую систему с автономной координированной звездообразной сетью в пределах подстанции, не зависящую от соединения с главной станцией.

Звездообразные сети делают возможным опосредование локального или дистанционного управления всей подстанцией.

По мере изменения требований протокола подстанции может быть модернизирован сетевой контроллер связного процессора, а не каждое реле по отдельности. При этом не происходит вмешательства в работу реле во время изменения протокола. Экономически гораздо более выгодно также производить изменения только в одном устройстве.

Сегодня возраст используемых на подстанциях реле широко варьируется. Многие из этих ИЭУ до сих пор приносят пользу, но не обладают самыми последними протоколами. Проекты модернизации и укрупнения подстанции, требующие замены всех действующих ИЭУ, ведутся редко. Связной процессор, который может обмениваться данными с каждым ИЭУ, используя уникальную скорость передачи и протокол, удлинит полезную жизнь ИЭУ. Использование связного процессора для укрупнения подстанции поможет легко интегрировать будущие ИЭУ.

Чередующиеся потоки данных звездообразной сети являются простым и передовым способом осуществления одновременных многочисленных сеансов. По одному каналу связи одновременно могут передаваться данные различного назначения, архивные данные и сигналы синхронизации времени. Для прямых каналов связи звездообразной сети выявление и устранение неисправностей с помощью простой светодиодной индикации происходят гораздо быстрее и эффективнее, чем попытки раскодировать многоточечные сети.

SEL признает следующие недостатки своей системы.

Концепция их звездообразной сети не очень хорошо понята и считается устаревшей технологией.

11.4. Микропроцессорная система телемеханики на базе Siemens

Управляющий блок станции 6MB5510/5

Обмен данными.

Это устройство играет роль интерфейса между центральной контрольной станцией и подстанцией и используется для подстанций среднего и большого размера. Оно взаимодействует с независимыми устройствами ввода-вывода, центральными контроллерами и устройствами цифровой защиты, а также играет роль коммуникационного узла.

Оно поддерживает до 121 устройства ввода-вывода и до 3872 элементов технологических данных (индикация статуса, результаты измерений, команды и т.д.)

[Обратите внимание на то, что Siemens использует преимущественно язык типа ПЛК.]

Поддерживаются стандартные протоколы: IEC 870-5-101 и SINAUT 8FW.

Другие протоколы могут поддерживаться после добавления дополнительных модулей.

Управление, мониторинг и сбор данных.

Возможны управление и мониторинг с пульта оператора одного или двух центральных постов управления. Поддерживаются последовательные и логические функции и блокировка.

Регистрация, обработка и ЗУ большой емкости для архивации индикации статуса, результатов измерений и защитных данных. Синхронизация времени с помощью входного модуля временного сигнала.

Компактный RTU 6MB552

Компактный RTU выполняет практически те же функции, что и устройство управления станцией, только в гораздо меньшем масштабе (за исключением регистрации и хранения данных). Поэтому этот RTU подходит для передачи сигналов процессов среднего уровня (то есть для небольших и средних подстанций).

Он может взаимодействовать с максимум семью устройствами ввода-вывода, цифровыми реле и/или контроллерами отсека (до 5 устройств ввода-вывода). Разрешена обработка до 128 элементов данных процесса (индикация статуса, результаты измерений, команды и т.д.).

Поддерживаются последовательные и логические функции, а также функции блокировки, обработки результатов измерений и синхронизации времени.

Предоставляется поддержка до двух интерфейсов SCADA с двумя стандартными протоколами — IEC 870-5-101 и SINAUT 8FW.

Мини-компактный RTU 6MB5530-0

Этот мини-RTU предназначен для небольшого коммутационного оборудования среднего напряжения, как правило, это блоки кольцевой магистрали.

Базовый RTU имеет 8 устройств ввода индикации и 8 устройств вывода команд. Он может быть расширен до 32 устройств ввода индикации и 8 устройств вывода команд или до 24 устройств ввода индикации, 8 устройств ввода результатов измерений и 8 выводов команд.

Это устройство может располагаться каскадом и иметь до трех исполнительных устройств на максимальном расстоянии 500 м.

Выполняются функции индикации, сбора результатов измерений, предварительная обработка и телеконтролируемая передача. Поддерживаются синхронизация времени и два стандартных протокола — 870-5-101 и SINAUT 8FW.

Устройство ввода-вывода 6MB520

Устройства ввода-вывода используются в сочетании с устройством контроля станции или компактными RTU. Эти устройства отвечают за сбор и обработку данных и вывод команд, помогая децентрализовать взаимодействие сигнальных контактов, управляющих станций, трансформаторов тока и напряжения, преобразователей и многочисленных устройств защиты.

Циклы сбора информации могут устанавливаться между 10 мс и 1000 мс, с меткой времени и с разрешением 10 мс. Устройство осуществляет вычисление эффективного значения и сглаживание для тока и напряжения.

Модель 6MB520 используется на средних и крупных подстанциях, а модели 6MB522 и -523 - на подстанциях меньшего размера и с ограниченной функциональностью.

Компактный контроллер отсека 6MB524

Контроллер отсека используется для децентрализованного управления. Он предлагает локальное управление с помощью меню и графического дисплея и локальное интеллектуальное управление коммутационными устройствами, включая диагностику устройств и листы индикации.

Обработка результатов измерений включает моментальную запись значения с установленным интервалом в 1 мс, вычисление эффективных значений, измерение активной и реактивной мощности, фактора мощности и т.д.

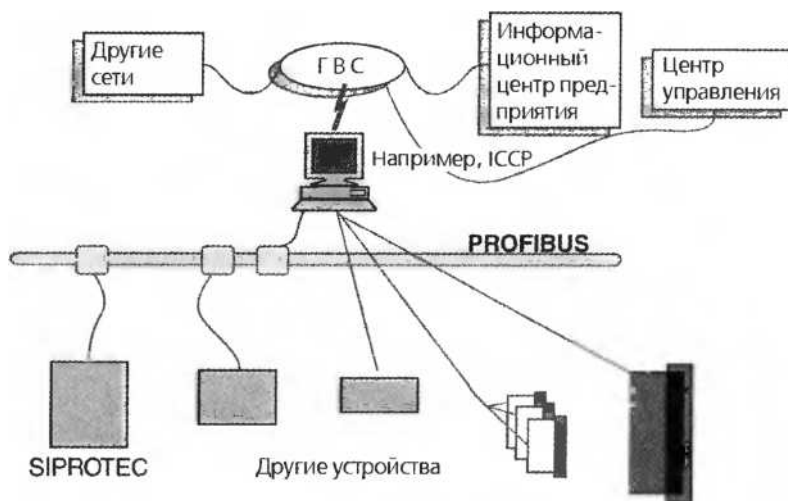
Включены также функции блокировки коммутационного оборудования и проверки синхронности.

SCADA

Стандартная главная станция SCADA, называемая контрольным центром LSA, состоит из определенного производителем видеодисплея, который используется для отображения и регистрации всех данных процесса; функциональной клавиатуры для выполнения коммутационных действий и принтера для создания печатной копии событий. ПК, используемый для оценки качества связи, может быть подсоединен к видеодисплею или напрямую, или дистанционно, через модем. Этот ПК используется для обработки архивных данных, включая события, индикаторы защиты, результаты измерений и данные о замыканиях.

SICAMPCC

Система SICAM PCC основана на системе управления с помощью ПК (сокращение PCC обозначает PC Controller). ПО SCADA работает на стандартном промышленном ПК с операционной системой Windows. Эта система изображена на рис. 11.7.



Устройства, поддерживающие IEC 60870 5-103

Рис. 11.7. Система SICAM PCC компании Siemens

Для обмена данными с ЛВС или ГВС эта система использует протоколы Profibus и IEC 60870-5-103 для полевой связи и ICCP (Inter control center protocol), также известный как IEC 60870-6-TASE.2.

Поэтому эта система теоретически может объединять любые устройства, поддерживающие протоколы Profibus или IEC 60870-5-103.

Для управления полевыми устройствами ПК использует программу SICAM WinCC, которая обладает функциями дистанционного управления, графического отображения данных, архивации и анализа данных. Интерфейс с ЛВС/ГВС обеспечивает программа SICAM NET.

Система SICAM PCC относится к системам второго типа, несмотря на слабую интеграцию приложений защиты и управления. Основная стратегия заключается в том, чтобы предоставить полевым устройствам общую платформу, состоящую из двух коммуникационных протоколов, а любое совместимое устройство может быть подключено независимо.

Компания Siemens рекомендует использовать систему SICAM PCC на небольших подстанциях.

SICAMSAS

Система SICAM SAS рекомендуется для использования на крупных подстанциях. Существует возможность расширения системы SICAM PCC и превращения ее в SICAM SAS путем добавления управляющего блока станции.

Эта система изображена на рис. 11.8.

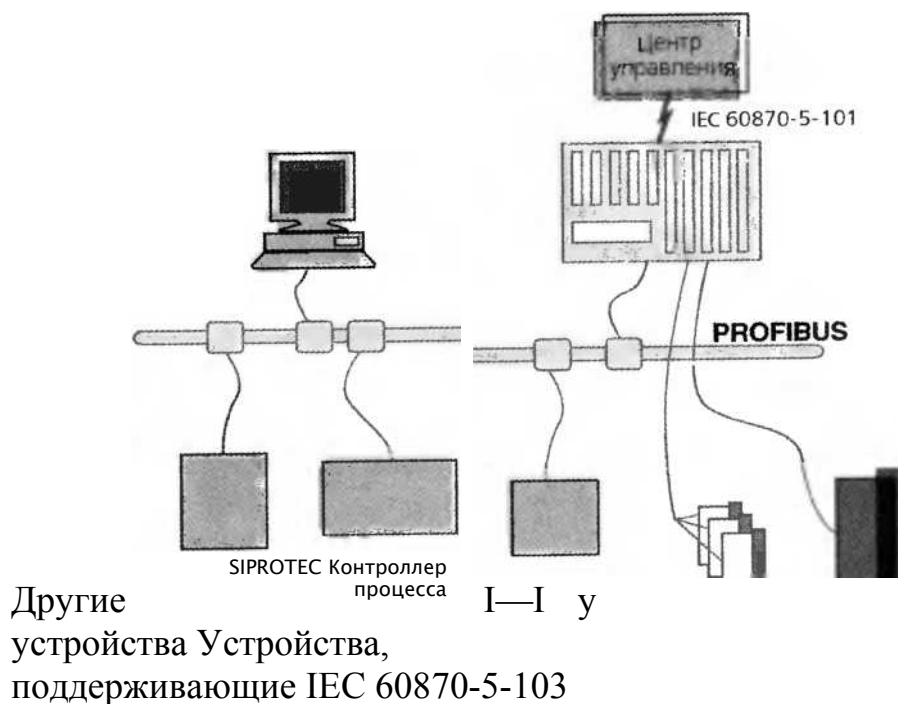


Рис. 11.8. Система SICAM SAS компании Siemens

Для полевой связи используются протоколы Profibus и IEC 60870-5-103, а для связи между управляющим блоком станции и контрольным центром — протокол IEC 60870-5-101. Передача данных инициируется событием, поддерживается также приоритетность команд.

Контрольный центр - это ПК, работающий на платформе Windows и использующий программы SICAM WinCC, SICAM SAS, SICAM NET и SICAM plus TOOLS.

Поддерживается также модулярный подход как часть стратегии образования «открытой» платформы для любого совместимого устройства.

SICAM SAS является типичной системой четвертого типа, описанной в 10-й главе.

SICAMRTU

Система SICAM RTU разрабатывалась в первую очередь для подстанций с децентрализованной географией. Ее стратегия базируется на концентрации функций управления в RTU, обладающем высокой функциональностью типа ПЛК. (Эта функциональность основана на контроллере SIMATIC 400 Power PLC.)

Удаленный контрольный центр может использовать более мощные коммуникационные возможности RTU. Предоставляется поддержка протоколов Profibus, промышленный Ethernet, IEC 60870-5 -101 и SINAUT 8FW, это значит, что SICAM RTU может взаимодействовать с системой SINAUT LSA компании Siemens.

Для полевой связи используется Profibus.

Эта система изображена на рис. 11.9.

Система SICAM RTU слабо поддерживает локальный интеллект. Эта система является чем-то средним между системой четвертого типа, описанной в 10-й главе, и более традиционной системой управления подстанцией.

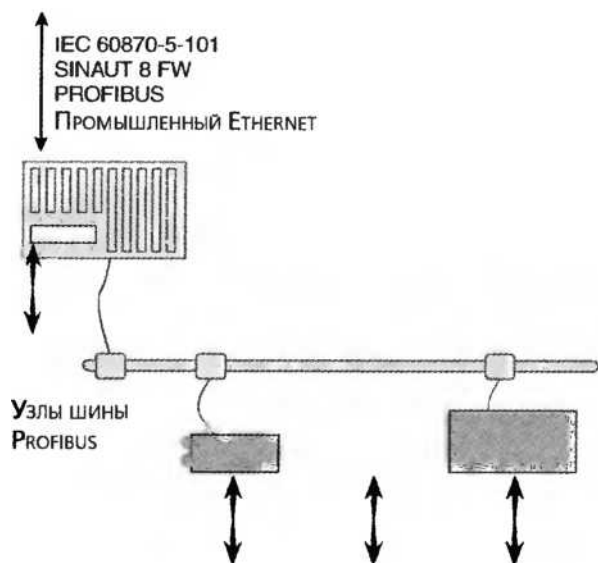


Рис. 11.9. Система SICAM RTU компании Siemens

11.5.7. Информация от производителя

Компания Siemens утверждает, что различия между промышленным управлением и управлением подстанцией исчезают благодаря таким стандартам, как Windows, Ethernet и Profibus. Компания Siemens предвидит будущее слияние двух миров — промышленного управления и управления подстанцией, а их новая технология SICAM является способом достижения этого. Именно поэтому системы SICAM размещают устройства управления процессом и устройства защиты на общей шине.

11.5. Системы управления в электроэнергетике ALSTOM

Компанией ALSTOM производятся четыре системы для использования в автоматике сетей электроснабжения, а именно: «S10. Система управления подстанцией, основанная на защите», «S100. Система объединенной защиты и управления подстанцией», «PSCN 3020. Система объединенной защиты и распределенного цифрового управления» и «SPACE 2000. Программа защиты и управления для передающих подстанций».

Компания ALSTOM предлагает множество разнообразных цифровых реле, варьирующихся от реле, ориентированных на защиту, с ограниченными коммуникационными свойствами, до эксплуатационно-адаптируемых ИЭУ, называемых компанией ALSTOM «устройствами защиты и контроля отсека». Выпускаются также устройства для управления отсеком и мониторинга, используемые в сочетании с защитными реле.

Измерения и записи нарушений нормального режима, как правило, включены в функции защитных реле, а также контроллеров отсека.

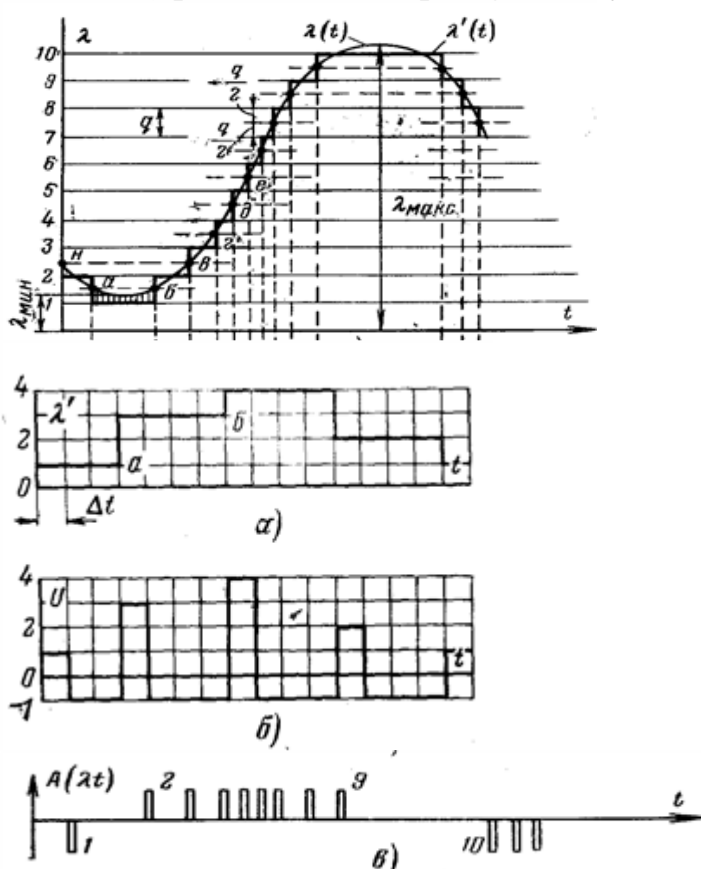
Лекция 12

12. Системы телеобработки данных

12.1. Адаптивные системы телемеханики

Наиболее совершенными являются ТИ-системы, которые сводят к минимуму передачу избыточной информации. Для этого режим их работы должен приспосабливаться (адаптироваться) в первую очередь к характеристикам передаваемых сигналов.

К простейшим методам относится выбор вида модуляции, соответствующего передаваемому сообщению. Если сообщение на значительных отрезках времени не изменяется, то целесообразно использовать: а) разностно-дискретную модуляцию или б) $\lambda\Delta$ -модуляцию.



При $\lambda\Delta$ -модуляции сигналы передаются лишь в момент изменения сообщения, позволяя тем самым снизить частоту передачу, а значит увеличить их длительность и соответственно уменьшить полосу частот, необходимую для передачи по каналу связи.

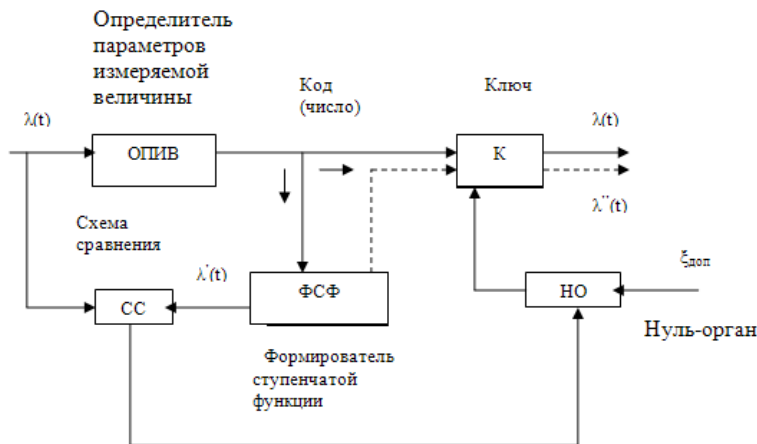
Вместо термина «уменьшение избыточной информации» пользуются термином «сжатие данных».

Среди методов построения систем со сжатием - данных наиболее разработанным является метод сокращения числа передаваемых координат измеряемого сообщения. Непрерывная функция заменяется ступенчатой. В некоторых интервалах времени получается излишне большая точность

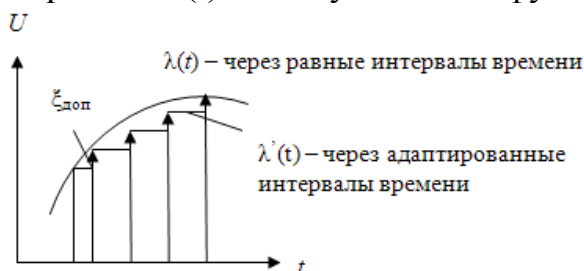
передачи, превышающая заданную погрешность квантования $\pm\Delta$, что делает передачу значений функции в эти интервалы целесообразной. С другой стороны, выбранный шаг квантования оказывается недостаточным для получения заданной погрешности в моменты крутого нарастания функции. В моменты, когда погрешность аппроксимации Δ достигает максимально допустимого Δ_{\max} , но не превышает его, передаются ординаты $\lambda''(t)$ в моменты t_1' , t_2' , t_3' . Системы построенные по такому принципу, называются системами с адаптивной дискретизацией. В них интервал Δt адаптируется (приспосабливается) к характеру изменения сообщения. Происходит квантование по времени (дискретизация) с переменным шагом квантования.

Интервал дискретизации Δt_i , при котором погрешность аппроксимации $\xi(t)$ не превышает заданного значения $\xi_{\text{доп}}$, определяется адаптивным временным дискретизатором (АВД), а значение текущей погрешности аппроксимации - преобразователем погрешности аппроксимации (ППА). Оба эти устройства называют анализаторами активности сигналов (ААС).

Упрощенная схема одного из вариантов ААС:



После определения параметров измеряемой величины (блок ОПИВ) в блоке ФСФ формируется ступенчатая функция $\lambda'(t)$ и ее параметры сравниваются с параметрами функции $\lambda(t)$ в схеме сравнения СС, на выходе которой образуется сигнал подается на нуль-орган, на который поступает также заданная погрешность аппроксимации $\xi_{\text{доп}}$. При достижении уровня $\xi(t) = \xi_{\text{доп}}$ с нуль-органа поступает на ключ К сигнал, означающий окончание интервала дискретизации Δt_i . По желанию на выходе можно получить значение ординат $\lambda(t)$ или ступенчатой функции $\lambda''(t)$.



12.2. Структура системы телеобработки данных

Под телеобработкой понимается обработка данных (прием данных от источника, их преобразование вычислительными средствами и выдача результатов потребителю), передаваемых по каналам связи. Различают системную и сетевую телеобработку.

Системная телеобработка основана на принципе централизованной обработки данных, когда удаленным пользователям, как правило, не имеющим своих вычислительных ресурсов, обеспечивается доступ к ресурсам одной высокопроизводительной ЭВМ (мэйнфрейма) или вычислительной системы по каналам связи.

Сетевая телеобработка основана на принципе распределенной обработки данных, реализуемой совокупностью ЭВМ, объединенных в сеть и взаимодействующих между собой с помощью каналов связи и специального сетевого оборудования.

Реализация системной телеобработки информации осуществляется на основе использования систем телеобработки данных (СТОД).

Система телеобработки данных представляет собой совокупность технических и программных средств, обеспечивающих одновременный и независимый удаленный доступ большого количества абонентов (пользователей, объектов управления) к централизованным информационно-вычислительным ресурсам.

Структурная схема типовой системы телеобработки данных приведена на рис. 12.1.

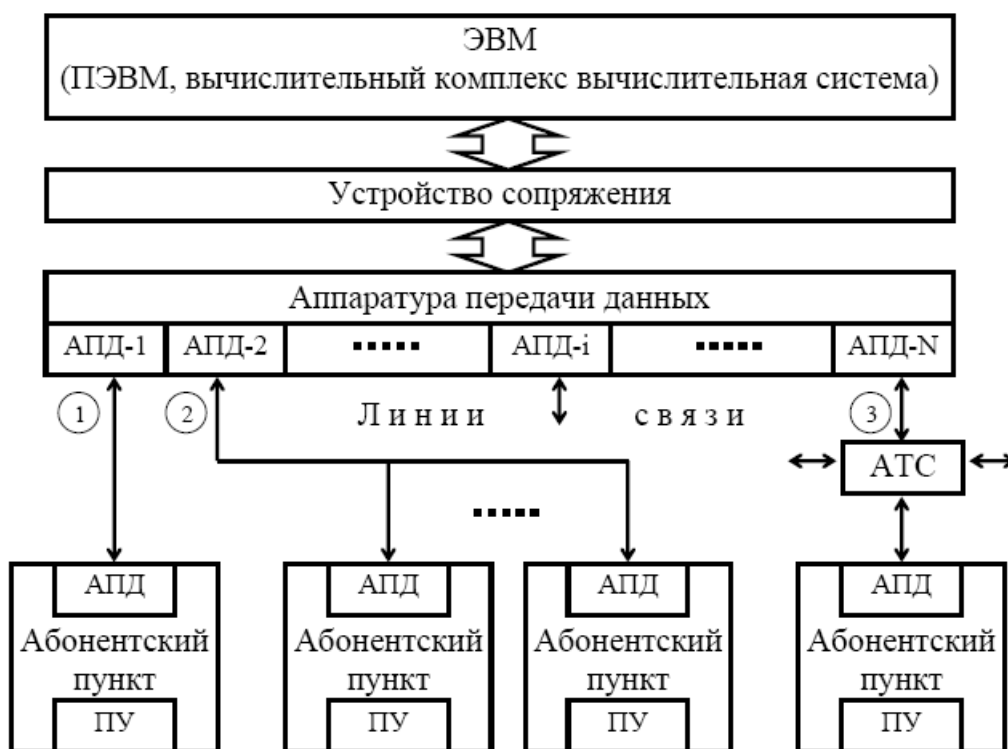


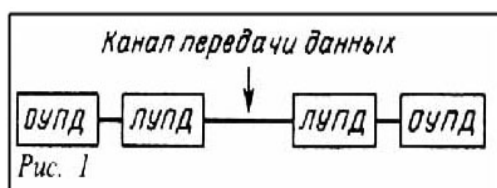
Рис. 12.1. Структура системы телеобработки данных

Технические средства СТОД, как правило, включают в себя:
универсальную ЭВМ (ПЭВМ, вычислительный комплекс или систему);
устройства сопряжения (УС) ЭВМ с аппаратурой передачи данных (АПД);

аппаратуру передачи данных с линиями связи, образующими в совокупности каналы связи (КС);
абонентские пункты (АП).

12.3. Сети передачи данных.

Общая структура системы передачи данных показана на рис. 1. Она включает канал передачи данных, на каждом конце которого находятся линейное устройство передачи данных (ЛУПД) и оконечное устройство передачи данных (ОУПД). В официальном издании рекомендаций бывшего МККТТ на английском языке приняты названия Data Circuit terminating Equipment (DCE) и Data Terminal Equipment (DTE). В русском переводе упомянутого документа использованы термины: аппаратура окончания канала данных (АКД) и оконечное оборудование данных (ООД), которые представляются не вполне удачными с точки зрения традиций русскоязычной научно-технической терминологии.



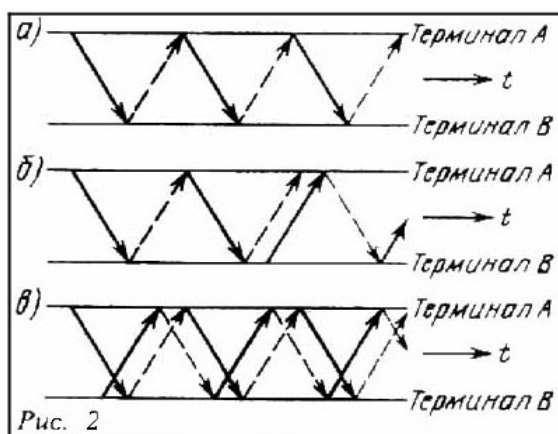
Именно поэтому автор предпочитает более понятные названия, приведенные в тексте. Необходимость введения таких понятий объясняется расширением номенклатуры абонентских устройств, существенно усложняющих задачи их согласования с линией связи.

Телетайпы и другие терминалы с клавиатурой, снабженные устройствами отображения или не имеющие таковых, системы дистанционного ввода заданий с устройствами считывания, печатающие устройства и сканеры, автоматизированные лабораторные установки с различными физическими датчиками, персональные или любые другие ЭВМ с разнообразными периферийными устройствами - все они охватываются понятием ОУПД при условии, что включены для работы в сеть связи. Задачей ЛУПД является также преобразование сигналов. Если канал передачи данных аналоговый, то данные от терминала поступают на модем (модулятор-демодулятор). Если же канал передачи данных является цифровым, то двоичные данные преобразуются в стандартную форму сбалансированного кода для передачи по линии сигналами, не содержащими составляющей постоянного тока. Другой функцией ЛУПД является

выполнение совместно с ОУПД процедур установления, поддержания и прекращения соединений между передающим и приемным концами. Канал передачи данных - это любая передающая среда. По способу его работы различают симплексную, полудуплексную и дуплексную связь (рис. 2). При симплексной связи, показанной на рис. 2, а, данные всегда перемещаются в одном направлении, как показано сплошными линиями. При этом не исключается возможность передачи в противоположном направлении подтверждений со стороны приемного конца, которые показаны штриховыми линиями.

При полудуплексной связи (рис. 2, б) данные передаются в обоих направлениях, но попеременно. Термин "полудуплексная связь", означающий попеременное применение симплексной связи то в одном, то в другом направлении, не применялся в технике связи до его введения специалистами по вычислительной технике.

При дуплексной связи, как показано на рис. 2, в, данные передаются в обоих направлениях одновременно. При этом как при полудуплексной, так и при дуплексной связи также передаются подтверждения, показанные штриховыми линиями. Физически для симплексной или полудуплексной работы должна использоваться либо одна пара проводов, по которой сигналы передаются в обоих направлениях, либо две пары проводов, по каждой из которых сигналы передаются в одном направлении. Первый способ применяется, когда в тракте нет усилителей, и называется двухпроводным соединением. Второй способ применяется при наличии усилителей и называется четырехпроводным соединением. Дуплексная работа требует четырехпроводного соединения.



Если работа передающего и приемного концов тракта передачи данных полностью согласована во времени, то на приемном конце каждый переданный символ может быть выделен. В противном случае символы выделяются с помощью специальных разделительных знаков: стартового (пробела) и стопового (посылки). Первый способ называется синхронной передачей, второй - асинхронной. В терминалах передачи данных со

скоростью до 1,2 кбит/с, как и в телетайпах, применяют асинхронную передачу. В терминалах же со скоростью передачи 2,4 кбит/с и выше применяется синхронная передача.

Широкое применение систем передачи данных началось в 1960-х гг. как по телефонным сетям общего пользования, так и по специализированным сетям. Главные недостатки систем передачи данных по телефонным сетям состоят в том, что для таких систем требуются модемы, а время установления соединения составляет по меньшей мере 15 с, а обычно - значительно больше. Кроме этого, качество передачи в этом случае зависит от характеристик телефонных каналов. Они могут меняться от соединения к соединению и подвергаться воздействию помех, в частности, от работы коммутационных приборов на телефонных станциях электромеханических систем. Некоторое улучшение качества передачи может быть достигнуто при использовании арендованных телефонных линий, но для них также требуются модемы. За выигрыш же возможного улучшения качества передачи приходится расплачиваться заботами о сокращении простоев линий. В ходе таких забот во многих странах разрабатывались и применялись схемы коллективного использования арендованных линий путем формирования групп абонентов, подключения терминалов в разных точках трассы абонентской линии, мультиплексирования, применения других методов.

Одновременно велось создание специализированных сетей. При этом были испытаны различные структуры схем и различные методы коммутации. Среди наиболее распространенных структур встречаются узловые (звездообразные), кольцевые, полносвязные, а также схемы типа шины. Для более сложных структур, которые могут включать в качестве составных частей перечисленные схемы, необходимо применение узлов коммутации. На основании анализа эффективности различных методов передачи данных в начале 1970-х гг. были определены области предпочтительного применения различных систем передачи. Они показаны на графике рис. 3. Как видно из графика, выбор предпочтительного способа передачи зависит как от общего объема передачи (нагрузки), так и от средней длины передаваемых сообщений. Например, применение коммутируемой телефонной сети оправдано лишь при небольших нагрузках. При умеренных же нагрузках, но не очень длинных сообщениях, предпочтительнее сеть с пакетной коммутацией. Именно поэтому во многих странах мира созданы специализированные сети передачи данных общего пользования с коммутацией пакетов. Технические средства для таких сетей быстро совершенствовались. В 1976 г. МККТТ была принята рекомендация X.25. В 1980 и 1984 гг. она подверглась переработкам. Рекомендация X.25 касается соединения терминалов передачи данных, ЭВМ и других пользовательских систем с сетями передачи данных и описывает протоколы взаимодействия различных устройств.

На нижнем (физическом) уровне устанавливаются стандарты на механические разъемы и электрические характеристики линий связи, на передаваемые по ним цифровые сигналы, включая сигналы занятия линии и ее освобождения. Эти стандарты описаны в рекомендации X.21 и за недостатком места здесь не рассматриваются. На втором (канальном) уровне определяются требования к средствам передачи информации по участку цифрового канала между двумя соседними узлами в виде блоков данных, называемых кадрами.



При этом предусматривается возможность обнаружения ошибок в кадре и их исправления после автоматического переопроса и повторной передачи искаженного кадра. Указанные функции определяются применительно ко всему цифровому потоку, передаваемому по данному участку, и не зависят от того, каким пользователям и по каким адресам передаются отдельные сообщения, входящие в общий поток.

На третьем (сетевом) уровне определяются требования к системе передачи информации в виде блоков данных, называемых пакетами. Помимо полезной информации, пакеты несут управляющую информацию об адресах отправителя и получателя, порядковую нумерацию и некоторые другие служебные данные. Описанное разделение функций позволяет в одном физическом цифровом канале создать большое число логических (так называемых виртуальных) каналов. Они одновременно работают между разными пользователями, которые могут находиться в одном или разных пунктах.

Перед тем как перейти к рассмотрению особенностей второго и третьего уровней сети X.25, уточним некоторые понятия. Будем называть блоком данных произвольный набор символов, предназначенных для передачи по каналу связи. В зависимости от состава (формата) блока, а также его назначения в конкретных случаях блокам могут быть присвоены разные названия. Например, блок данных, передаваемых по СПД общеканальной телефонной сигнализации № 7, называют сигнальной единицей. В этой статье рассматриваются блоки данных, называемые кадрами и пакетами, а в следующей беседе, посвященной технологии АТМ, будут рассматриваться

блоки данных, называемые ячейками. Необходимость такого уточнения вызвана тем, что в литературе часто можно встретить термин "пакет" применительно к любому блоку данных, в том числе такому, который с точки зрения рекомендации Х.25 пакетом не является. Именно поэтому читателю, который встретит термин "пакет", можно лишь порекомендовать в каждом конкретном случае внимательно разбираться с тем, какой именно блок данных имеется в виду.

12.4. Абонентский пункт сети передачи данных.

На абонентском пункте сети передачи данных располагается аппаратура передачи данных (АПД), устройство управления (УУ), устройство ввода-вывода информации (УВВ). В состав АПД в общем случае входит приемопередатчик и устройство преобразования сигналов УПС.

В зависимости от характера передаваемой информации и назначения АП в качестве УВВ используют телетайпы, дисплеи с клавиатурой, печатающие устройства, устройства с перфолентами и магнитными дисками и т. д. Связь УВВ с АПД осуществляется через УУ, которое обеспечивает согласование скоростей передачи УВ и АПД, формирование процесса передачи и приема данных, обнаружение и устранение ошибок передачи данных, выполнение заданной программы обработки данных.

Объем функциональных возможностей УУ определяется назначением АП и в общем случае может меняться от простейших процессов преобразования сигналов до. сложнейших процедур обработки передаваемых и получаемых данных. В последнем случае функции управления возлагаются на УУ, выполненное на базе микро-ЭВМ.

Вся совокупность перечисленного, оборудования часто в технической литературе просто, называется абонентским пунктом сети передачи данных.

Выбор того или иного типа АП диктуется объемом передаваемой информации и особенностями конкретных задач, возлагаемых на АП данного объекта. Простейшим АП является телетайп, работающий по телеграфному коммутируемому каналу или в сети коммутируемых каналов передачи данных.

Для работы телетайпа могут быть использованы также каналы телемеханики со скоростями передачи 100 и 200 Бод.

Телетайп обеспечивает связь по коммутируемой сети передачи данных не только с ПУ, но и с любым абонентом данной сети, имеющим телетайпы. Связь может осуществляться как в диалоговом режиме (в режиме прямых переговоров), так и в симплексном режиме передачи пакетов информации. В качестве АПД для телетайпа используются телеграфные устройства преобразования сигналов УПС — ТГ (Модем 100, Модем 200) или модемы каналов телемеханики.

К категории сложных АП относится «Аккорд 1200», работающий по коммутируемым и некоммутируемым каналам телефонной связи (каналам тональной частоты).

В аппаратуре передачи данных «Аккорд 1200 ПП» в качестве устройства преобразования сигналов используется Модем 1200 с частотной модуляцией. «Аккорд 1200» позволяет по стандартному каналу тональной частоты передавать дискретные сигналы со скоростью 600 или 1200 Бод. Модем 1200 позволяет осуществлять дуплексную передачу при подключении его к четырехпроводному входу канала тональной частоты или симплексную передачу при подключении к каналу со стороны двухпроводного низкочастотного окончания. Модем 1200 предназначен для работы в системах передачи данных с обратной связью, поэтому предусмотрено наличие двух каналов передачи информации— прямого и обратного, которые образуются путем соответствующего частотного разделения полосы рабочих частот канала тональной частоты. Канал с характеристическими частотами 390 (И 450 Гц является обратным каналом связи, по которому передаются сигналы запроса со скоростью 75 Бод при средней частоте передачи 420 Гц и девиации ± 30 Гц. Канал, предназначенный для передачи со скоростью 600 Бод, использует характеристические частоты 1300 и 1700 Гц при средней частоте передачи 1500 Гц и девиации ± 200 Гц. При передаче со скоростью 1200 Бод используются характеристические частоты 1100 и 2100 Гц при средней частоте передачи 1700 Гц и девиации ± 400 Гц.

В качестве устройства ввода-вывода информации используется перфорированная лента. В пункте передачи эта лента заготавливается на телетайпе или перфораторе. Подготовленная к передаче информация фиксируется на перфоленте в виде круглых отверстий, расположенных на 5—8 дорожках ленты в соответствии с кодовым содержанием передаваемого знака. Для передачи подготовленная перфолента вводится в «Аккорд 1200», где с помощью фотосчитывающего устройства «дырочная» комбинация преобразуется в кодовую комбинацию первичных сигналов. На приемном конце приемное устройство «Аккорд 1200» воспринимает кодовые комбинации сигналов и фиксирует их на такой же перфорированной ленте. «Аккорд 1200 ПП» не рассчитан на прямую связь с ЭВМ, эта связь осуществляется через промежуточный носитель информации — перфоленту. Для обеспечения высокой достоверности передачи информации в аппаратуре «Аккорд 1200 ПП» предусмотрены устройства защиты от ошибок УЗО, используется исправляющий код и реализован способ передачи информации с «переспросом» (квитированием).

Процесс передачи информации с помощью «Аккорд 1200 ПП» предусматривает выполнение следующих операций:

- а) оператор передающего АП заготавливает перфоленту с полным массивом информации, подлежащей передаче;

переводит «Аккорд» в режим служебной телефонной связи и осуществляет ipso автоматизированной сети телефонной связи вызов нужного АП;
после осуществления соединения переводит устройство в режим передачи данных и вводит в него заготовленную перфоленту;
б) устройство «Аккорд 1200» пункта передачи разбивает всю информацию, подлежащую передаче, на блоки (пакеты) заданного объема;
считывает с перфоленты и записывает в блок памяти (БП) аппаратуры два первых блока информации;

12.5. Включение ЭВМ в сеть передачи данных.

Для построения компьютерных сетей применяются линии связи, использующие различную физическую среду. В качестве физической среды в коммуникациях используются: металлы (в основном медь), сверхпрозрачное стекло (кварц) или пластик и эфир. Физическая среда передачи данных может представлять собой кабель "витая пара", коаксиальный кабель, волоконно-оптический кабель и окружающее пространство.

Линии связи или линии передачи данных - это промежуточная аппаратура и физическая среда, по которой передаются информационные сигналы (данные).

В одной линии связи можно образовать несколько каналов связи (виртуальных или логических каналов), например путем частотного или временного разделения каналов. Канал связи - это средство односторонней передачи данных. Если линия связи монополярно используется каналом связи, то в этом случае линию связи называют каналом связи.

Канал передачи данных - это средства двухстороннего обмена данными, которые включают в себя линии связи и аппаратуру передачи (приема) данных. Каналы передачи данных связывают между собой источники информации и приемники информации.

В зависимости от физической среды передачи данных линии связи можно разделить на:

- проводные линии связи без изолирующих и экранирующих оплеток;
- кабельные, где для передачи сигналов используются такие линии связи как кабели "витая пара", коаксиальные кабели или оптоволоконные кабели;
- беспроводные (радиоканалы наземной и спутниковой связи), использующие для передачи сигналов электромагнитные волны, которые распространяются по эфиру.

Проводные линии связи

Проводные (воздушные) линии связи используются для передачи телефонных и телеграфных сигналов, а также для передачи компьютерных данных. Эти линии связи применяются в качестве магистральных линий связи.

По проводным линиям связи могут быть организованы аналоговые и цифровые каналы передачи данных. Скорость передачи по проводным линиям "простой старой телефонной линии" (POST - Primitive Old Telephone System) является очень низкой. Кроме того, к недостаткам этих линий относятся помехозащищенность и возможность простого несанкционированного подключения к сети.

Кабельные линии связи

Кабельные линии связи имеют довольно сложную структуру. Кабель состоит из проводников, заключенных в несколько слоев изоляции. В компьютерных сетях используются три типа кабелей.

Витая пара (twisted pair) — кабель связи, который представляет собой витую пару медных проводов (или несколько пар проводов), заключенных в экранированную оболочку. Пары проводов скручиваются между собой с целью уменьшения наводок. Витая пара является достаточно помехоустойчивой. Существует два типа этого кабеля: неэкранированная витая пара UTP и экранированная витая пара STP.

Характерным для этого кабеля является простота монтажа. Данный кабель является самым дешевым и распространенным видом связи, который нашел широкое применение в самых распространенных локальных сетях с архитектурой Ethernet, построенных по топологии типа “звезда”. Кабель подключается к сетевым устройствам при помощи соединителя RJ45.

Кабель используется для передачи данных на скорости 10 Мбит/с и 100 Мбит/с. Витая пара обычно используется для связи на расстояние не более нескольких сот метров. К недостаткам кабеля "витая пара" можно отнести возможность простого несанкционированного подключения к сети.

Коаксиальный кабель (coaxial cable) - это кабель с центральным медным проводом, который окружен слоем изолирующего материала для того, чтобы отделить центральный проводник от внешнего проводящего экрана (медной оплетки или слой алюминиевой фольги). Внешний проводящий экран кабеля покрывается изоляцией.

Существует два типа коаксиального кабеля: тонкий коаксиальный кабель диаметром 5 мм и толстый коаксиальный кабель диаметром 10 мм. У толстого коаксиального кабеля затухание меньше, чем у тонкого. Стоимость коаксиального кабеля выше стоимости витой пары и выполнение монтажа сети сложнее, чем витой парой.

Коаксиальный кабель применяется, например, в локальных сетях с архитектурой Ethernet, построенных по топологии типа “общая шина”. Коаксиальный кабель более помехозащищенный, чем витая пара и снижает собственное излучение. Пропускная способность — 50-100 Мбит/с. Допустимая длина линии связи — несколько километров. Несанкционированное подключение к коаксиальному кабелю сложнее, чем к витой паре.

Кабельные оптоволоконные каналы связи. Оптоволоконный кабель (fiber optic) — это оптическое волокно на кремниевой или пластмассовой

основе, заключенное в материал с низким коэффициентом преломления света, который закрыт внешней оболочкой.

Оптическое волокно передает сигналы только в одном направлении, поэтому кабель состоит из двух волокон. На передающем конце оптоволоконного кабеля требуется преобразование электрического сигнала в световой, а на приемном конце обратное преобразование.

Основное преимущество этого типа кабеля – чрезвычайно высокий уровень помехозащищенности и отсутствие излучения. Несанкционированное подключение очень сложно. Скорость передачи данных 3 Гбит/с. Основные недостатки оптоволоконного кабеля – это сложность его монтажа, небольшая механическая прочность и чувствительность к ионизирующим излучениям.

Беспроводные (радиоканалы наземной и спутниковой связи) каналы передачи данных

Радиоканалы наземной (радиорелейной и сотовой) и спутниковой связи образуются с помощью передатчика и приемника радиоволн и относятся к технологии беспроводной передачи данных.

Радиорелейные каналы передачи данных
Радиорелейные каналы связи состоят из последовательности станций, являющихся ретрансляторами. Связь осуществляется в пределах прямой видимости, дальности между соседними станциями - до 50 км. Цифровые радиорелейные линии связи (ЦРРС) применяются в качестве региональных и местных систем связи и передачи данных, а также для связи между базовыми станциями сотовой связи.

12.6. Особенности каналов передачи данных в энергосистемах.

Цифровые системы передачи классифицируются по следующим признакам:

1. По принципам разделения каналов различают ЦСП:
 - с временным разделением каналов (ЦСП с ВРК);
 - с частотным разделением каналов (ЦСП с ЧРК), имеющие специальное оборудование, преобразующее многоканальный (групповой) сигнал систем передачи с частотным разделением каналов (СП с ЧРК) в цифровой сигнал и обратно.
2. По способам формирования канальных сигналов различают ЦСП:
 - с амплитудно-импульсной модуляцией (АИМ);
 - с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ);
 - с импульсно-кодовой модуляцией и временным разделением каналов (ЦСП ИКМ-ВРК);
 - с импульсно-кодовой модуляцией и частотным разделением (или делением) каналов (ЦСП ИКМ-ЧД);
 - с дифференциальной импульсно-кодовой модуляцией и временным разделением каналов (ДИКМ-ВРК);
 - на основе дельта-модуляции с ВРК или ЧД.

3. По способам объединения цифровых потоков с целью формирования цифровых каналов и цифровых трактов более высокого порядка различают:

- ЦСП ИКМ-ВРК с асинхронным объединением цифровых потоков или систем плезиохронной цифровой иерархии (ПЦИ) ;
- ЦСП ИКМ-ВРК с синхронным объединением цифровых потоков или систем синхронной цифровой иерархии (СЦИ);

Процесс объединения нескольких входных цифровых потоков нижнего уровня (компонентных потоков) в один поток более высокого уровня для его передачи по одному выходному или агрегатному каналу (потoku) называется мультиплексированием.

4. В зависимости от среды распространения сигналов электросвязи различают ЦСП:

- по электрическим (металлическим) симметричным и коаксиальным кабелям;
- по волоконно-оптическим кабелям;
- по радиорелейным и спутниковым линиям передачи.

5. По месту ЦСП в структуре первичных сетей Взаимоувязанной сети связи Российской Федерации различают ЦСП:

- для местных первичных сетей;
- для внутризоновых первичных сетей;
- для магистральных первичных сетей;
- для сетей абонентского доступа;
- для технологических сетей связи, например, железнодорожного, воздушного или водного транспорта, управления нефте- и газопроводами, энергосистемами и др.;
- для корпоративных и ведомственных сетей различного назначения.

В настоящее время в нашей стране создаётся цифровая первичная сеть (ЦПС), представляющая базовую сеть типовых универсальных цифровых каналов передачи и сетевых трактов, или транспортную сеть, образованную на базе сетевых узлов (СУ), сетевых станций (СС) и соединяющих их линий передачи.

На основе ЦПС создаются разнообразные цифровые вторичные сети (ЦВС). Сетевые узлы и станции представляют собой комплекс оборудования ЦСП различных сетевых технологий, предназначенный для формирования и перераспределения цифровых каналов и трактов и подключения ЦВС.

По числу ОЦК различают:

- малоканальные ЦСП с числом каналов $N \leq 30$;
- среднеканальные ЦСП с числом каналов $N \leq 480$;

- многоканальные ЦСП с числом каналов $N \geq 1920$.

Лекция 13

13. Проектирование и эксплуатация систем телемеханики

13.1. Техничко-экономическая эффективность устройств управления в электроэнергетике.

В настоящее время в связи с кризисными явлениями в экономике трудно прогнозировать уровни энергопотребления в России. Однако общая тенденция к его увеличению остается неизменной, неясны лишь темпы роста общих энергетических нагрузок и годового потребления, которые, если судить по общемировому стремлению к сдерживанию энергозатрат, по-видимому, станут более низкими, чем в прежние годы. Наиболее эффективно энергосбережение на предприятиях при комплексном решении технических, технико-экономических и организационных вопросов, относящихся ко всей энергетике предприятия - к системам энергоснабжения и энергоиспользования и к управлению энергетическим хозяйством. Техничко-экономические и организационные проблемы заключаются в совершенствовании выполнения функций управления. Основные технические проблемы промышленной энергетике и способы их решения на предприятиях имеют следующие направления:

- замена оборудования (техническое перевооружение), видов энергии, энергоносителей, обрабатываемых материалов наиболее выгодными, имеющими лучшие технические, энергетические и техникоэкономические показатели;
- модернизация промышленного оборудования, особенно технологических аппаратов, с повышением полезного использования энергии в них и сокращением потерь, прежде всего энергетических;
- интенсификация производственных процессов с повышением загрузки технологического оборудования и соответственно снижением удельных энергозатрат на единицу продукции, полупродукта, сырья, обрабатываемого материала на работу или операцию;
- введение дополнительных устройств --- дооборудование технологических энергоиспользующих установок и процессов при улучшенном оснащении, установке дополнительного, в том числе вспомогательного, оборудования, приборов и автоматики для оптимизации производства и сокращения удельных энергозатрат;
- изменение рабочих параметров оборудования и энергии в целях улучшения технико-экономических показателей производственных процессов;
- улучшение использования энергии внутри технологических энергоиспользующих установок, сокращение прямых потерь и соответствующее повышение КПД;
- улучшение использования вторичных энергетических ресурсов;
- повышение надежности энергоснабжения и работы энергооборудования в

целях предотвращения аварийных остановов и простоев, связанных с материальными и энергетическими потерями. Эти направления относятся к конкретным элементам энергетики промышленного предприятия в системах энергоснабжения и энергоиспользования, где в энергетическое хозяйство предприятия входит все энергоснабжение и частично энергоиспользование --- энергоприемники технологических установок, обслуживаемые энергетиками. Вся область проведения энергосберегающих мероприятий, классифицированная по направлениям и элементам заводской энергетики, показана в табл. 11.4, где каждая клетка со знаком «+» означает группу мероприятий, например «Модернизация заводских источников энергии» или «Повышение надежности энергоприемников» и т.п. Если сочетание направления и элемента не имеет смысла (например, «Дополнительные устройства ... обрабатываемого материала»), в клетке стоит знак «--».

Таблица 11.4

**Основные направления энергосбережения на промышленном предприятии
(по элементам заводской энергетики)**

Элементы энергети- ки промышленного предприятия	Замена	Модер- низация	Интен- сифи- кация	Дополни- тельные устройства	Из- ме- не- ние	Улучшение использования энергии в агрегате		По- вто- ре- ние
						внутри	вне	
Заводские источ- ники энергии	+	+	+	+	+	+	+	+
Заводские преоб- разователи энер- гии	+	+	+	+	—	+	—	+
Заводские энерге- тические комму- никации (сети)	+	+	+	—	+	+	—	+
Первичная энергия	+	—	+	—	+	+	+	+
Энергоприемник технологической установки	+	+	+	+	—	+	—	+
Передача энергии из энергоприем- ника в аппарат	+	+	+	+	+	+	—	+
Технологический аппарат	+	+	+	+	+	+	+	+
Обрабатываемый материал	+	—	—	—	+	+	+	—

Таблица-матрица представляет собой трафарет, с помощью которого может быть намечен достаточно полный перечень энергосберегающих мероприятий, исходя из технического состояния и сегодняшних характеристик экономичности, по каждой единице энергооборудования, в каждом элементе промышленной энергетики на данном предприятии (см. табл. 11.4). Техничко-экономические расчеты, которые могут проводиться по методическим положениям, позволят определить экономический эффект каждого мероприятия. По величине этого эффекта, а также по различным

экономико-технологическим показателям (наличия средств, оборудования, возможности остановки производства и др.) следует ранжировать намеченные мероприятия по очередности и срокам их выполнения, т.е. составить перспективный план энергосбережения. Наиболее эффективна замена старого оборудования на новое, прогрессивное и экономичное, т.е. техническое перевооружение, затрагивающее основное производство и энергетику предприятия и требующее солидных инвестиций. Другие направления энергосбережения хотя в большинстве случаев менее эффективны, но и менее капиталоемкие и могут быть реализованы собственными силами.

Экономическая сущность технического перевооружения - компенсация физического и морального износа оборудования. Замена изношенного оборудования не требует обоснования, поскольку оно снижает надежность работы, требует повышенных затрат на ремонтное обслуживание и имеет низкие эксплуатационные характеристики. Оценка морального износа значительно сложнее, и замена оборудования по этому показателю требует экономического обоснования. Замене могут подлежать также:

- виды энергии при выборе наиболее рационального энергоносителя для производственных процессов;
 - способ передачи энергии из энергоприемника в технологический аппарат (например, замена редуктора, регулирующего число оборотов, на современный электропривод);
 - вид и качество материала в целях снижения энергозатрат на его обработку (например, повышение концентрации растворов, дробление или агломерирование материалов, применение пластмасс вместо металлов и др.).
- Модернизация энергетического и технологического оборудования также компенсирует моральный износ, ее эффективность иногда выше, чем перевооружения, благодаря существенно меньшим капитальным затратам, особенно если она осуществляется своими силами. Эффективность ее проведения можно оценить, используя такой критерий, как суммарные дисконтированные затраты, руб/год:

$$3 \sum D \Rightarrow \min.$$

Расчеты проводятся для вариантов работы на базовом и модернизированном оборудовании:

$$3_{\sum б}^д = \sum_{t=1}^{T_p} (b_{б,t} \Pi_t \Pi_{т,t} + I'_{б.экс,t}) (1+E)^{-t};$$

$$3_{\sum м}^д = \sum_{t=1}^{T_p} (b_{м,t} \Pi_t \Pi_{т,t} + I'_{м.экс,t} + K_{м,t}) (1+E)^{-t},$$

где $b_{б,t}$ и $b_{м,t}$ --- удельные расходы энергоресурсов (в условном топливе) на базовом и модернизированном оборудовании, т у.т./ед. пр.; Π_t --- годовая производительность, ед. пр/год; $\Pi_{т,t}$ --- цена энергоресурса, руб/т у.т.; $I'_{б.экс}$

$I'_{т}$ и $I'_{м.экс}$ --- эксплуатационные расходы (кроме энергетических затрат)

при работе на базовом и модернизированном оборудовании, руб/год; E --- норматив дисконтирования; $K_m t$ --- капитальные затраты на модернизацию, руб.; T_p --- время расчетного периода, лет. Интенсификация производственных процессов должна выражаться в увеличении производительности установок без существенных изменений конструкции за счет либо ускорения технологических и других производственных процессов, либо их лучшей организации, либо использования прогрессивных материалов. Как правило, интенсификация процессов должна вести к повышенному, ускоренному физическому износу оборудования, что оправдано, если уравниваются сроки физического и морального износа, но может привести к быстрому выходу оборудования из строя, если интенсификация не сопровождается усиленной профилактикой и повышенным ремонтным обслуживанием. При интенсификации производственных процессов снижается себестоимость выпускаемой продукции за счет уменьшения условно-постоянных расходов. Эффективность интенсификации может быть оценена по критерию чистого дисконтированного дохода, определяемого соответственно для базового и интенсифицированного режимов работы оборудования: $ЧДД \Rightarrow \max$;

$$ЧДД_б = \sum_{t=1}^{T_p} (P_{бt} - \bar{s}_б П_{бt} - H_t + I_{амt})(1 + E_{ср})^{-t};$$

$$ЧДД_и = \sum_{t=1}^{T_p} (P_{ит} - \bar{s}_и П_{ит} - H_t + I_{амt} - K_{ит})(1 + E_{ср})^{-t},$$

где $P_{бt}$ и $P_{ит}$ --- поток платежей соответственно при базовом и интенсифицированном режимах работы оборудования, руб/год; b и s --- себестоимость продукции в базовом и интенсифицированном режимах работы оборудования, руб/ед. пр.; $P_{бt}$ и $P_{ит}$ --- годовая производительность до и после интенсификации, ед. пр/год; H_t --- налог на прибыль; $I_{амt}$ --- амортизационные отчисления, руб/год. При расчетах амортизационных отчислений необходимо учесть изменение нормы амортизации после интенсификации, руб/год:

$$I_{амt} = N_a K_b + N_i K_i,$$

где N_a и N_i --- нормы амортизации в базовом и интенсифицированном режимах работы оборудования; K_b --- балансовая стоимость оборудования, руб.; K_i --- капитальные затраты на интенсификацию режима, руб. Если выделить энергетическую составляющую в себестоимости промышленной продукции, то эта формула примет вид

$$ЧДД_б = \sum_{t=1}^{T_p} (P_{бt} - b_б П_{бt} \Pi_t - S_{пост.б} П_{бt} - H_t + I_{амt})(1 + E_{ср})^{-t};$$

$$ЧДД_и = \sum_{t=1}^{T_p} (P_{ит} - b_и П_{ит} \Pi_t - S_{пост.и} П_{ит} - H_t + I_{амt} - K_{ит})(1 + E_{ср})^{-t},$$

где b_b и b_i --- удельные расходы энергоресурсов (в условном топливе) в базовом и интенсифицированном режимах работы, т у.т/ед. пр.; $пост.б S$ и $пост.и S$ --- условно-постоянная составляющая себестоимости без

энергетической части в базовом и интенсифицированном режимах работы, руб/ед.пр. Введение дополнительных устройств для повышения производительности или улучшения режимов связано с совершенствованием производственных процессов при таких вариантах его реализации:

- установка дополнительного оборудования (основного или вспомогательного) для упорядочения производственного процесса, «расшивка узких мест», содержащих рост общую производительность участка, цеха, предприятия;
- установка дополнительного энергетического оборудования и устройств для улучшения энергообеспечения потребителей, в том числе для повышения качества (надежности) энергоснабжения --- местная, локальная реконструкция энергохозяйства;
- установка устройств, управляющих процессами основного и энергетического производства, в том числе при выработке, передаче и потреблении энергоресурсов, оптимизирующих их и сокращающих потери и затраты энергии, --- автоматизация процессов, улучшение приборного учета, введение устройств местного или централизованного контроля и регулирования и т.п.

В первом и втором вариантах энергоэкономическая оценка может производиться так же, как при модернизации оборудования, в третьем случае --- как для интенсификации производственных процессов. Изменение параметров оборудования и энергии должно привести к интенсификации производства, и экономическая оценка проводится по тем же показателям. Для основного технологического оборудования это возможно как по интенсивности (увеличение загрузки, заполнение аппаратов, повышение скорости процессов), так и по экстенсивности --- для периодических процессов (увеличение времени работы, снижение простоев, в том числе под нагрузкой и выгрузкой, сокращение холостых ходов и т.п.). Изменение параметров в энергетике предприятия связано либо с увеличением загрузки энергооборудования, например двигателей, либо с повышением параметров энергии, в частности давно предлагаемый перевод внутризаводского электроснабжения на напряжение 660 В, либо с изменением схем преобразования энергии --- тиристорные преобразователи частоты тока взамен мотор-генераторов [10]. В ряде случаев для производственных процессов выгодно изменять вид энергии, тогда оценка может проводиться как при модернизации оборудования, так и при выборе наиболее рациональных энергоносителей. Повышение полезного использования энергии в технологических установках достигается и при техническом перевооружении, и при модернизации, и при интенсификации процессов. Однако возможно улучшение внутриагрегатного использования энергии на действующем оборудовании при осуществлении сравнительно простых мер. Примером может служить нормализация энергозатрат по результатам энергоэкономического анализа с сокращением эксплуатационных и

режимных потерь и соответствующим повышением КПД и КПИ. Это достигается почти исключительно организационными мерами, при жестком соблюдении технологической и энергетической дисциплины и редко требует капитальных затрат. Такие затраты могут понадобиться на следующей ступени энергоэкономического совершенствования --- при рационализации энергоиспользования. Экономический эффект подобных мероприятий может быть подсчитан как разность суммарных дисконтированных затрат по формуле, руб/год:

$$\Theta = \sum_{t=1}^{T_p} [(Ц_{\varepsilon}(b_{до} - b_{по})P_t - \Delta I_{рег\ t} - K_{н\ t})(1 + E_{cp})^{-t}],$$

где $Ц_{\varepsilon}$ --- цена (тариф) энергии, руб/т у.т., руб/(кВт·ч), руб/Гкал; $b_{до}$ и $b_{по}$ --- удельные расходы энергии до и после нормализации (или рационализации) энергоиспользования, т у.т., кВт·ч, Гкал на единицу продукции; P_t --- объем производства, ед. пр/год; $\Delta I_{рег\ t}$ --- возможные дополнительные годовые издержки по оптимальному регулированию процесса, руб/год; $K_{н\ t}$ --- возможные единовременные (капитальные) затраты на мероприятие, руб. Если в результате рационализации энергоиспользования объем производства продукции увеличивается (есть возможность ее сбыта), то для расчета экономического эффекта не подходит критерий суммарных дисконтированных затрат. В этом случае расчет должен проводиться с использованием критерия чистого дисконтированного дохода. Меры по рационализации энергоиспользования в технологии разнообразны и возможны на любом оборудовании, в любом процессе. Однако необходимо учитывать технологические требования в сочетании с энергетическими, поэтому такие мероприятия разрабатываются и осуществляются в тесном сотрудничестве технологов и энергетиков при обязательной технико-экономической оценке технологических, энергетических и других последствий. Применение вторичных энергетических ресурсов практически не изменяет общий расход энергии в агрегате-источнике ВЭР, а экономия энергии достигается в замещаемых энергетических установках. Поэтому экономический эффект использования ВЭР рассчитывается как разность суммарных дисконтированных затрат --- при применении ВЭР и в замещаемой энергогенерирующей установке. Вторичные энергоресурсы могут использоваться по четырем направлениям: топливному, тепловому, механическому (силовому) и комбинированному (для использования на утилизационных ТЭЦ --- УТЭЦ). Независимо от этих направлений (рис. 11.2) экономический эффект утилизации ВЭР рассчитывается исходя из экономии топлива за счет ВЭР, руб/год:



Рис. 11.2. Направления использования ВЭР

$$\mathcal{E}_{\text{ВЭР}} = \sum_{t=1}^{T_p} [(\mathcal{C}_t B_{\text{ВЭР}} - (\mathcal{I}_{\text{ВЭР}} - \mathcal{I}_{\text{зам}}) - (\mathcal{K}_{\text{ВЭР}} - \mathcal{K}_{\text{зам}}))(1 + \mathcal{E}_{\text{ср}})^{-t}],$$

где ВВЭР --- экономия топлива за счет ВЭР, т у.т/год; Ц_т --- цена замещаемого топлива, руб/т у.т.; И_{зам}, И_{ВЭР} --- эксплуатационные издержки при эксплуатации замещаемой энергоустановки без стоимости расходуемого топлива и при утилизации ВЭР, руб/год; К_{ВЭР}, К_{зам} - капитальные затраты (основные фонды) замещаемого энергоисточника и установки (при ненадежной работе утилизатора необходимо предусматривать резервные, дублирующие мощности).

Повышение надежности энергоснабжения и работы энергооборудования должно предотвратить экономический ущерб от аварийных остановов производства, особенно непрерывного (в химии, нефтехимии, металлургии и пр.), сопровождающихся также значительными энергетическими потерями из-за:

- продукции, пошедшей в брак, на изготовление которой уже затрачена энергия;
- порчи оборудования, на ремонт которого должны быть затрачены материалы, труд и энергия;
- прямых потерь энергоносителей, например, при аварийном сливе конденсата;
- энергозатрат на пуск оборудования после аварийного простоя, причем при этих пусках какое-то, иногда довольно продолжительное время, идет работа на холостом ходу и др.

Экономический эффект от повышения надежности энергоснабжения и энергооборудования Эн определяется сопоставлением дополнительных капиталовложений, требуемых для этого К_н, дополнительных расходов при эксплуатации устройств, повышающих надежность И_н, с величиной предотвращаемого среднего экономического ущерба от перерывов энергопитания Y₀, руб/год, умноженного на параметр потока отказов в системе энергоснабжения ω:

$$\mathcal{E}_n = Y_0 \omega - (\mathcal{E}_n \mathcal{K}_n + \mathcal{I}_n).$$

Энергосберегающая политика может и должна стать экономическим рычагом для повышения конкурентоспособности предприятия на рынке, где с ее помощью можно получить дополнительную прибыль. Наиболее эффективно эта политика проводится при организации внутрипроизводственного коммерческого расчета и системы экономических

претензий энергослужбы в отношениях с заводскими потребителями энергии и энергетических услуг.

13.2. Особенности проектирования систем управления в электроэнергетике.

Проектирование диспетчерских пунктов и средств диспетчерского и технологического управления (СДТУ) (в том числе и аппаратных телемеханики) выполняется на основе утвержденных схем развития электрических сетей энергосистем и организации эксплуатации энергосистем на ближайшие 5 лет с перспективой развития на 10 лет.

Диспетчерские пункты подразделяются на: диспетчерские пункты объединенных диспетчерских управлений— ДП ОДУ;

центральные диспетчерские пункты внекатегорийных энергосистем — ЦДП;

центральные диспетчерские пункты энергосистем 1-й и 2-й категорий —ЦДП-1 и ЦДП-2;

центральные диспетчерские пункты энергосистем 3-й и 4-й категорий —ЦДП-3 и ЦДП-4;

диспетчерские пункты предприятий электрических сетей — ДП ПЭС;

диспетчерские пункты районов электрических сетей — ДП РЭС;

диспетчерские пункты тепловых сетей — ДП ТС. Узлы СДТУ подразделяются на центральные и местные узлы— ЦУ СДТУ и МУ СДТУ. К первой группе относятся узлы СДТУ объединенных диспетчерских управлений и районных энергетических управлений. Вторая группа включает узлы СДТУ предприятий электросетей, электрических станций, подстанций, районов электрических и тепловых сетей.

Проектирование ДП ОДУ выполняется только по заданию ЦДУ ЕЭС СССР, проектирование ЦДП энергосистем осуществляется в соответствии с утвержденной схемой развития средств диспетчерского и технологического управления данного ОДУ. В проектах должна предусматриваться установка оборудования, серийно изготавливаемого на предприятиях.

Проектирование диспетчерских пунктов и средств диспетчерского и технологического управления должно выполняться в соответствии с утвержденным директивным материалом «Нормы технологического проектирования диспетчерских пунктов и узлов СДТУ энергосистем» с учетом передовых достижений отечественной техники.

При проектировании особое внимание должно уделяться правильности проектных решений по объемам телемеханики и каналов связи, выбору типов оборудования, резервированию электропитания, эксплуатационной пригодности помещения, оснащенности специальными измерительными приборами и т. д.

Устройства телемеханики и автоматического регулирования на центральных узлах СДТУ должны располагаться в аппаратных телемеханики. На узлах СДТУ предприятий и районов устройства

телемеханики располагаются в линейно-аппаратных залах или в отдельных помещениях. Аппаратная телемеханики должна располагаться рядом с диспетчерским залом. Допускается расположение диспетчерского зала и аппаратной телемеханики друг под другом на смежных этажах.

Освещенность диспетчерских пунктов и узлов СДТУ должна соответствовать:

- 200 лк — для диспетчерского щита «темного»;
- 100 лк — для диспетчерского щита «светлого»;
- 300 лк — для диспетчерского пульта;
- 100 лк — для пространства за щитом;
- 150 лк — для аппаратной телемеханики;
- 150—200 лк — для линейно-аппаратного зала, генераторной и аккумуляторной.

Производственные помещения диспетчерского пункта и узлов СДТУ должны быть обеспечены аварийным освещением при -освещенности не менее 50% указанных выше норм. Допустимые изменения температуры в диспетчерском зале, аппаратной телемеханики и в линейно-аппаратном зале должны лежать в пределах от 18 до 25°C при относительной влажности 65±15%. В аккумуляторных помещениях допускается температура в пределах от 14 до 35 °C при относительной влажности не более 80%.

В аппаратной телемеханики устанавливается следующая аппаратура: вводно-распределительные панели питания, панели телеизмерения; аппаратура устройства ТУ — ТС, аппаратура комбинированных и комплексных устройств телемеханики, аппаратура устройств автоматического регулирования частоты и мощности, шкафы реле-повторителей сигнальных реле для диспетчерского щита.

Особое внимание при проектировании телемеханики необходимо обратить на решение вопроса аварийно-резервного питания оборудования, так как от этого зависит надежность систем диспетчерского управления.

В проектных решениях ретрансляции ТИ и ТС необходимо учитывать следующие требования:

схемы должны быть простыми и обеспечивать требуемую надежность и достоверность передачи информации; передача вспомогательной информации на вышестоящий диспетчерский пункт (о повреждениях в низовых устройствах ТМ и связи и т. д.) должна быть сведена до минимума;

должны быть приняты меры по исключению передачи неверной информации устройства ТМ.

Передача известительной серии в системах спорадического действия или разрешение на считывание новой информации в системах циклического действия должны производиться только после проверки достоверности информации в низовых устройствах ТМ.

При проектировании каналов связи для ТМ необходимо учитывать, что для многоканальных систем ТИ — ТС с большим объемом передаваемой информации (7—10 ТИ и 50 ТС и более) должны предусматриваться два

канала связи (основной и резервный) с автоматическим переключением устройств с одного канала на другой при отказе одного из каналов. Это же должно быть учтено и при телемеханизации ответственных объектов, при вводе информации в ЭВМ и в ряде других случаев. При проектировании систем ВЧ связи по В Л, которые будут использованы для организации каналов связи для телемеханики, необходимо обратить особое внимание на расчет помехозащищенности этих каналов. Помехозащищенность канала определяется запасом по перекрываемому затуханию, который должен быть не менее 10 дБ.

При выборе устройств телемеханики необходимо отдавать предпочтение современным бесконтактным устройствам блочной конструкции с дискретными сигналами и высокой исправляющей способностью.

Должное внимание при проектировании необходимо уделять вопросу обеспечения служб СДТУ специальными измерительными и контрольно-испытательными приборами.

Лекция 14

14. Микропроцессорные системы автоматики в электроснабжении

14.1. Автоматическое повторное включение.

1. Микропроцессорный модуль автоматического повторного включения АПВ-М (в дальнейшем "модуль"), предназначен для использования в составе блока управления станции ШГС5805. Служит для задания временной программы работы станции управления:

- формирует сигнал включения после появления питающего напряжения и после срабатывания защиты от недогрузки с регулируемой выдержкой времени;

- подсчет моточасов. - включение и отключение аппарата, управляющего электродвигателем по задаваемой временной программе;

2. Временная программа определяется настройкой параметров управления. Модуль настраивается на работу в одном из трех режимов: одиночный, периодический, периодический с автоматическим пуском при включении питания. Одиночный режим позволяет включить коммутационный аппарат на заданное время работы, после чего последний отключается до следующего ручного пуска. Периодический режим дает возможность циклически чередовать фазы работы и паузы. В режиме «периодический с автоматическим пуском при включении питания» производится автоматический пуск с регулируемой задержкой при включении питания и дальнейшая работа в периодическом режиме.

3. При пропадании и последующем восстановлении питания модуль может продолжать прерванную фазу работы или паузы. При этом производится автоматический пуск с регулируемой задержкой.

4. Модуль позволяет вести учет суммарного времени работы двигателя, т.е. производит подсчет моточасов. Значение моточасов можно посмотреть на индикаторе, выбрав соответствующий параметр.

Технические характеристики:

1. Напряжение питания модуля +15 В +/- 10%.
2. Потребляемая мощность должна быть не более 3 ВА.
3. Время паузы задается в интервале от 1 минуты до 99 часов 59 минут с шагом 1 минута.
4. Время работы задается в интервале от 1 минуты до 99 часов 59 минут с шагом 1 минута.
5. Время автоматического пуска задается в интервале от 5 секунд до 30 минут 59 секунд с шагом 1 секунда (значение от 1 до 5 секунд

приравнивается к 5 секундам, т.е. минимальное значение — 5 секунд).

6. Предельное значение числа моточасов 99999 часов 54 минуты.

7. Погрешность отработки времен работы и паузы должна быть не более 1 минуты.

8. Погрешность отработки времени автоматического пуска должна быть не более 5%.

9. Рабочая температура от минус 60 до плюс 60 0С.

10. Влажность не более 80%.

11. Габаритные размеры модуля 160 x 100 x 20 мм.

12. Масса модуля, не более 0,3 кг.

Обработка защит:

- Защита от перегрузки;
- Защита от недогруза (ЗСП);
- Реакция на срабатывание ячейки ПМЗВ.

14.2. Автоматический ввод резерва.

Автоматический ввод резерва (Автоматическое включение резерва, авр) - способ обеспечения резервным электроснабжением нагрузок, подключенных к системе электроснабжения, имеющей не менее двух питающих вводов и направленный на повышение надежности системы электроснабжения. Заключается в автоматическом подключении к нагрузкам резервных источников питания в случае потери основного.

Общие требования к авр

авр должно срабатывать за минимально возможное после отключения рабочего источника энергии время .

авр должно срабатывать всегда, в случае исчезновения напряжения на шинах потребителей, независимо от причины. В случае работы схемы дуговой защиты АВР может быть заблокировано, чтобы уменьшить повреждения от короткого замыкания. В некоторых случаях требуется задержка переключения АВР. К примеру, при запуске мощных двигателей на стороне потребителя, схема АВР должна игнорировать просадку напряжения.

авр должно срабатывать однократно. Это требование обусловлено недопустимостью многократного включения резервных источников в систему с не устранённым коротким замыканием.

Реализацию схем авр осуществляют с помощью реле различного назначения, цифровых блоков защит (контроллер АВР), переключателей -

изделий, включающих в себя механическую коммутационную часть, микропроцессорный блок управления, а также панель индикации и управления.

Применение

Все потребители электрической энергии делятся на три категории: I категория - к потребителям этой группы относятся те, нарушение электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, значительный материальный ущерб, угрозу для безопасности государства, нарушение сложных технологических процессов и пр. II категория - к этой группе относят электроприёмники, перерыв в питании которых может привести к массовому недоотпуску продукции, простоя рабочих, механизмов, промышленного транспорта. III категория - все остальные потребители электроэнергии.

Таким образом, кроме неудобств в повседневной жизни человека, длительный перерыв в электропитании может привести к угрозе жизни и безопасности людей, материальному ущербу и другим, не менее серьезным последствиям. Бесперебойное питание можно реализовать, осуществив электропитание каждого потребителя от двух источников одновременно (для потребителей I категории так и делают), однако подобная схема имеет ряд недостатков:

Токи короткого замыкания при такой схеме гораздо выше, чем при раздельном питании потребителей.

В питающих трансформаторах выше потери электроэнергии

Релейная защита сложнее, чем при раздельном питании.

Необходимость учета перетоков мощности вызывает трудности, связанные с выработкой определенного режима работы системы.

В некоторых случаях не получается реализовать схему из-за того, что нет возможности осуществить параллельную работу источников питания из-за ранее установленной релейной защиты и оборудования.

В связи с этим возникает необходимость в раздельном электроснабжении и быстром восстановлении электропитания потребителей. Решение этой задачи и выполняет АВР. АВР может подключить отдельный источник электроэнергии (генератор, аккумуляторная батарея) или включить выключатель, разделяющий сеть, при этом перерыв питания может составлять всего 0.3 - 0.8 секунд.

При проектировании схемы авр, допускающей включение секционного выключателя, важно учитывать пропускную способность питающего трансформатора и мощность источника энергии, питающих параллельную систему. В противном случае может получиться так, что переключение на питание от параллельной системы выведет из строя и её, так как источник питания не сможет справиться с суммарной нагрузкой обеих систем. В случае если невозможно подобрать такой источник питания, обычно предусматривают такую логику защиты, которая отключит наименее важных потребителей тока обеих систем.

АВР разделяют на:

АВР одностороннего действия. В таких схемах присутствует одна рабочая секция питающей сети, и одна резервная. В случае потери питания рабочей секции АВР подключит резервную секцию.

АВР двухстороннего действия. В этой схеме любая из двух линий может быть как рабочей, так и резервной.

АВР с восстановлением. Если на отключенном вводе вновь появляется напряжение, то с выдержкой времени он включается, а секционный выключатель отключается. Если кратковременная параллельная работа двух источников не допустима, то сначала отключается секционный выключатель, а затем включается вводной. Схема вернулась в исходное состояние.

АВР без восстановления.

Принцип действия

В качестве измерительного органа для авр в высоковольтных сетях служат реле минимального напряжения, подключённые к защищаемым участкам через трансформаторы напряжения. В случае снижения напряжения на защищаемом участке электрической сети реле даёт сигнал в схему авр. Однако, условие отсутствия напряжения не является достаточным для того, чтобы устройство АВР на защищаемом участке нет неустранённого короткого замыкания. Так как понижение напряжения может быть связано с коротким замыканием, включение дополнительных источников питания в эту цепь нецелесообразно и недопустимо.

Вводной выключатель включён. Это условие проверяется, чтобы авр не сработало, когда напряжение исчезло из-за того, что вводной выключатель был отключён намеренно.

На соседнем участке, от которого предполагается получать питание после действия авр, напряжение присутствует. Если обе питающие линии находятся не под напряжением, то переключение не имеет смысла.

После проверки выполнения всех этих условий логическая часть авр даёт сигнал на отключение вводного выключателя обесточенной части электрической сети и на включение межлинейного (или секционного) выключателя. Причём, межлинейный выключатель включается только после того, как вводной выключатель отключился.

В низковольтных сетях одновременно в качестве измерительного и пускового органа могут служить магнитные пускатели или модуль АВР-3. Либо предназначенный для управления схемами АВР микропроцессорный контроллер АВР.

14.3. Автоматическая частотная разгрузка.

Назначение устройства Сириус-2-АЧР:

Устройство автоматической частотной разгрузки «Сириус-2-АЧР» предназначено для использования на электростанциях и подстанциях энергосистем с целью ликвидации дефицита активной мощности путем автоматического отключения потребителей при снижении частоты (АЧР) с

последующим автоматическим повторным включением отключенных потребителей при восстановлении частоты (ЧАПВ).

Устройство предназначено для установки на панелях и в шкафах в релейных залах и пультах управления электростанций и подстанций 3–110 (500) кВ, а также в ячейках КРУ и КСО 6–10 кВ подстанций и распределительных пунктов (РП).

Особенности устройства Сириус-2-АЧР:

автоматическое отключение определенных под частотную разгрузку присоединений;

автоматическое повторное включение отключенных присоединений при повышении частоты;

одновременный контроль двух секций;

оперативный ввод блокировок в любые очереди АЧР и ЧАПВ; сигнализация при пропадании напряжения с любого из каналов; блокировка работы внешними релейными сигналами.

Эксплуатационные возможности устройства Сириус-2-АЧР:

задание внутренней конфигурации и режима работы устройства; ввод и хранение уставок;

контроль и индикацию значения напряжений и частоты, подводимых к устройству;

передачу текущих параметров, ввод и изменение уставок по линии связи; непрерывный оперативный контроль работоспособности (самодиагностику) в течение всего времени работы;

выполнение функций АЧР и ЧАПВ на основе совпадения измерений одновременно по двум входным измерительным каналам – основного и контрольного;

блокировку выходов при неисправности устройства для исключения ложных срабатываний;

получение дискретных сигналов, выдачу предупредительной сигнализации; гальваническую развязку всех входов и выходов, включая питание, для обеспечения высокой помехозащищенности;

высокое сопротивление и прочность изоляции входов и выходов относительно корпуса и между собой для повышения устойчивости устройства к перенапряжениям, возникающим во вторичных цепях подстанции.

Функции устройства Сириус-2-АЧР:

автоматическая частотная разгрузка до 4 групп присоединений; автоматическое обратное повторное включение отключенных присоединений;

возможность блокирования ступеней категории АЧР-I по скорости падения частоты и напряжения;

возможность блокирования ступеней АЧР от органа направления мощности;

возможность ускорения ступеней категории АЧР-II по скорости падения частоты;

обеспечение необходимых блокировок, запрещающих срабатывание АЧР.

Дополнительные сервисные устройства Сириус-2-АЧР: встроенные часы-календарь;

измерение текущих значений напряжений и частоты; два (три, в зависимости от вида исполнения) независимых интерфейса линии связи.

Устройство производит измерение параметров входных аналоговых сигналов:

линейного напряжения основного канала (основной секции шин); линейного напряжения контрольного канала (контрольной секции шин); частоты основного канала (линейного напряжения основной секции шин); частоты контрольного канала (линейного напряжения контрольной секции шин);

тока ввода (для организации органа направления мощности совместно с напряжением основной секции).

При измерениях напряжения осуществляется цифровая фильтрация входных сигналов и их обработка относительно промышленной частоты 50 Гц.

Применение в устройстве модульной микропроцессорной архитектуры наряду с современными технологиями поверхностного монтажа обеспечивают высокую надежность, большую вычислительную мощность и быстродействие, а также высокую точность измерения электрических величин и временных интервалов, что дает возможность повысить чувствительность и расширить функции терминала.

Реализованные в устройстве алгоритмы, а также схемы подключения устройства разработаны по требованиям к отечественным системам РЗА в сотрудничестве с представителями энергосистем и проектных институтов, что обеспечивает совместимость с аппаратурой, выполненной на различной элементной базе, а также облегчает внедрение проектировщикам и эксплуатационному персоналу.

Питание устройства - в зависимости от исполнения электрическое питание устройства осуществляется от источника постоянного, переменного, в том числе — источника бесперебойного питания (частотой от 45 Гц до 55 Гц) или выпрямленного тока напряжением от 178 В до 242 В, или от источника постоянного тока напряжением от 88 В до 132 В.

Входные аналоговые сигналы

Потребляемая мощность, ВА, не более 15

Число входов по напряжению 2

Номинальное входное переменное напряжение $U_{ном}$, ВА, не более 100

Рабочий диапазон напряжений, В 20 ... 150

Рабочий диапазон частот, Гц 40 ... 60

Мощность потребляемая по цепям напряжения при $U_{ном}$, ВА, не более 0,5

Верхние границы диапазонов измерения входных величин
Переменное напряжение, В 150,0

Переменный ток, А 200,0

Диапазон измерения частоты, Гц 40 ... 60

Нижняя граница напряжения при измерении частоты, при которой происходит блокировка измерения, В 20

Основная абсолютная погрешность измерения в рабочем диапазоне частот при напряжении входного сигнала $100 \pm 1,0$ В:

- по частоте, Гц

$\pm 0,01$

Основная относительная приведенная погрешность измерения в рабочем диапазоне при частоте входного сигнала $50 \pm 0,5$ Гц:

- по напряжению и току, %

$\pm 3,0$

Дополнительная погрешность измерения при изменении температуры окружающей среды в рабочем диапазоне на каждые 10 °С:

– по напряжению и току, %

– по частоте, Гц

$\pm 0,2, \pm 0,01$.

Дополнительная погрешность измерения напряжения и тока при изменении частоты входного сигнала в рабочем диапазоне на каждый 1 Гц, %: $\pm 0,5$

Дополнительная погрешность измерения частоты при изменении напряжения входного сигнала в рабочем диапазоне на каждые 10 В ниже 50 В, Гц: $\pm 0,01$

Коэффициент возврата органов сравнения по напряжению (для разрешения работы АЧР и ЧАПВ): 0,95

Входные дискретные сигналы (для разных исполнений по значению напряжения):

- число входов

8

Исполнение по напряжению $\cong 220$ В:

- напряжение

срабатывания

1) при питании постоянным током, В

2) при питании переменным током, В

- напряжение

несрабатывания:

1) при питании постоянным током, В

2) при питании переменным током, В

Исполнение по напряжению $\cong 110$ В:

– напряжение срабатывания, В

– напряжение несрабатывания, В:

– длительность входного сигнала, мс, не менее

160 – 242

115 – 242

0 – 130

0 - 85

80 – 132

0 – 64

40

Выходные дискретные сигналы

Число выходных реле 20

Максимальное коммутируемое напряжение постоянного или переменного тока, В 264

Ток замыкания/размыкания на постоянном напряжении 250 В при активно-индуктивной нагрузке с постоянной времени $L/R = 50$ мс, не более 5 / 0,15

Массо-габаритные характеристики

Габаритные размеры, мм 190 х 305 х 185

Масса, кг, не более 7

14.4. Автоматическая токовая разгрузка.

Терминал «Сириус-ААРТ» предназначен для обеспечения защиты от перегрузки трансформаторов путем автоматического отключения ряда потребителей нагрузки в зависимости от тока с учетом тепловой модели трансформатора.

Терминал обслуживает до двух трансформаторов одновременно, обеспечивая как разгрузку независимо работающих трансформаторов, так и одного, работающего на обе секции шин после АВР или при ремонтных работах при выводе одного из них из работы.

Терминал предназначен для отключения до 8 потребителей (групп) нагрузки, разбитых на две группы — максимально по 4 потребителя на каждой секции шин подстанции — для уменьшения тока через трансформатор и снижения его до допустимого значения при его перегрузках. Обычно режим перегрузки возникает при отключении одного из двух трансформаторов и питания удвоенной нагрузки одним трансформатором. При таком режиме, независимо от того, какой трансформатор

останется в работе, потребители будут отключаться в порядке, заданном уставками очередности, максимально до 8 фидеров (групп). Очередность может быть произвольная, с любым порядком отключения, несмотря на принадлежность фидеров какой-либо секции. При раздельной работе шин секций будут отключаться только свои потребители, не более 4 фидеров (групп) на каждую из секций. При этом порядок отключения соответствует порядку выходных реле. Критерием, по которому определяется, работает один или два трансформатора, является наличие

замкнутого секционного выключателя, определяемого по положению его РПВ.

Терминал подключается к двум трансформаторам тока фазы А обоих силовых трансформаторов типовой двухтрансформаторной подстанции. При этом появляется возможность контролировать каждый из двух трансформаторов как отдельно, так и при работе одного из них на нагрузку двух секций. Могут измеряться токи как высших сторон напряжения, так и низших (для двухобмоточных трансформаторов).

Терминал имеет два дискретных входа для подключения сигналов разрешения работы от внешних ключей (накладок)

или от вспомогательных реле (например, типа РТ-41), включенных в другую фазу тока.

Терминал имеет два специальных органа ток-время, описывающих тепловую модель каждого трансформатора. При этом имитируется остывание трансформатора при пропадании или снижении тока. Характеристика срабатывания имеет ступенчатый вид и может быть изменена по усмотрению пользователя с помощью уставок индивидуально для каждого трансформатора. Характеристика имеет ступенчатый вид и задается пятью парами ток-время.

Терминал имеет два режима разгрузки, которые могут программироваться индивидуально для каждого трансформатора. В режиме «ААРТ» разгрузка трансформатора будет продолжаться до тех пор, пока ток не снизится ниже уставки ИОТПУСКАНИЯ. В режиме «Перегрузка» разгрузка трансформатора будет продолжаться до тех пор, пока ток не снизится ниже уставки срабатывания соответствующей ступени. При любом режиме работы разгрузка прекратится при пропадании разрешающего сигнала.

Если значение тока не опустится ниже порога (в зависимости от режима) или не пропадет разрешающий сигнал, происходит выдержка времени Δt , задаваемая уставкой в пределах 1—100 с, после чего срабатывает второе реле отключения следующего фидера, и т.д., пока не сработают по порядку все 4 (при одновременной работе двух трансформаторов) или 8 выходных реле (при работе одного трансформатора, уже в произвольном программируемом порядке). Если же ток спадет

раньше, чем отключатся все подведенные под ААРТ фидеры, то часть из них останется в работе. Длительность всех отключающих сигналов, выдаваемых выходными реле, ограничена и задается уставкой в пределах 0,2—10,0 секунд. Обратное переключение (включение отключившихся от ААРТ фидеров) производится вручную.

Номинальный вторичный ток первичных трансформаторов тока, к которым подключается терминал – 5 А.

Напряжение питания — 220 В постоянного или переменного тока. При заказе возможна поставка терминалов с напряжением питания (и входов

сброса и разрешения работы) 110 В постоянного тока. Входные оптронные цепи рассчитаны на питание только постоянным током.

Рабочий диапазон температур — от -20°C до $+55^{\circ}\text{C}$.

Габаритные размеры терминала — $305 \times 190 \times 215$ мм. Вид присоединения — заднее.

Как и все терминалы, выпускаемые ЗАО «РАДИУС Автоматика», терминал «Сириус-ААРТ» имеет два независимых интерфейса линии связи RS232C и RS485, для каждого из которых может быть задана своя скорость и протокол обмена. Пользователь может выбрать протокол СТАРТ для работы с программным обеспечением «Старт», поставляемым фирмой, или протокол MODBUS для интеграции терминала в АСУТП. По линии связи возможно изменение уставок срабатывания, мониторинг, считывание архива срабатываний.

Сброс «выпавших» блинкеров (светодиодов) происходит по кнопке «Сброс» или дистанционно. Если токовый орган не отпустил (имеется наличие пуска работы), то нажатие на кнопку сброс не сбросит эти светодиоды, так же, как и реле «Срабатывание ААРТ N».

Предусмотрены отдельные уставки для ввода значений номинальных токов применяемых трансформаторов тока (ТТ)

у обоих трансформаторов, а также задания номинальных токов трансформатора, так как они могут не совпадать с номинальными токами ТТ.

Передняя панель терминала закрывается прозрачной легко откидывающейся крышкой с защелкой. Ввод и изменение уставок и просмотр аварийных событий и текущих параметров производится с помощью клавиатуры из 4-х кнопок.

На задней панели установлен тумблер для отключения терминала от питающей сети и клеммники для подключения к входным и выходным цепям подстанции.

Терминал оснащен встроенными часами с автономным питанием, поэтому каждому срабатыванию ставится в соответствие время и дата отключения каждого из фидеров (групп фидеров). От этого же автономного питания питается память аварий, в которой хранятся последние несколько срабатываний.

Уставки хранятся в специальной энергонезависимой памяти и сохраняются в течение всего срока службы независимо от наличия оперативного питания.

Терминал оснащен встроенным жидкокристаллическим индикатором с подсветкой с возможностью отображения двух строк по 16 символов в каждой. Организован простой интуитивно понятный диалог на русском языке, не требующий заглядывания в описание.

14.5. Автоматическое регулирование напряжения в электрических сетях переменного тока.

Для регулирования напряжения в электрических сетях используют ряд устройств, из которых выделим следующие;

1. Вольтодобавочные трансформаторы.
2. Регулируемые автотрансформаторы.
3. Силовые трансформаторы с изменяемым коэффициентом трансформации.
4. Статические конденсаторы.
5. Синхронные электродвигатели и компенсаторы.

Для регулирования напряжения в сетях переменного тока, в частности, на промышленных предприятиях наиболее часто используются силовые трансформаторы с изменяемым под нагрузкой коэффициентом трансформации, которые устанавливаются на главных понизительных подстанциях (ГПП) предприятий. Изменение коэффициента трансформации производится при помощи переключающего устройства. Оно расположено внутри бака трансформатора, причем аппарат, коммутирующий нагрузку при переключении ответвлений, заключен в отдельный бак так, что его масло не попадает в бак трансформатора. В существующих трансформаторах переключение ответвлений осуществляется с помощью индуктивных или активных элементов. Второй тип переключающих устройств сейчас получил широкое распространение. Преимущества его по сравнению с первым типом: высокое быстродействие и небольшие габариты переключающего устройства, недостаток - увеличенные потери активной мощности при коммутациях ответвлений трансформатора.

На рис. 6.3 представлена схема переключающего устройства РПН. Основными конструктивными элементами его являются избиратели положения И и контакторы К. Контактор К имеет по две пары главных, вспомогательных и дугогасительных контактов (в ряде конструкций вспомогательные контакты отсутствуют). В данном положении переключающего устройства ток протекает по левой части схемы. При переключении на следующее положение, например, в сторону уменьшения числа витков обмотки трансформатора сначала размыкаются главные К1, затем вспомогательные К2 контакты. Далее замыкаются контакты К4, размыкаются дугогасительные контакты К3 и последовательно замыкаются контакты К5 и К6. Теперь ток будет протекать по правой части схемы. В обесточенном состоянии избиратель И1 передвигает свой подвижный контакт из положения 3 в положение 5. Аналогично производится переключение на ответвления 6 и другие.

Следует отметить, что ответвления трансформатора выполняются у обмотки высшего напряжения и со стороны нейтральной точки. Это сделано для того, чтобы переключающее устройство коммутировало меньшие токи при меньших напряжениях.

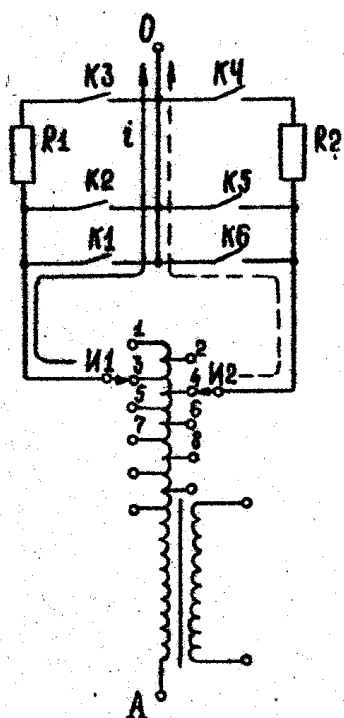


Рис. 14.1. Схема устройства переключения ответвлений трансформатора под нагрузкой

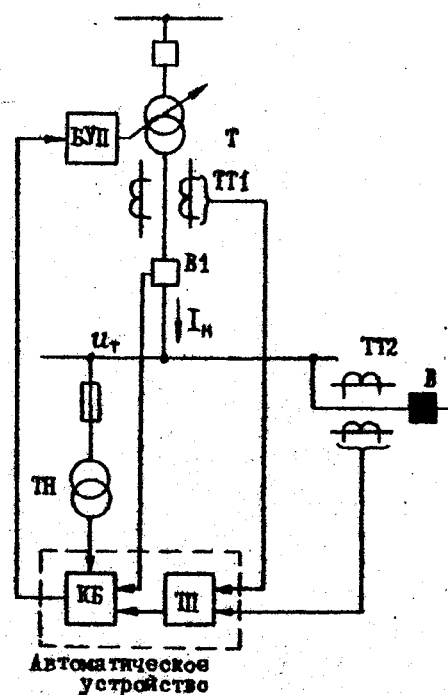


Рис. 14.2. Схема включения автоматического устройства АРТ-1Н

Схема включения автоматического регулятора АРТ-1Н показана на рис. 14.2. Конструктивно автоматический регулятор содержит два блока: командный блок (блок автоматического регулирования) КБ и токовую приставку (датчик тока) ТП. Вход блока автоматического регулирования подключен к трансформатору напряжения ТН, а входы токовой приставки - к трансформаторам тока ТТ1 и ТТ2. Выход автоматического регулятора через блок управления БУП переключающим устройством связан с переключающим устройством РПН трансформатора Т, напряжение вторичной обмотки которого нужно поддерживать на заданном уровне.

Трансформатор с устройствами РПН поставляется заводами с автоматическим регулятором напряжения (АРНТ). Совместно с трансформатором АРНТ образует автоматическую систему регулирования коэффициента трансформации. Основными характеристиками автоматической системы регулирования являются:

- степень регулирования $U_{ст}$ - напряжение между двумя ответвлениями обмотки, выраженное в процентах от ее номинального напряжения; в зависимости от типа трансформатора $U_{ст} = 1,25...2,5\%$;

- зона нечувствительности $\Delta U_{нч}$ - некоторый диапазон изменения напряжений, при котором не срабатывает автоматический регулятор; зону нечувствительности выражают в процентах относительно номинального напряжения; для исключения излишних срабатываний регулятора зона

нечувствительности должна быть больше ступени регулирования, т. е. $\Delta U_{нч} > U_{ст}$;

- точность регулирования - показатель, характеризуемый изменением напряжения, равным половине зоны нечувствительности;

- выдержка времени - параметр, исключающий действие регулятора при кратковременных отклонениях напряжения;

- уставка регулятора - напряжение, которое должен поддерживать регулятор.

Процесс регулирования иллюстрируется графиками (рис. 6.5,а). Линией 3 обозначена уставка регулятора, а линиями 5 и 1 - границы зоны нечувствительности $\Delta U_{нч}$, определяющие значения напряжения, при которых регулятор приходит в действие. Как следует из графиков, требуемое значение напряжения (линия 3) поддерживается с точностью, равной $\pm \Delta U_{нч} / 2$. В общем случае регулятор имеет коэффициент возврата, отличающийся от единицы. На рис. 6.5,а напряжения возврата изображены штриховыми линиями 4 и 2.

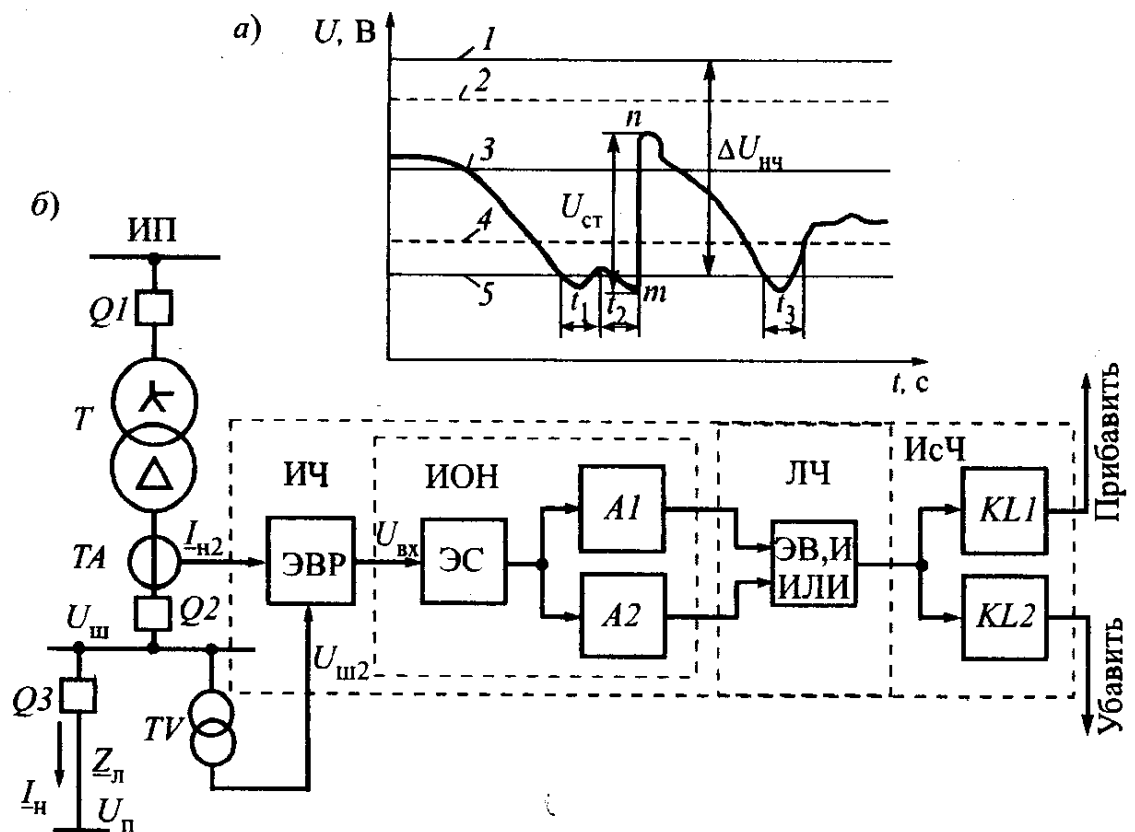


Рис. 14.3. Автоматическое регулирование коэффициента трансформации трансформатора

Переключение ответвлений происходит, если время отклонения напряжения за пределы зоны нечувствительности превышает выдержку времени регулятора t_1 и время действия приводного механизма t_2 вместе взятых. При этом график напряжения из точки m скачкообразно переходит в точку n , т. е. напряжение увеличивается на ступень регулирования $U_{ст}$. При

втором срабатывании регулятора переключения не происходит, так как время отклонения напряжения

$$t_3 < t_1 + t_2.$$

Очевидно, что увеличение зоны, определяемой разностью напряжений срабатывания (линии 5 и 1) и возврата (линии 4 и 2) регулятора, т. е. снижение коэффициента возврата, приводит к снижению точности автоматического регулирования напряжения.

Несмотря на разнообразие выполнения, регуляторы напряжения могут быть представлены единой функциональной схемой, содержащей три функциональные части (на рис. 6.5,б измерительную ИЧ, логическую ЛЧ и исполнительную ИсЧ).

Характерным элементом измерительной части является элемент встречного регулирования ЭВР, обеспечивающий статическую характеристику регулятора. Это необходимо для поддержания напряжения у потребителя U_p на заданном уровне независимо от тока нагрузки I_n . Напряжение у потребителя $U_p = U_{ш} - I_n \cdot Z_l$, поэтому с увеличением $I_n \cdot Z_l$ необходимо увеличивать и напряжение на шинах $U_{ш}$ подстанции так, чтобы напряжение U_p оставалось постоянным. Поэтому элемент встречного регулирования, представляющий собой устройство установки статизма, выполнен по схеме токовой компенсации, с помощью которой имитируется падение напряжения $I_n \cdot Z_l \approx I_{n2} \cdot Z_{т.к}$. Схема токовой компенсации подключается к трансформаторам тока ТА так, что увеличение тока I_n регулятор воспринимает как понижение напряжения на шинах и действует в сторону его повышения.

Измерительный орган напряжения ИОН содержит элемент сравнения напряжения ЭС и усилители А1 и А2 с релейной характеристикой. Элемент сравнения сравнивает напряжение $U_{вх} = U_{ш2} - I_{n2} \cdot Z_{т.к}$ с заданным напряжением. В зависимости от знака отклонения напряжения изменяется его выходной сигнал:

- если напряжение U_p становится меньше нижней границы (линия 5) зоны нечувствительности $\Delta U_{нч}$, то выходной сигнал ЭС будет отрицательным;
- если напряжение U_p превышает верхнюю границу (линия 1) зоны нечувствительности $\Delta U_{нч}$, то выходной сигнал ЭС будет положительным;
- если напряжение U_p находится внутри зоны нечувствительности $\Delta U_{нч}$, то выходной сигнал ЭС равен нулю.

Соответственно в первом случае меняет свой выходной сигнал только первый усилитель А1, во втором случае - только А2, а в третьем случае выходные сигналы усилителей А1 и А2 остаются без изменения.

Логическая часть содержит элемент выдержки времени ЭВ и элементы ИЛИ, И. Выдержка времени необходима для исключения действия регулятора при кратковременных изменениях напряжения. Уставку по времени выбирают такой, чтобы обеспечить качественное регулирование напряжения при минимально возможном количестве переключений в сутки.

В зависимости от графика изменения напряжения на подстанции уставка по времени принимается в пределах $t_1 = 1 \dots 5$ мин. Элементы ИЛИ, И выполняют соответствующие логические операции, обеспечивающие строго определенное направление переключения устройства РПН.

Исполнительная часть содержит реле KL1 и KL2, при срабатывании которых создаются воздействия на привод переключателя ответвлений РПН. Регулятор действует так, что при понижении напряжения срабатывает реле KL1, а при повышении напряжения - реле KL2.

Измерительный орган автоматического регулятора может реагировать как на амплитудное, так и на среднее значение сети. Ранее выпускавшиеся регуляторы типа БАУРПН реагировали на амплитудное значение переменного напряжения. Наличие высших гармоник в кривой напряжения (например от тиристорных преобразователей) приводит к погрешности регулирования 3...5 %. Поэтому выпускаемые в настоящее время автоматические регуляторы типа АРТ-1Н измеряют среднее значение $U_{ср}$. Такое решение обеспечивает хорошую отстройку от влияния высших гармоник в кривой напряжения и значительно повышает точность поддержания его уровня.

Наиболее совершенным из известных регуляторов, выполненных на основе полупроводниковых элементов, является регулятор АРТ-1Н [119] Он обеспечивает автоматическое регулирование напряжения на подстанциях, как с непрерывно, так и с резко изменяющейся нагрузкой и имеет возможность введения внешнего изменения уставки по напряжению.

14.6. Автоматическое регулирование мощности конденсаторных батарей.

Экономичность работы систем электроснабжения промышленных предприятий во многом зависит от реактивной мощности, передаваемой от источника электроэнергии к приемнику. Для компенсации реактивной мощности и улучшения качества электроэнергии на промышленных предприятиях устанавливают конденсаторные батареи высокого и низкого напряжения. Мощность конденсаторных батарей, устанавливаемых на промышленных предприятиях, должна быть выбрана таким образом, чтобы обеспечить минимум годовых приведенных затрат на систему электроснабжения предприятия.

Компенсация реактивной мощности осуществляется следующими способами:

- централизованным, когда конденсаторные батареи устанавливают на шинах 6-10 или 0,38 кВ трансформатора. При такой компенсации внутризаводские сети остаются загруженными реактивной мощностью;
- групповым, когда конденсаторные батареи устанавливают на шинах или распределительных пунктах цехов 0,38 кВ. При такой

компенсации неразгруженными от реактивной мощности остаются только распределительные сети отдельных приемников электроэнергии;

- индивидуальным, когда конденсаторные батареи устанавливаются непосредственно у каждого приемника. При такой компенсации разгрузка по реактивной мощности является наилучшей. Недостатком данного способа компенсации является неполное использование конденсаторных батарей, так как при отключении приемника отключается и его конденсаторная батарея.

Индивидуальная компенсация может быть рекомендована для потребителей, являющихся постоянными потребителями реактивной мощности: двигатели, индукционные печи и т. д. Вопрос о выборе способов компенсации решается на основании технико-экономических расчетов. Чаще всего на промышленных предприятиях применяют групповую, реже индивидуальную компенсацию. Так как графики нагрузки отдельных потребителей, цехов и всего предприятия не остаются постоянными в течение суток, изменяется и потребляемая реактивная мощность как отдельных потребителей, так и всего предприятия. В связи с этим изменяется и потребность в реактивной мощности, вырабатываемой конденсаторными батареями.

Следовательно, работа всех конденсаторных установок при уменьшении нагрузки промышленного предприятия является неэкономичной, так как приводит к увеличению потерь. Кроме того, работа конденсаторов в ночное время на предприятиях, работающих в две смены, повышает напряжение в сети, что может привести к сокращению срока службы конденсаторов и другого электрооборудования. Поэтому для обеспечения экономической работы конденсаторных батарей и всего промышленного предприятия отказываются от установки нерегулируемых конденсаторных батарей и применяют устройства, обеспечивающие автоматическое регулирование мощности конденсаторных батарей. Регулирование может быть одноступенчатым и многоступенчатым.

При одноступенчатом регулировании мощности конденсаторных установок при уменьшении нагрузки происходит автоматическое отключение всей конденсаторной установки. При многоступенчатом регулировании мощности конденсаторной установки происходит автоматическое включение или отключение отдельных батарей или секций, каждая из которых снабжена своим выключателем.

Автоматическое регулирование напряжения выполняется одноступенчатым, когда автоматически включается (отключается) вся конденсаторная установка, или многоступенчатым, когда включаются (отключаются) отдельные батареи или единичные конденсаторы. Оно может осуществляться в функции напряжения, тока нагрузки, значения или знака реактивной мощности, времени суток (программное управление с помощью контактных электрических часов).

Одноступенчатое регулирование напряжения в связи с включением (отключением) всей установки имеет большие зоны нечувствительности и

допускает значительные отклонения напряжения, что в ряде случаев нежелательно. При одноступенчатом автоматическом регулировании напряжения на шинах 0,38 кВ может применяться схема, приведенная на рис. 7.1, а, б, на которой показаны элементы защиты конденсаторной установки (предохранители F1, F2 и автоматический выключатель QF).

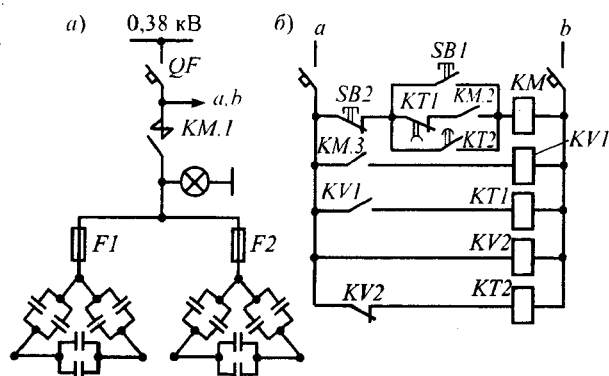


Рис. 14.4. Схема одноступенчатого управления конденсаторной батареей в функции напряжения

Регулирование осуществляется в функции напряжения, поэтому схема содержит максимальное реле напряжения KV1 и минимальное реле напряжения KV2. Реле KV1 срабатывает при повышении напряжения на шинах 0,38 кВ, а реле KV2 - при его снижении. Чтобы автоматика не действовала при кратковременных колебаниях напряжения, управляющие воздействия на контактор КМ, подключающий конденсаторную установку к шинам, подаются контактами реле времени KT1 и KT2 через $t = 15$ с после срабатывания соответствующего реле напряжения. В эксплуатации имеются и другие схемы управления конденсаторной установкой в функции напряжения. Однако некоторые из них (см., например, [215]) имеют ряд существенных недостатков, отмеченных в [216].

На рис. 7.2 показана схема защиты и одноступенчатого регулирования напряжения в функции времени конденсаторной установки высокого напряжения. Контакты электрических часов РТ, замыкаясь на $\Delta t = 15$ с, включают одно из двух реле времени KT1 или KT2 (в зависимости от положения выключателя Q и его вспомогательных контактов Q.3-Q.4). При отключенном выключателе работает реле KT1 и после выдержки времени $t_1 = 9...10$ с контактом KT1 воздействует на электромагнит включения YAC выключателя Q. После включения выключателя и переключения его вспомогательных контактов начинает работать реле времени KT2, имеющее выдержку времени $t_2 = t_1$. Сумма выдержек времени двух реле выбрана большей времени замкнутого состояния контактов РТ, поэтому реле времени KT2 не успевает доработать и конденсаторная установка остается подключенной к шинам до момента очередного замыкания контактов РТ, приводящего к ее отключению. Конденсаторная установка имеет общую защиту от коротких замыканий и перегрузки. Защита выполнена посредством комбинированных реле КАТ1 и КАТ2 типа РТ-80. Для защиты от повышения

напряжения использованы реле KV и KT3. При срабатывании защит промежуточное реле KL самоудерживается (контактом KL.3) и разрывает цепь включения выключателя (контактом KL.1). Самоудерживание снимается кнопочным выключателем SB.

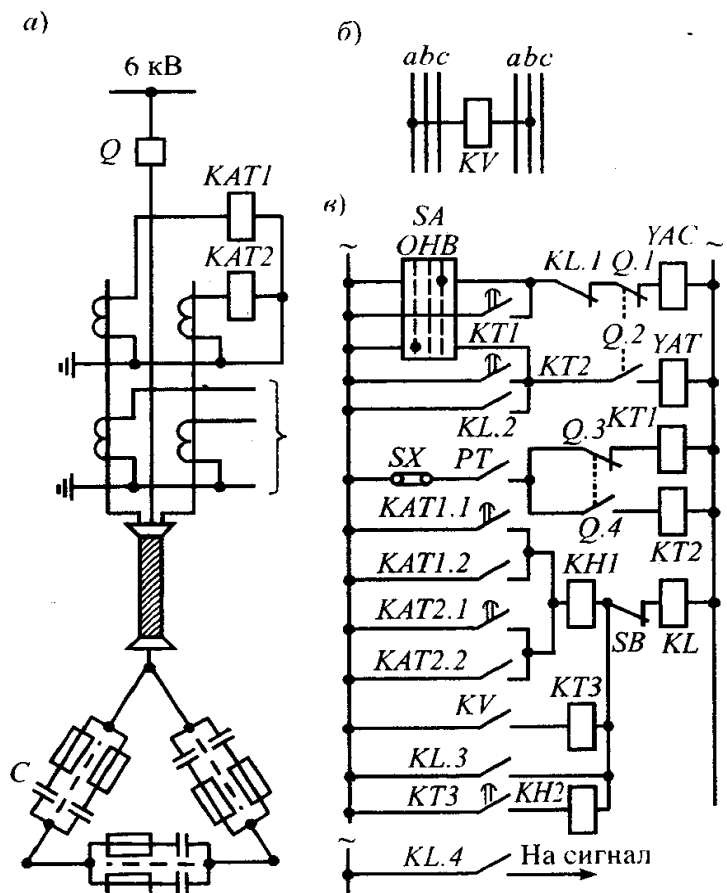


Рис. 14.5. Схема одноступенчатого управления конденсаторной установкой в функции времени

Имеются также схемы управления в функции абсолютного значения или знака реактивной мощности. В предложена схема, в которой в качестве измерительного органа используются счетчики реактивной энергии. Разработано также устройство, в котором измерительный орган выполнен на основе элемента Холла.

Многоступенчатое регулирование позволяет осуществлять автоматический регулятор конденсаторных установок АРКОН. Он состоит из измерительной части (командного блока) и логической части с исполнительными элементами в виде так называемых приставок. Измерительная часть аналогична измерительной части выше рассмотренного регулятора напряжения для трансформаторов. В рассматриваемом устройстве регулятор выявляет только направление воздействия: включение или отключение очередной секции конденсаторной батареи. Подлежащая включению или отключению секция определяется логическим алгоритмом приставок. Очередность действия приставок может быть двоякой. В первом

случае предполагаются равные мощности конденсаторных батарей, тогда приставки и соответствующие им секции включаются поочередно. Во втором случае мощности секций берутся неравными для увеличения числа ступеней регулирования. Например, три секции с соотношением мощностей 1:2:4 позволяют получить семь ступеней регулирования с мощностями, относящимися, как $1 : 2 : (1 + 2) : 4 : (1 + 4) : (2 + 4) : (1 + 2 + 4)$.

Компенсация реактивной мощности в системе электроснабжения дает следующие преимущества:

1. Уменьшаются потери активной мощности в системе электроснабжения. В общем случае величина их составляет

$$\Delta P = \Delta P_a + \Delta P_p,$$

где $\Delta P_a = \frac{P^2}{U^2} R$ - потери активной мощности в элементе системы с

сопротивлением R от активной нагрузки P ; $\Delta P_p = \frac{(Q - Q_k)^2}{U^2} R$ - потери активной мощности в элементе системы электроснабжения с сопротивлением R от реактивной мощности $(Q - Q_k)$; Q и Q_k - соответственно потребляемая и компенсирующая реактивная мощности; U - напряжение сети.

2. Уменьшаются потери напряжения в электрической сети. Потери напряжения

$$\Delta U = \Delta U_a + \Delta U_p,$$

где $\Delta U_a = \frac{P^2 R}{U}$ - потеря напряжения на элементе электрической сети от

активной нагрузки P ; $\Delta U_p = \frac{(Q - Q_k) X}{U}$ - потеря напряжения на элементе электрической сети от реактивной мощности $(Q - Q_k)$; R и X - соответственно активное и индуктивное сопротивления элемента электрической сети.

3. Увеличивается пропускная способность элементов системы электроснабжения. Из приведенных формул следует, что наилучшим является режим полной компенсации реактивной мощности, т.е. когда $Q_k = Q$. При этом потери активной мощности и напряжения в системе электроснабжения минимальны, а пропускная способность максимальна.

Обеспечить режим полной компенсации в процессе эксплуатации системы электроснабжения в общем случае можно только с помощью автоматических устройств. Поэтому автоматическое регулирование реактивной мощности и, в частности, мощности конденсаторных батарей является важным средством улучшения технических и экономических показателей системы электроснабжения.

Для регулирования мощности конденсаторных батарей используются следующие величины (принципы):

1. Напряжение сети.
2. Ток нагрузки.
3. Реактивная мощность.

4. Время суток (график нагрузки по реактивной мощности).
 5. Угол между напряжением сети и током нагрузки.
 6. Комбинация отдельных величин.
- Рассмотрим соответствующие схемы управления.

14.7. Автоматическое регулирование возбуждение синхронных двигателей и синхронных компенсаторов.

На промышленных предприятиях применяются синхронные электродвигатели мощностью от сотен до 20 тыс. кВт. Оснащение этих машин устройствами АРВ обеспечивает повышение устойчивости работы как самих электродвигателей, так и узлов нагрузки в целом. Для создания запаса устойчивости какого-либо узла нагрузки, необходимого для нормальной работы системы электроснабжения в аварийных (при КЗ) и в других режимах, возбуждение двигателей следует форсировать. Однако длительно режим форсировки неприемлем из-за больших потерь активной мощности в цепях возбуждения, обмотках двигателя и недопустимого их перегрева. Поставленную задачу наилучшим образом и решают устройства АРВ.

При построении устройств АРВ синхронных электродвигателей используются основные законы регулирования:

1. Постоянство напряжения сети (данного узла нагрузки) $U_c = \text{const}$.
2. Постоянство коэффициента реактивной мощности двигателя $\text{tg } \varphi_d = \text{const}$.
3. Постоянство отдаваемой двигателем реактивной мощности $Q_d = \text{const}$.
4. Минимум колебаний напряжения сети (при пульсирующей нагрузке).
5. Минимум потерь активной мощности в сети.
6. Минимум потерь активной мощности в двигателе.

Регулирование по закону $U_c = \text{const}$ применяется тогда, когда суммарная мощность синхронных двигателей составляет более 30...40 % мощности подстанции, т.е. когда двигатели могут определять уровень напряжения данного узла нагрузки

Регулирование по закону $\text{tg } \varphi_d = \text{const}$ может применяться в случае медленно меняющейся нагрузки двигателя. Поскольку отношение $\text{tg } \varphi_d = Q / P$ должно быть постоянным, то при быстро меняющейся активной мощности реактивная мощность должна изменяться быстро, что может привести к значительным колебаниям напряжения в питающей сети.

Регулирование по закону $Q_d = \text{const}$ целесообразно применять при быстро меняющейся нагрузке, что позволит снизить колебания напряжения в сети. Минимум колебаний напряжения в сети может быть обеспечен при постоянстве реактивной нагрузки на питающий трансформатор.

Минимум потерь активной мощности в синхронном двигателе достигается при поддержании его коэффициента мощности $\cos \varphi_d$ равным 1.

Регулирование по условию минимума потерь активной мощности в сети связано с оптимальным распределением реактивной мощности, генерируемой отдельными ее источниками, является в общем случае достаточно сложной задачей и может быть реализовано на основе применения микропроцессоров или мини-ЭВМ.

Для синхронных электродвигателей средней мощности (10...400 кВт), а в некоторых случаях и большей используются упрощенные схемы АРВ.

Устройство АРВ с трансформатором тока ТТ, силовым трансформатором Т и дросселями Д построено по способу фазового компаундирования (рис. 8.1). При работе двигателя на холостом ходу ток возбуждения определяется трансформатором Т и дросселями Д. При нагрузке двигателя ток возбуждения увеличивается за счет увеличения тока нагрузки, т.е. мощность на возбуждение потребляется и из цепи статора двигателя. Недостаток данного устройства АРВ заключается в том, что трансформаторы тока вносят дополнительные сопротивления в цепь статора синхронной машины и ухудшают ее устойчивость при увеличении нагрузки вследствие понижения напряжения на выводах двигателя.

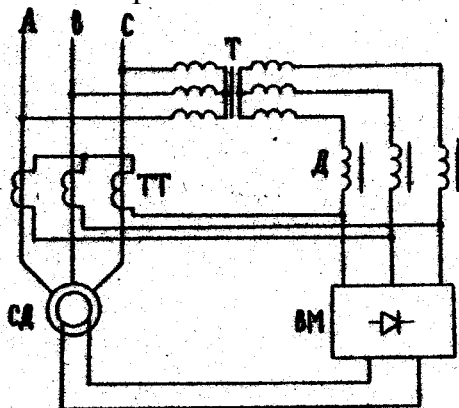


Рис. 14.6. Схема АРВ синхронного двигателя с силовым трансформатором, трансформаторами тока и дросселями

Отмеченного недостатка не имеет схема АРВ с силовым трансформатором Т и дроссель - трансформаторами ДТ (рис. 8.2,а). Эта схема проста, но протекающие в ней электромагнитные процессы относительно сложны. При отсутствии нагрузки возбуждение двигателя определяется трансформатором Т и дроссель - трансформаторами ДТ, которые выполняют в данном случае роль дросселей, ограничивая ток в цепи возбуждения. Токи, протекающие по вторичным цепям дроссель - трансформаторов, обуславливаются ЭДС E_1 , E_2 и E_3 на их первичной стороне. Эти ЭДС геометрически суммируются с соответствующими напряжениями сети, вследствие чего напряжения $U'A$, $U'B$, $U'C$ на выводах двигателя повышаются на 3...5 % U_n , увеличивая его запас устойчивости (рис. 6.2,б). При нагрузке двигателя через дроссель - трансформаторы ДТ протекают токи, которые обуславливают ЭДС $E'1$, $E'2$, $E'3$ на их вторичной стороне. ЭДС геометрически суммируются с соответствующими

напряжениями трансформатора Т. Полученные напряжения определяют ток возбуждения двигателя. Таким образом, реализуется способ фазового компаундирования.

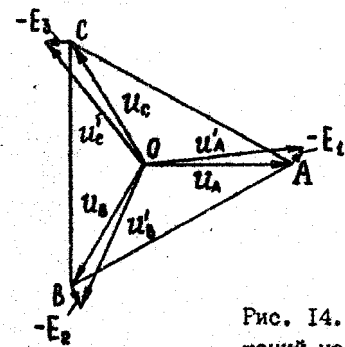
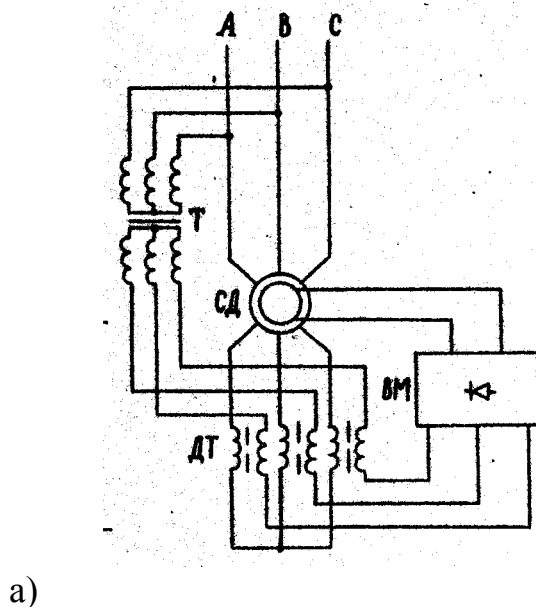


Рис. 14. Векторы напряжений на вв

Рис. 14.7. Схема АРВ синхронного двигателя (а) и векторная диаграмма напряжений на выводах двигателя (б)

Режим работы синхронного компенсатора определяется значением его тока возбуждения. При номинальном токе синхронный компенсатор генерирует реактивную мощность $Q_{с.к.н.}$, а при токе, равном нулю, потребляет реактивную мощность, равную $0,5 \cdot Q_{с.к.н.}$. В связи с этим его можно использовать для регулирования напряжения U_2 на шинах, к которым подключен синхронный компенсатор. В зависимости от генерируемой им мощности напряжение можно как повышать, так и снижать. Это следует из выражения потери напряжения в линии, которое при наличии синхронного компенсатора примет вид

$$\Delta U_{пр} = \frac{\sqrt{P^2 R_{л}^2 + (Q - Q_{с.к.})^2 X_{л}^2}}{U_2}.$$

14.8. Автоматическая компенсация емкостных токов однофазного замыкания на землю.

Электрические сети напряжением 6...35 кВ могут работать с изолированной или компенсированной нейтралью. Согласно правилам [5] и [6] рекомендуется установка устройств компенсации емкостных токов в этих электрических сетях, если емкостные токи однофазного замыкания на землю превышают указанные в табл. 14.1 величины.

Таблица 14.1

Напряжение сети, кВ	6	10	15...20	35
Емкостный ток однофазного замыкания на землю электрической сети, А	30	20	15	10

Компенсация емкостных токов рекомендуется также при величине последних более 10 А в сетях, имеющих воздушные линии на железобетонных опорах.

Сеть с компенсированной нейтралью обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с сетью с изолированной нейтралью.

1. Уменьшается основная гармоника тока однофазного замыкания на землю примерно в 15...30 раз, благодаря чему снижается опасность разрушения электрооборудования в месте замыкания на землю.

2. Понижаются уровни максимальных перенапряжений, на фазах сети по отношению к земле и уменьшается вероятность их появления.

3. Уменьшается влияние компенсированной сети на близко расположенные линии связи при однофазных замыканиях на землю в сети вследствие уменьшения величины основной гармоники тока замыкания.

4. Улучшаются условия электробезопасности для персонала, обслуживающего передвижные высоковольтные электроустановки, из-за снижения напряжений прикосновения и шага при однофазных замыканиях на землю в сети.

Применение устройств компенсации емкостных токов обеспечивает, как правило, экономический эффект, равный тысячам и десяткам тысяч рублей в год (по состоянию на 1985 г.). Для промышленных предприятий различных отраслей этот эффект может быть различным. Установка устройств компенсации экономически выгодна и в сетях с емкостными токами однофазного замыкания на землю, меньшими величин, указанных в таблице, но большими 5 А.

В настоящее время в электрических сетях Российской Федерации и за рубежом получили широкое распространение однофазные компенсирующие аппараты - дугогасящие реакторы (катушки), подключаемые к нейтрали питающего или понижающего трансформатора. В качестве последнего в сетях промышленных предприятий обычно используется трансформатор со схемой соединения обмоток звезда с нулем - треугольник У/Уо.

На рис. 14.7. изображена схема замещения компенсированной сети, на которой обозначено: Т - силовой трансформатор, к нейтрали которого подключен дугогасящий реактор; U_1 , U_2 и U_3 - фазные напряжения трансформатора Т; U_0 - напряжение смещения нейтрали; C_1 , C_2 и C_3 - емкости фаз сети относительно земли; r_1 , r_2 и r_3 - активные сопротивления утечек изоляции фаз сети по отношению к земле; L_p - индуктивность дугогасящего реактора; R_p - активное сопротивление дугогасящего реактора, обусловленное потерями активной мощности в нем.

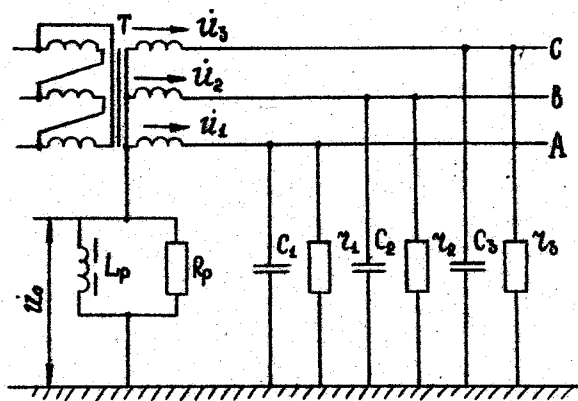


Рис. 14.7. Трехфазная схема замещения компенсированной сети в нормальном режиме работы

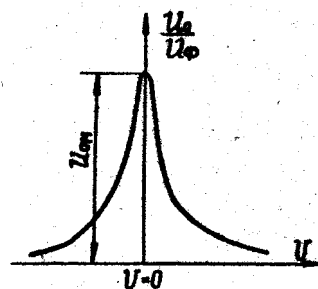


Рис. 14.8. Зависимость напряжения смещения нейтрали U_0 от степени расстройки компенсации v

Чтобы ответить на вопросы, какая настройка компенсации является наилучшей и необходимо ли применение автоматических устройств для регулирования дугогасящих реакторов, рассмотрим основные режимы работы сети с компенсированной нейтралью.

Нормальный режим работы компенсированной сети. Учитывая, что в сети с нормальным уровнем изоляции сопротивления r_1 , r_2 и r_3 на порядок выше соответствующих емкостных сопротивлений относительно земли C_1 , C_2 и C_3 , а также для упрощения выводов и соотношений положим

$$r_1 = r_2 = r_3 = r.$$

Параметры нулевой последовательности трансформатора Т учтем при определении эквивалентных величин L_p и R_p .

Лекция 15

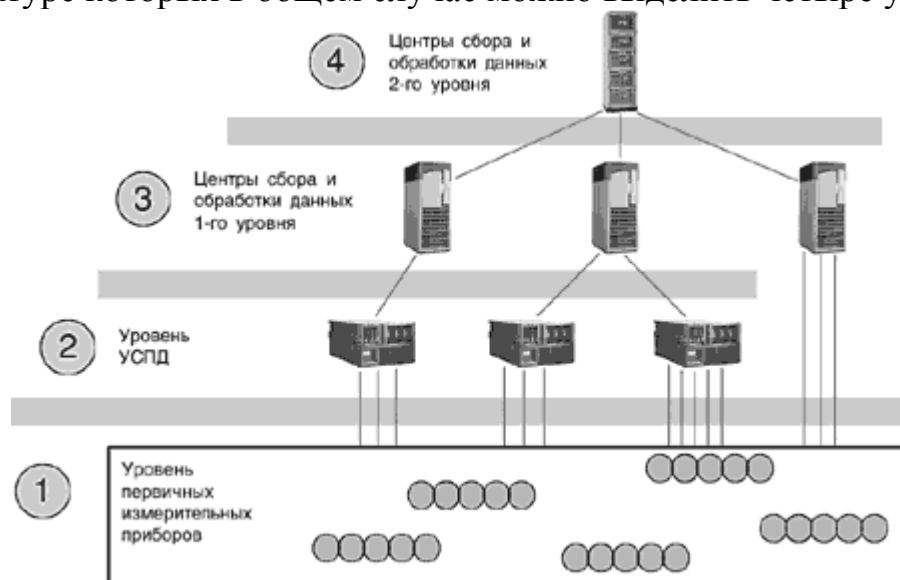
15. Автоматизированные системы контроля и управления.

15.1. АСКУЭ в промышленности.

Высокая стоимость энергоресурсов обусловила в последние годы кардинальное изменение отношения к организации энергоучета в промышленности и других энергоемких отраслях (транспорт и жилищно-коммунальное хозяйство). Потребители начинают осознавать, что в их интересах необходимо рассчитывать с поставщиком энергоресурсов не по каким-то условным нормам, договорным величинам или устаревшим и неточным приборам, а на основе современного и высокоточного приборного учета. Промышленные предприятия пытаются как-то реорганизовать свой энергоучет "вчерашнего дня", сделав его адекватным требованиям дня сегодняшнего. Под давлением рынка энергоресурсов потребители приходят к пониманию той простой истины, что первым шагом в экономии энергоресурсов и снижении финансовых потерь является точный учет. Современная цивилизованная торговля энергоресурсами основана на использовании автоматизированного приборного энергоучета, сводящего к минимуму участие человека на этапе измерения, сбора и обработки данных и обеспечивающего достоверный, точный, оперативный и гибкий, адаптируемый к различным тарифным системам учет, как со стороны поставщика энергоресурсов, так и со стороны потребителя. С этой целью, как поставщики, так и потребители создают на своих объектах автоматизированные системы контроля и учета энергоресурсов - АСКУЭ. При наличии современной АСКУЭ промышленное предприятие полностью контролирует весь свой процесс энергопотребления и имеет возможность по согласованию с поставщиками энергоресурсов гибко переходить к разным тарифным системам, минимизируя свои энергозатраты. Сегодняшний день промышленных предприятий в области энергоучета связан с внедрением современных АСКУЭ. На ряде предприятий АСКУЭ функционируют уже не один год, на других предприятиях начинается их внедрение, а руководители третьих только размышляют, надо ли им это. Ход развития мировой энергетики и промышленности показывает, что альтернативы принципу "все надо учитывать и за все надо платить" нет. И если сегодня кому-то еще удастся бесконтрольно пользоваться чужими энерго ресурсами, то завтра это станет попросту невозможно, и преимущества будут у того, у кого все процессы энергопотребления будут уже под полным контролем.

Понятие АСКУЭ.

Решение проблем энергоучета на предприятии требует создания автоматизированных систем контроля и учета энергоресурсов (АСКУЭ), в структуре которых в общем случае можно выделить четыре уровня:



первый уровень - первичные измерительные приборы (ПИП) с телеметрическими или цифровыми выходами, осуществляющие непрерывно или с минимальным интервалом усреднения измерение параметров энергоучета потребителей (потребление электроэнергии, мощность, давление, температуру, количество энергоносителя, количество теплоты с энергоносителем) по точкам учета (фидер, труба и т.п.);

второй уровень - устройства сбора и подготовки данных (УСПД), специализированные измерительные системы или многофункциональные программируемые преобразователи со встроенным программным обеспечением энергоучета, осуществляющие в заданном цикле интервала усреднения круглосуточный сбор измерительных данных с территориально распределенных ПИП, накопление, обработку и передачу этих данных на верхние уровни;

третий уровень - персональный компьютер (ПК) или сервер центра сбора и обработки данных со специализированным программным обеспечением АСКУЭ, осуществляющий сбор информации с УСПД (или группы УСПД), итоговую обработку этой информации как по точкам учета, так и по их группам - по подразделениям и объектам предприятия, документирование и отображение данных учета в виде, удобном для анализа и принятия решений (управления) оперативным персоналом службы главного энергетика и руководством предприятия;

четвертый уровень - сервер центра сбора и обработки данных со специализированным программным обеспечением АСКУЭ, осуществляющий сбор информации с ПК и/или группы серверов центров сбора и обработки данных третьего уровня, дополнительное агрегирование и структурирование информации по группам объектов учета, документирование и отображение данных учета в виде, удобном для анализа и принятия решений персоналом службы главного энергетика и руководством территориально

распределенных средних и крупных предприятий или энергосистем, ведение договоров на поставку энергоресурсов и формирование платежных документов для расчетов за энергоресурсы;

Все уровни АСКУЭ связаны между собой каналами связи. Для связи уровней ПИП и УСПД или центров сбора данных, как правило, используется прямое соединение по стандартным интерфейсам (типа RS-485, ИРПС и т.п.). УСПД с центрами сбора данных 3-го уровня, центры сбора данных 3-го и 4-го уровней могут быть соединены по выделенным, коммутируемым каналам связи или по локальной сети.

Коммерческие и технические АСКУЭ.

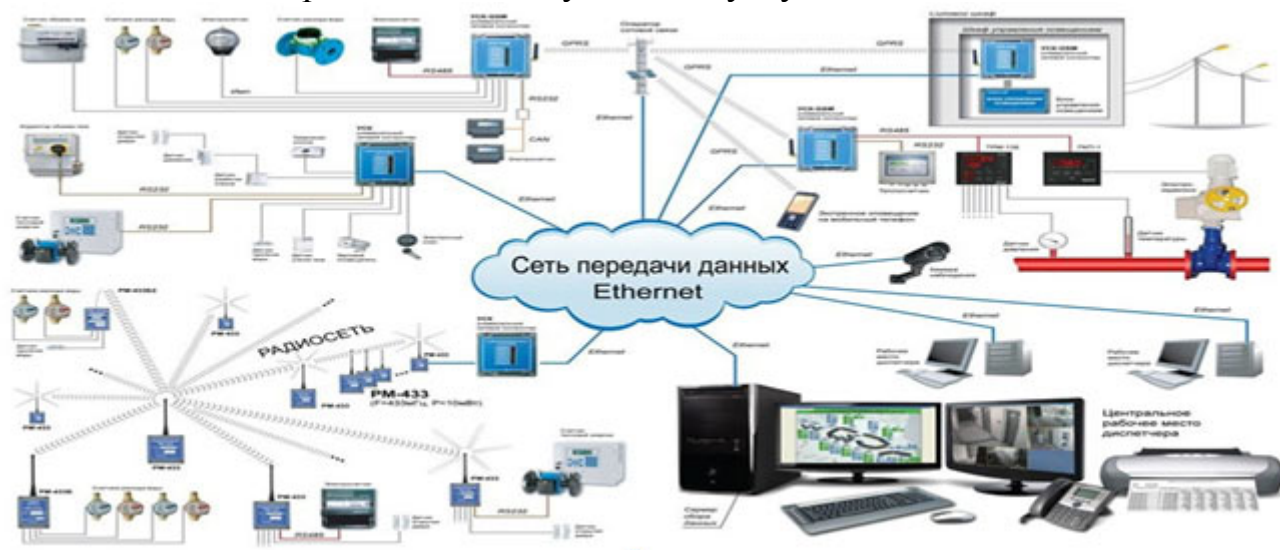
По назначению АСКУЭ предприятия подразделяют на системы коммерческого и технического учета. Коммерческим или расчетным учетом называют учет поставки/потребления энергии предприятием для денежного расчета за нее (соответственно приборы для коммерческого учета называют коммерческими, или расчетными). Техническим, или контрольным учетом называют учет для контроля процесса поставки/потребления энергии внутри предприятия по его подразделениям и объектам (соответственно используются приборы технического учета). С развитием рыночных отношений, реструктуризацией предприятий, хозяйственным обособлением отдельных подразделений предприятий и появлением коммерчески самостоятельных, но связанных общей схемой энергоснабжения производств - субабонентов функции технического и расчетного учета совмещаются в рамках одной системы. Соответственно, АСКУЭ коммерческого и технического учета могут быть реализованы как отдельные системы или как единая система.

Два вида учета, коммерческий и технический, имеют свою специфику. Коммерческий учет консервативен, имеет устоявшуюся схему энергоснабжения, для него характерно наличие небольшого количества точек учета, по которым требуется установка приборов повышенной точности, а сами средства учета нижнего и среднего уровня АСКУЭ должны выбираться из государственного реестра измерительных средств. Кроме того, системы коммерческого учета в обязательном порядке пломбируются, что ограничивает возможности внесения в них каких-либо оперативных изменений со стороны персонала предприятия. Технический учет, наоборот, динамичен и постоянно развивается, отражая меняющиеся требования производства; для него характерно большое количество точек учета с разными задачами контроля энергоресурсов, по которым можно устанавливать в целях экономии средств приборы пониженной точности. Технический контроль допускает использование приборов, не занесенных в госреестр измерительных средств, однако, при этом могут возникнуть проблемы с выяснением причин небаланса данных по потреблению энергоресурсов от систем коммерческого и технического учета. Отсутствие пломбирования приборов энергосбытовой организацией позволяет службе

главного энергетика предприятия оперативно вносить изменения в схему технического контроля энергоресурсов, в уставки первичных измерительных приборов в соответствии с текущими изменениями в схеме энергоснабжения предприятия и спецификой решаемых производственных задач. Учитывая эту специфику коммерческого и технического учета можно оптимизировать стоимость создания АСКУЭ и ее эксплуатации.

15.2. АСКУЭ в ЖКХ.

Жилищно коммунальное хозяйство (ЖКХ) сейчас переживает кардинальные реформы на основе цифровых технологий. Именно они – Автоматизированные Системы Коммерческого Учёта Энергоресурсов (АСКУЭ) позволяют собирать объективные данные по расходу энергоресурсов, сводить баланс и выявлять потери, анализировать данные и выявлять первоочередные участки ремонта. Это одинаково выгодно поставщикам и потребителям коммунальных услуг.



АСКУЭ в ЖКХ решает задачи:

- автоматизированный сбор объективной информации о текущем энергопотреблении;
- формирование, обработка , хранение и выдача необходимой части архива потребления энергоресурсов;
- своевременная сигнализация о возникновении нештатных ситуаций;
- оперативная диагностика состояния оперативного оборудования.

Как правило применяется трёхуровневая система сбора и обработки информации.

Первый уровень – общедомовой учёт энергоресурсов. Здесь осуществляется подомовой сбор данных со счётчиков электроэнергии, расхода воды, газа, тепла установленных в подвалах жилых домов. По интерфейсу RS-485 данные поступают в радиомодем, а дальше по выделенному каналу на частоте 433 МГц - на районный уровень.

Передаваемая номенклатура данных должна соответствовать требованиям ГОСТа для расчёта потреблённого объёма каждого энергоносителя.

Районный уровень – место сбора и обработки информации, по отдельному участку территории. Техническое решение организовано на базе малогабаритного процессорного модуля или Устройства Сбора и Подготовки Данных (УСПД), программное обеспечение которых выполняет опрос приборов «домового уровня» с заданным интервалом. Здесь выполняется первичный расход ресурса с минимальным интервалом равным интервалу опроса данных. Полученная информация отправляется на диспетчерский пункт по радиомодему или каналу GPRS.

Диспетчерский уровень – это персональный компьютер или сервер базы данных с рабочим местом к которому подключён GPRS модем.

Здесь решаются следующие задачи:

- отображение реальных оперативных данных расхода каждого энергоносителя, каждого дома обслуживаемого района;
- формирование отчётов об энергопотреблении;
- диагностика состояния оборудования;
- формирование энергобаланса по каждому объекту (дому), при нестыковках больше допустимого предела – информация для выполнения ремонтных работ.

Применение АСКУЭ в ЖКХ, даёт возможность оптимально сбалансировать систему домового потребления энергоресурсов, своевременно выявлять слабые места недопуская аварий

15.3. Измерительный канал АСКУЭ. Измерительные преобразователи АСКУЭ.

Основные задачи АСКУЭ:

- Получение комплексной информации по учету электроэнергии.
- Оперативный контроль работы энергетических объектов (повышение надежности работы энергетических объектов).
- Определение балансов электроэнергии по предприятию (точный учет потерь электроэнергии).
- Межмашинный обмен информацией (повышение оперативности и достоверности расчетов за электроэнергию).
- Получение точной информации о потребленной и переданной электроэнергии и мощности для проведения финансовых расчетов на оптовом рынке электроэнергии.

При проектировании измерительной системы, обязательными являлись такие возможности АСКУЭ как:

- Измерение, обработка, накопление, хранение и отображение электросчетчиками на местах их установки информации о потребленной (отпущенной) активной и реактивной энергии и мощности.

- Объединение на УСПД данных, полученных со счетчиков, в единые групповые измерения конкретных объектов.
- Сбор данных по точкам учета отпуска субабонентам, не подключенным к УСПД переносным инженерным пультом на сервер базы данных БД АСКУЭ.
- Считывание информации из УСПД параллельно по нескольким независимым направлениям.
- Накопление, хранение и отображение информации, поступающей от УСПД и собираемой переносным инженерным пультом, на сервере БД и предоставление информации на верхние уровни.
- Конфигурирование системы.

Структура системы АСКУЭ, сбор данных и обработка информации
Система АСКУЭ включает в себя несколько уровней:

- Уровень точки учета, включающий счетчики, вторичные измерительные цепи, блоки дополнительного питания счетчиков.
- Уровень объекта, включающий цифровые каналы сбора данных со счетчиков, локальные УСПД, преобразователи интерфейсов и коммуникационную аппаратуру.
- Уровень центра сбора и обработки информации, включающий главное УСПД, устройство синхронизации времени, сервер БД АСКУЭ, рабочие места пользователей, сеть.
- Уровень среды передачи данных СПД АСКУЭ.
- Уровень передачи данных на верхние уровни.

Уровень точек учета. На всех точках коммерческого учета установлены измерители - микропроцессорные счетчики АЛЬФА Плюс класса 0,5 S, которые измеряют активную, реактивную электроэнергию и мощность, накапливают, отображают и хранят эту информацию. Каждый счетчик снабжается платой цифрового интерфейса RS-425 для подключения к коммуникационной аппаратуре и передачи данных на вышестоящие уровни и снабжен группами по 2 импульсных выхода для подключения к системам.

Уровень объектов. На объектах (подстанциях) устанавливаются шкафы НКУ и шкаф УСПД (RTU-325). УСПД производят сбор данных от счетчиков, формируют групповые измерения, обеспечивают коммерческий учет потребления электрической энергии и мощности за фиксированные интервалы времени и в условиях многотарифности, отображают данные на дисплей и передают их по каналам связи.

Уровень центра сбора и обработки информации. Главное УСПД, сервер БД и коммуникационная аппаратура располагаются в административном здании. Учитывая расположение счетчиков и коммуникационные возможности, в системе используют два УСПД - локальное и главное. Главное УСПД считывает данные с локального и с коммуникационных шкафов, к которым подключены счетчики, раз в 30

минут. Сервер с ПО Альфа Центр АС_SE СУБДOracle осуществляет сбор данных коммерческого учета, ведение базы данных АСКУЭ и долговременное хранение требуемой информации. На рабочих местах также установлена программа Альфа Центр АС_SE, которая позволяет отображать данные об электроэнергии и мощности, информацию о текущем состоянии системы, документировать параметры учета, обеспечивать доступ к АСКУЭ.

Сбор данных по отпуску электроэнергии субабонентам с неавтоматизированным учетом производится при помощи переносного инженерного пульта через оптопорт счетчика.

Уровень среды передачи данных. Для обеспечения надежного и независимого обмена данными между объектами АНХК и программно-техническими комплексами системы АСКУЭ при проектировании среды передачи данных СПД АСКУЭ ОАО "АНХК" использовали технологию виртуальной сети (virtual local area network - VLAN) на базовых сетевых устройствах (коммутаторах) CISCO корпоративной сети АНХК и коммутаторах СПД АСКУЭ. Для организации канальной инфраструктуры использовали технологию Gigabit Ethernet (на основных магистральных соединениях транспортной среды) и беспроводную сеть передачи данных (SkyMAN) для подключения удаленных и отдельно стоящих объектов АСКУЭ.

Учитывая особенности предприятия, при выборе состава СПД, использовали следующие возможности данных технологий. Gigabit Ethernet обеспечивает скорость передачи данных 1 Гб/с по различным средам передачи, включая оптоволоконный кабель и радиоканал. Радиомаршрутизатор диапазона 2,4 ГГц, может быть использован в качестве любого элемента беспроводной сети: абонентского устройства (модель 2000), магистралеобразующего устройства (модель 3000). Функции маршрутизатора позволяют также производить мониторинг всего потока информации и оценку любого интерфейса, накапливать данные о проходящих потоках для последующего анализа и/или тарификации, создавать корпоративную сеть. VLAN функционируют как группы пользователей, выполняющие общие функции, без ограничения местонахождением и с возможностью использования различных сетевых устройств. Все технологии имеют полноценные механизмы защиты от несанкционированного доступа. Базовая станция на базе цеха связи состоит из радио маршрутизатора серии 3000, который обеспечивает доступ к корпоративной сети всех объектов АСКУЭ, подключаемых с использованием технологии беспроводного доступа. Секторные антенны установлены на вышке цеха связи. Внешний блок радио маршрутизатора и усилителя помещены на одной из антенн. Внутренний блок находится в шкафу корпоративной сети и его Ethernet-порт подключается к коммутатору. Направленные антенны располагаются на объектах коммерческого учета.

Используя коммутаторы серии CISCO, на базе которых создано ядро корпоративной сети АНХК, и сеть беспроводного доступа для объектов АСКУЭ, создается VLAN АСКУЭ, к которой подключают ее сервер и рабочие станции.

15.4.Устройства сбора и передачи данных (УСПД). Интерфейсы.

1 Назначение

УСПД предназначены для применения в составе измерительных автоматизированных систем контроля и учета энергоресурсов и осуществляют сбор, накопление, передачу на верхний уровень информации о потреблении энергоресурсов, а также синхронизацию работы приборов учета. УСПД может использоваться в системах диспетчерского контроля за работой телемеханики и выполнять функции автоматического/дистанционного управления исполнительными механизмами.

2 Технические и метрологические характеристики

Наименование характеристики	Значение
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности часов. с (за сутки)	± 5
Количество каналов:	
- RS-485	2
- RS-232	2
- Ethernet	1*
- CAN	1*
- CAN (Меркурий)	2*
- Встроенный GPRS модем	1*
- Дискретного (аналогового) ввода	4*
- Дискретный (релейный) выход (400 В, 100 мА)	2*
Энергонезависимые часы реального времени	
Накопитель информации	MicroSD (до 2-х Гб)
Индикация	3 светодиода
ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ	
Электропитание УСПД осуществляется от внешнего	
- напряжение постоянного тока. В	9..24
- потребляем ток не более. мА	200
УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ	
Условия эксплуатации:	
- рабочая температура, °С	от 5 до +55
- относительная влажность при 35 °С. %. не более	95
- атмосферное давление, кПа	84-107
- напряженность переменного (50 Гц) магнитного поля. А/м	До 400
Степень защиты корпуса	IP20
СРОК СЛУЖБЫ, ГАБАРИТНЫЕ РАЗМЕРЫ, МАССА	
Средний срок службы, лет	20
Средняя наработка на отказ, ч	75000

Габаритные размеры (ГхШхВ), мм, не более	58х156х86
Масса, кг, не более	0,7

по заказу

Увеличение количества каналов достигается использованием внешних преобразователей RS232/RS485, USB/RS485, USB/RS232, повторителей RS485/RS485, шлюзов Ethernet и т.д.

Устройство и работа

УСПД представляет собой прибор, выполненный в пластиковом корпусе, предназначенном для крепления на DIN-рейку. Габаритный чертеж представлен в приложении Б. Внутри корпуса располагается процессорная плата и плата GPRS модема.

Снаружи корпуса расположены разъемы для подключения внешних цепей и GSM /GPRS антенны.

УСПД снабжен светодиодным индикатором, служащим для индикации работы встроенного GPRS модема.

На плате УСПД располагаются переключки («джамперы»), с помощью которых можно подключить (отключить) резисторы - терминаторы 120 Ом в цепях RS485 и CAN (Меркурий).

XP8	RS485 №1	1-2, 3-4 разомкнуты -терминатора нет 1-2, 3-4 замкнуты - терминатор есть
XP9	RS485 №1	1-2, 3-4 разомкнуты -терминатора нет 1-2, 3-4 замкнуты - терминатор есть
XP2	CAN (Меркурий) №1	1-2, 3-4 разомкнуты -терминатора нет 1-2, 3-4 замкнуты - терминатор есть
XP3	CAN (Меркурий) №1	1-2, 3-4 разомкнуты -терминатора нет 1-2, 3-4 замкнуты - терминатор есть

Настройка, управление, контроль за работой УСПД возможны только с использованием персонального компьютера, подключаемого через интерфейс Ethernet либо через GPRS соединение.

УСПД реализует следующие функции:

прием измерительной информации от счетчиков энергоресурсов по цифровым каналам связи;

автоматическое накопление, хранение и передачу информации на верхний уровень;

автоматическая выработка системного времени;

автоматическая коррекцию/синхронизацию времени с временем верхнего уровня;

автоматическое/дистанционное управление исполнительными механизмами.

Все данные и параметры хранятся в энергонезависимой памяти УСПД.

Конструкция УСПД позволяет размещать его в электротехнических монтажных шкафах, а также устанавливать его вне защитных конструктивов.

Указание мер безопасности

По степени защиты от поражения электрическим током УСПД относятся к классу III по ГОСТ 12.2.007.0.

Подготовка к использованию, подключение внешних устройств, настройка

Размещение

При выборе места для установки следует руководствоваться следующими критериями: не следует устанавливать УСПД в местах, где возможно присутствие пыли или агрессивных газов, располагать вблизи мощных источников электромагнитных и тепловых излучений или в местах, подверженных тряске, вибрации или воздействию воды.

Подготовка к работе

Кабели интерфейсов в соответствии с проектом подключаются к разъемам, расположенным на верхней и нижней сторонах корпуса прибора в то время, когда прибор выключен.

При использовании интерфейсов RS485 и CAN (Меркурий) необходимо сконфигурировать перемычки, подключающие/отключающие резисторы - терминаторы (см п.3).

На верхней стороне корпуса расположен разъем Sma - подключение антенны GSM/GPRS модема и RJ45 - интерфейс Ethernet.

15.5. Структура АСКУЭ, аппаратное и программное обеспечение.

Технико-экономический анализ внедрения АСКУЭ.

Создание АСУЭ наряду с определением и выбором функциональных задач включает построение четырех подсистем, обеспечивающих ее работу. Это подсистемы информационного, технического, программного и организационного обеспечения АСУЭ.

Информационная подсистема определяет состав необходимой информации, поступающей в ЭВМ и к диспетчеру в требуемые сроки и в удобной для восприятия и дальнейшего использования форме. Информационная подсистема включает массивы информации, методы их сбора, обработки и хранения. В АСУЭ содержатся и перерабатываются различные виды информации (нормативно-справочные данные, текущие и архивные сведения о нормальных и аварийных режимах работы системы электроснабжения и т. д.), что обуславливает разнообразие используемых методов сбора, хранения и переработки информации.

Подсистема технического обеспечения представляет собой комплекс технических средств, реализующий процессы сбора, передачи, обработки, отображения и хранения информации. Подсистема технического обеспечения включает в себя универсальные и управляющие цифровые вычислительные машины (УВМ), включая их периферийные устройства, устройства сбора и передачи информации, в том числе и рассмотренные выше системы

телемеханики, а также устройства отображения информации диспетчеру. В качестве последних в настоящее время в АСУЭ используются дисплеи, на экране которых в удобной для восприятия человеком форме представляется информация, хранимая в памяти УВМ. Необходимым условием построения подсистемы технического обеспечения является возможность сопряжения всех видов технических устройств, входящих в эту подсистему.

Подсистема программного обеспечения представляет собой совокупность алгоритмов и программ, обеспечивающих автоматическую переработку информации. Программное обеспечение АСУЭ подразделяется на общее и специальное. Задачей программ общего математического обеспечения является организация вычислительных процессов в ЭВМ, первичная обработка поступающей в ЭВМ информации и контроль правильного функционирования АСУЭ. Программы специального математического обеспечения призваны решать конкретные задачи управления системой электроснабжения и ее контроля. Разработка программного обеспечения является наиболее трудоемкой частью работы по созданию АСУЭ. От качества и содержания программного обеспечения в большой степени зависит эффективность функционирования АСУЭ.

Подсистема организационного обеспечения включает в себя комплект инструкций и предписаний оперативному персоналу системы электроснабжения по эксплуатации как отдельных составных частей, так и АСУЭ в целом. В подсистему организационного обеспечения входят также описания рассмотренных выше подсистем, описания режимов работы технических устройств, входящих в комплекс технических средств АСУЭ, и другая документация.

Функционально АСУ системой электроснабжения так же, как и АСУ другими управляемыми объектами, является иерархической системой, т. е. состоит из отдельных подсистем, выполняющих различные функции и находящихся на разных ступенях иерархии. Функциональная структура АСУЭ промышленного предприятия имеет пять уровней иерархии, т. е. пять функциональных подсистем. Два нижних уровня иерархии: подсистема защит и ручного управления и подсистема локальной автоматики - являются базовыми уровнями АСУЭ.

Подсистемы базовых уровней функциональной структуры АСУЭ призваны решать следующие задачи [68]:

1. Релейная защита и технологическая защита основного оборудования объектов системы электроснабжения, т. е. автоматическое обеспечение безопасной работы оборудования.
2. Различного рода блокировки, а также локальное автоматическое управление отдельными элементами объектов системы электроснабжения (АПВ, АВР, АЧР и пр.).
3. Автоматическое регулирование параметров отдельных элементов системы электроснабжения. При этом используются устройства АРВ синхронных машин, АРКТ, АРКОН и др.

4. Измерение различных электрических параметров (ток, напряжение, активная мощность и др.) как для обеспечения работы местных (локальных) устройств автоматики, так и для передачи в другие подсистемы АСУЭ.

Третий уровень иерархии АСУЭ представляет собой подсистема централизованного управления и контроля, или информационно-управляющая подсистема, которая решает задачи:

1. Постоянного автоматического контроля за состоянием системы электроснабжения (режим работы оборудования, положение коммутационной аппаратуры и пр.).

2. Фиксации и анализа неисправностей.

3. Оперативных переключений.

4. Обработки первичной технологической информации, ее хранения, отображения диспетчеру, передачи в другие подсистемы АСУЭ.

5. Передачи на объекты распорядительной информации, поступающей из верхних уровней иерархии.

6. Расчетов оперативных технико-экономических показателей (ТЭП) и эксплуатационных показателей технологического процесса и работы оборудования.

7. Диагностики и прогнозирования технологического процесса и состояния основного оборудования энергосистемы.

Подсистема планирования и учета, или учетно-расчетная подсистема, представляет собой четвертый уровень иерархии АСУЭ. В круг решаемых этой подсистемой задач входит:

1. Составление балансов активной и реактивной мощности по отдельным цехам и по предприятию в целом.

2. Анализ качества электроэнергии.

3. Определение совмещенной 30-минутной нагрузки предприятия в часы пика нагрузки районной энергосистемы.

4. Автоматизированный коммерческий и технический учет электроэнергии, потребляемой предприятием в целом и его отдельными подразделениями.

5. Расчет удельного расхода электроэнергии на единицу выпускаемой продукции (для всех видов выпускаемой продукции).

6. Обработка и передача необходимой информации на другие уровни иерархии АСУЭ и в АСУ предприятия.

Высшим уровнем иерархии АСУЭ является подсистема оптимизации работы системы электроснабжения предприятия, которая решает в основном следующие задачи:

1. Обеспечение снижения потерь энергии в трансформаторах, а также в кабельных и воздушных линиях.

2. Определение и реализация оптимальных параметров качества электроэнергии в питающих и распределительных сетях.

3. Оптимальное распределение реактивной мощности в электрической сети предприятия как с точки зрения обеспечения необходимого качества

электроэнергии, так и с точки зрения минимизации потерь активной мощности в электрической сети.

4. Расчет и автоматическая реализация оптимальных режимов работы источников реактивной мощности.

5. Определение оптимальных условий питания предприятия от районной энергосистемы и их реализация.

6. При наличии собственных источников электрического питания (например, ТЭЦ предприятия) определение и реализация условий их наиболее эффективного использования.

Задачи, решаемые на высшем и на других уровнях иерархии АСУЭ, определяются возможностями используемых технических средств, включая ЭВМ, а также уровнем математического обеспечения АСУЭ.

Средства вычислительной техники, используемые в АСУЭ

Необходимым условием реализации АСУЭ является быстрая автоматическая обработка больших объемов информации, что, естественно, невозможно без использования современных средств вычислительной техники. Так как АСУЭ является организационно-технологической АСУ, решающей задачи как АСУП, так и АСУТП, АСУЭ реализуется на основе использования агрегатной системы средств вычислительной техники (АСВТ-М), которая позволяет организовать управляющий вычислительный комплекс (УВК), в котором ЭВМ оказывается непосредственно связанной с источниками информации и с исполнительными цепями управляемых объектов системы электроснабжения.

Система АСВТ-М содержит много различных агрегатных модулей, которые по назначению в УВК могут быть подразделены в основном на пять групп: процессор, устройства ввода и вывода информации (УВВ), устройства связи с объектом (УСО), устройства внутрисистемной связи (УВСС), устройства отображения и корректировки информации (УОКИ).

Назначением процессора является переработка информации, хранение оперативной информации, организация ввода и вывода информации в УВК. В рамках АСВТ-М промышленностью выпускаются в настоящее время процессоры М-6000, М-7000, М-4030. Наименьшей производительностью из них обладает процессор М-6000, поэтому он используется, как правило, на первом этапе создания АСУЭ или на низких ступенях иерархии. Наибольшую производительность имеет процессор М-4030, который может быть использован на высших ступенях иерархии. Отличительной особенностью этого процессора является возможность его непосредственного сопряжения с различными внешними устройствами единой серии ЭВМ третьего поколения, что позволяет создавать мощные многомашинные УВК.

Устройства ввода и вывода информации УВВ предназначены для считывания информации с внешних носителей (перфокарты, клавиатура, магнитные ленты и т. п.), ее преобразования и передачи в процессор,

хранения на внешних носителях и во внешних запоминающих устройствах информации, полученной от процессора. Функцией УВВ является также генерация сигналов времени.

Назначением устройств внутрисистемной связи УВСС является в основном преобразование сигналов при обмене информацией между различными вычислительными системами в многомашинных УВК.

Устройства отображения и корректировки информации УОКИ предназначены для визуального представления диспетчеру интересующей его информации, а также для восприятия и передачи в процессор вносимых диспетчером уточнений и дополнительной информации. Эти устройства реализуются, как правило, на базе использования дисплеев.

Все устройства УВК, выполненного на базе АСВТ-М, имеют унифицированное сопряжение (так называемый интерфейс 2К). При таком сопряжении соблюдается выполнение совокупности условий (физических, конструктивных, логических), что и позволяет из отдельных агрегатных модулей построить УВК, составляющий наряду с устройствами релейной защиты, локальной автоматики и телемеханики техническую основу АСУЭ.

На электроэнергию действует двухставочный тариф и два одноставочных за потребляемый объем электроэнергии – обычный и дифференцированный по временным зонам [4]. Оценить абсолютные и относительные расчетные экономические эффекты от использования одного из тарифов (например, дифференцированного), приняв другой за базовый, можно только, проведя сравнительный маркетинговый анализ их расценок по методике, предложенной в [1, 2].

Однако, учитывая, что в «профилях» суточных нагрузок ЭП обычно отсутствует задание верхних и нижних пределов варьирования часовыми мощностями, провести детальный анализ в полном объеме по указанной методике невозможно. Поэтому ограничим ее расчетом экономического эффекта, получаемого ЭП только за счет переноса нагрузок из «дорогих» (с наибольшими расценками дифтарифа) в «дешевые» зоны суток (с наименьшими расценками), без возможной оптимизации плана электропотребления. В результате ЭП получит максимально возможный эффект от снижения затрат на электроэнергию, который выражается величиной электропотребления:

$$\Delta Z = Z^{2ст} - Z^{диф} = (c^П - c^Н) \Delta W^{П-Н} + (c^П - c^Д) \Delta W^{П-Д} + (c^Д - c^Н) \Delta W^{Д-Н}. \quad (1)$$

Здесь $\Delta W^{П-Н}, \Delta W^{П-Д}, \Delta W^{Д-Н}$ – объемы электроэнергии (кВт×ч), планируемые «перенести» соответственно из пиковых зон суток в ночную, из

пиковых в дневные и из дневных в ночную; $Z^{2ст} = c^W W + c^P P_{\max}^3$

– затраты ЭП на оплату электроэнергии по двухставочному тарифу

(руб.); $Z^{диф} = c^Н W^Н + c^Д W^Д + c^П W^П$ – аналогичные затраты ЭП при оплате по дифтарифу, руб.,

где W – потребляемый суточный объем электроэнергии, кВт×ч;
 $W^H, W^A, W^П$ – суточные объемы электроэнергии, потребляемые ЭП
 в ночную, дневную и пиковую зоны суток, кВт×ч.

P_{max}^A – заявленная ЭП мощность нагрузки, участвующая в
 максимуме нагрузки энергосистемы, кВт;

c^W, c^P – расценки за потребляемый объем электроэнергии
 (руб./кВт×ч) и заявленную мощность, участвующую в максимуме нагрузки
 энергосистемы, руб./кВт;

$c^H, c^A, c^П$ – расценки за потребляемый объем электроэнергии в
 ночную, дневную и пиковую зоны суток, руб./кВт×ч.

В исходном выражении (1) можно выделить две составляющие затрат
 за потребляемую ЭП электроэнергию: «тарифную» ΔZ^m и
 «переносимую» $\Delta Z^{пер}$, определяемые технологически допустимым объемом
 переносимой ЭП суточной нагрузки

$$\Delta Z = \Delta Z^m + \Delta Z^{пер} \quad (2)$$

Величина «тарифной» составляющей определяется имеющейся
 диспропорцией тарифных расценок

$$\Delta Z^m = Z^{2ст} - Z^{диф} \quad (3)$$

а «переносимой» – ограничивается только объемом переносимой
 электронагрузки из пиковых зон в ночную зону

$$\Delta Z^{пер} = (c^П - c^H) \Delta W^{П-H} \quad (4)$$

Объемами электроэнергии, переносимыми из других зон, можно
 пренебречь, ввиду их относительно малой величины по сравнению с (4), а
 также простоты и наглядности изложения алгоритма расчета. Экономический
 эффект от перехода ЭП с двухставочного на дифтариф целесообразно
 определять по формулам (2–4), введя коэффициент k , характеризующий
 процент нагрузки, переносимой в ночную зону суток из пиковой зоны $W^П$

$$\Delta W^{П-H} = k W^П \quad (5)$$

Приняв для удобства расчетов периодичность съема данных с
 электросчетчика, равной 1 ч, а величину переносимой мощности
 электроустановок пропорциональной времени их работы, тогда в (5) объем
 электропотребления можно записать пропорциональным соответствующим
 величинам мощности

$$\Delta P^{пер} = k P^П \quad (6)$$

Задавая в суточном плане объем электропотребления, планируемый ЭП к переносу из «дорогих» (пиковых) зон суток в «дешевые» (ночные) $P^{пер}$, в кВт или в % суммарной мощности нагрузки в пиковое время $P^П$ по одной из точек учета (табл. 1), можно получить таблицы или построить рисункинномограммы на каждую точку расчетного учета электроэнергии. По ним можно оперативно анализировать значения суточных и прогнозируемых (на задаваемый временной интервал) затрат и определять экономию затрат за потребляемый объем электроэнергии по дифференцированному и двухставочному (базовому) тарифам.

Приведенная методика апробирована при расчете ТЭО ряда ЭП различных тарифных категорий, в частности, на предприятии МЖК «Краснодарский». Результаты расчета для одной из точек учета (ячейка № 5) и сводный расчет для 12 расчетных (коммерческих) точек учета данного предприятия приведены в таблицах 2, 3 и показаны на рисунках 1, 2. Она легко реализуется на ЭВМ для экспресс-оценки экономического эффекта перехода на дифтариф любого ЭП и может быть включена в состав типовых задач как в АСКУЭ-ЭП, так и в АСКУЭ-РРЭ, например, в АРМ маркетологов электросбытовых организаций и РЭК.

Полученный результат подтверждает вывод о существующем явном «перекосе» соотношения краевых тарифных расценок на электроэнергию, при котором доля «тарифного» снижения затрат на примере МЖК по одной точке и сводная по всем точкам электроучета составляют соответственно 5,98 и 6,41 %, а доля «переносимого» (в пределах технологически возможного 20 % объема электроэнергии) добавит к ней лишь только 1,83 % (7,81–5,98) и 0,19 % (6,60–6,41).

Основная литература

1. Бойт, К. Цифровая электроника / К.Бойт;пер.с нем.М.М.Ташлицкого .— М. : Техносфера, 2007 .— 472с. : ил.
2. Белов, А.В. Самоучитель по микропроцессорной технике / А.В.Белов .— 2-е изд.,перераб.и доп. — СПб. : Наука и Техника, 2007 .— 256с. : ил.
3. Абрамов, В.М. Электронные элементы устройств автоматического управления: Схемы. Расчет. Справочные данные / В.М.Абрамов .— М. : Академкнига, 2006 .— 680с. : ил
4. Угрюмов, Е.П. Цифровая схемотехника : учеб.пособие для вузов / Е.П.Угрюмов .— 2-е изд.,перераб.и доп. — СПб. : БХВ-Петербург, 2007 .— 800с. : ил
5. Нарышкин, А. К. Цифровые устройства и микропроцессоры : учеб. пособие для вузов / А. К. Нарышкин .— 2-е изд., стер. — М. : Академия, 2008 .— 319 с. : ил
6. Минаков, Е.И.[ТулГУ](#) Микропроцессоры и их применение в радиотехнических устройствах и системах : Учеб.пособие / Е.И.Минаков,А.В.Черешнев;Под ред.А.Я.Паринского;ТулГУ .— Тула, 2002 .— 120с. : ил.
7. Фрике, К. Вводный курс цифровой электроники : учеб.пособие / К.Фрике;пер.с нем.под ред.и с доп.В.Я.Кремлева .— 2-е изд.,испр. — М. : Техносфера, 2004 .— 432с. : ил.

Дополнительная литература

1. Баев, Б.П. Микропроцессорные системы бытовой техники : учебник для вузов / Б.П.Баев .— М. : Горячая линия-Телеком, 2005 .— 480с. : ил.
2. Благовещенская, М.М. Информационные технологии систем управления технологическими процессами : учебник для вузов / М.М.Благовещенская,Л.А.Злобин .— М. : Высш.шк., 2005 .— 768с. : ил
3. Бодрухина, С.С.[Московский энергетический университет\(технический университет\)Тульский государственный университет](#) Автоматизация и диспетчеризация систем электроснабжения промышленных предприятий : учеб.пособие для вузов / С.С.Бодрухина [и др.];Моск.энергет.ун-т,ТулГУ .— М.;Тула, 2006 .— 112с. : ил.
4. Гусев, В.Г. Электроника и микропроцессорная техника : учебник для вузов / В.Г.Гусев,Ю.М.Гусев .— 4-е изд.,доп. — М. : Высш.шк., 2006 .— 799с. : ил
5. Калашников, В.И. Информационно-измерительная техника и технологии : Учебник для вузов / В.И.Калашников,С.В.Нефедов,А.Б.Путилин и др.;Под ред.Г.Г.Раннева .— М. : Высш.шк., 2002 .— 454с. : ил.