

А. Д. Коломитцев, А. В. Чернікова

НТБ ДонНТУ



M1100

Телемеханіка і диспетчеризація
в системах електропостачання

Подлежит возврату
библиотеке ДПИ

1100

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

* * *

ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

* * *

Затверджено на засіданні
учбово-видавничої ради ДонНТУ.
Протокол № _____ від _____

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з навчального курсу

“Телемеханіка і диспетчеризація
в системах електропостачання”

(для студентів спеціальності 7.090603)



Затверджено
на засіданні методичної комісії
з спеціальності 7.090603.
Протокол № _____ від _____

Донецьк: ДонНТУ-2004

Конспект лекцій з навчального курсу "Телемеханіка і диспетчеризація в системах електропостачання" (для студентів спеціальності 7.090603) / Укл.: А.Д. Коломитцев, Л.В. Чернікова. - Донецьк: ДонНТУ, 2004. - 97 с.

Наведено основні теоретичні положення лекційного курсу, в яких розглянуті питання характеру, виду та об'єму інформації в системах електропостачання, характеру зв'язку в системах телемеханіки. Розглянуто засоби телемеханіки в системах центрального керування, принципи побудови промислових систем диспетчерського керування енергопостачанням, а також сучасні автоматизовані системи керування енергопостачанням промислових підприємств, питання проектування таких систем та автоматизації телемеханізованих об'єктів.

Призначений для студентів спеціальності "Електротехнічні системи електропостачання".

Укладачі:	доц. А.Д. Коломитцев доц. Л.В. Чернікова
Нормоконтролер:	доц. В.І. Ярошенко
Рецензент:	доц. В.М. Шумяцький
Комп'ютерна верстка, дизайн обложки і виконання рисуноків:	ст. гр. Ф01-б(2) В.О. Топчій

Введение.....	5
1 Информация в системах управления энергоснабжением.....	8
1.1 Характер, виды и объем передаваемой информации	9
1.1.1 Объем телемеханизации в системах диспетчерского управления системами электроснабжения.....	8
1.2 Элементы теории информации	11
1.2.1 Общие понятия и определения.....	11
1.2.2 Характеристика информации. Импульсные признаки сигналов.....	13
1.2.3 Форма сообщения и его преобразование.....	15
1.2.4 Количество информации и его мера.....	20
1.3 Основы теории избрания. Принципы избрания и разделения сигналов.....	22
2 Каналы связи в системах телемеханики.....	28
2.1 Основные понятия.....	28
2.2 Проводные линии связи	29
2.3 Искусственные цепи для ТМ передачи информации.....	32
2.4 Частотные каналы связи.....	34
2.5 Каналы связи по световодам	38
2.6 Помехи и помехоустойчивость.....	40
3 Средства телемеханики в системах центрального управления.....	44
3.1 Основные понятия и классификация.....	44
3.1.1 Системы телеуправления.....	44
3.1.2 Системы телесигнализации.....	45
3.1.3 Системы телеизмерения.....	45
3.2 Системы телеуправления и телесигнализации	46
3.2.1 Основные понятия.....	46
3.2.2 Принципы построения систем ТУ-ТС	48
3.2.3 Частотные системы ТУ-ТС.....	48
3.2.4 Временные системы ТУ-ТС.....	49
3.2.5 Кодовые системы ТУ-ТС.....	51
3.3 Системы телеизмерения	51
3.3.1 Основные понятия.....	51
3.3.2 Классификация систем ТИ.....	54

3.3.3 Частотно – импульсные системы ТИ.....	55
3.3.4 Времяимпульсные системы ТИ.....	57
3.3.5 Кодоимпульсные системы.....	59
3.3.6 Частотные системы.....	60
3.3.7 Многоканальные системы ТИ.....	63
3.3.8 Адаптивные ТИ системы.....	64
4 Принципы построения промышленных систем диспетчерского управления энергоснабжением.....	65
4.1 Общие положения по диспетчеризации систем энергоснабжения	65
4.2 Организация диспетчерской службы	66
4.3 Основные сведения об организации эксплуатации систем централизованного диспетчерского управления	68
5 Автоматизированные системы управления энергоснабжением промышленных предприятий.....	73
5.1 Основные сведения об автоматизированных системах управления.....	73
5.2 Принципы построения и задачи, решаемые АСУЭ.....	75
5.2.1 Структурная схема АСУЭ, построенная по функциональному признаку.....	76
5.2.2 Структурная схема АСУЭ, построенная по организационному принципу.....	78
5.3 Автоматизированный учет электроэнергии.....	80
6 Проектирование систем телемеханизированного диспетчерского управления энергоснабжением.....	83
6.1 Общие требования к проектной документации и порядок проектирования.....	83
6.2 Стадии разработки и содержание технической документации СОУ и АСОУ.....	84
7 Автоматизация телемеханизируемых объектов.....	89
7.1 Общие положения	89
7.2 Автоматическое повторное включение	89
7.3 Автоматическое включение резервного питания	91
7.4 Автоматическое включение и отключение компенсирующих устройств.....	92
7.5 Автоматическая частотная разгрузка (АЧР).....	93
7.6 Автоматизация при самозапуске электродвигателей.....	94

ВВЕДЕНИЕ

Энергетическое хозяйство является важнейшей составной частью промышленного предприятия, надежная и эффективная работа которого обеспечивает ритмичность и качественные показатели работы всего предприятия. Достижение этой цели во многом определяется совершенствованием организации и управления промышленной энергетикой, автоматизацией технологических процессов.

Поэтому на предприятиях широкое распространение получили системы централизованного управления энергоснабжением, оснащенные средствами телемеханики, информационно-измерительными системами, вычислительной техникой, современными средствами обработки и представления информации.

Современное производство характеризуется комплексной автоматизацией цехов и технологических процессов, созданием автоматизированных систем управления (АСУ) отдельными технологическими процессами и предприятием в целом. В АСУ широкое применение получили средства телемеханики.

Телемеханика – отрасль науки и техники об управлении, контроле и регулировании объектами на расстоянии путем преобразования управляющих воздействий в сигналы, передаваемые по каналам связи.

Совокупность аппаратов, выполняющих указанные выше функции, называют устройствами телемеханики, а комплекс устройств телемеханики, датчиков телеконтроля и каналов связи – системой телемеханики.

Телемеханическое управление отличается от дистанционного сокращением требуемого числа линий связи за счет применения специальных методов и устройств, передающих информацию по уплотненным каналам связи. Современные комплексные устройства используют общий канал для передачи сигналов телеуправления (ТУ), телесигнализации (ТС) и телеизмерения (ТИ), а также производственно-статистической информации (учет продукции, расход энергии и т.п.), осуществляют ввод информации в вычислительные машины.

Опыт эксплуатации автоматизированных систем и телемеханизированных систем показал, что совместное применение автоматизации и телемеханизации позволяет повысить бесперебойность энергоснабжения потребителей при оптимальных величинах капитальных затрат и эксплуатационных расходах. Кроме этого, повышается ритмичность производственного процесса, оперативность управления, высвобождается значительное количество обслуживающего персонала.

Наряду с управлением энергетическим хозяйством предприятий системы диспетчеризации, оснащенные средствами телемеханики, позволяют вести контроль за состоянием и управлением энергохозяйствами отдельных цехов, технологическими процессами и др.

Новые виды оборудования и аппаратуры, использование микропроцессорной техники открывают перед диспетчерской службой возможности централизованного измерения интегральных значений различных параметров, учета энергоресурсов, потребления отдельных видов энергии, определения удельных расходов энергии на единиц продукции и т.д. Возможно решение задач оптимизации работы энергосистемы с точки зрения наивыгоднейших режимов эксплуатации энергооборудования, минимизации потерь всех видов энергии и получения максимального технико-экономического эффекта.

Широкое развитие АСУ промышленными предприятиями (АСУП) ставит перед системами диспетчерского управления особые требования к сбору и передаче необходимой информации. Наиболее распространенным решением этой проблемы является создание на предприятиях локальных комплексов АСУ энергетическим хозяйством предприятия (АСУЭ) как одной из подсистем АСУП.

Системы централизованного управления промышленным энергоснабжением в зависимости от их функций, назначения и решаемых задач, а также от используемых технических средств можно разделить на три вида:

- системы оперативного управления (СОУ);
- автоматизированные системы диспетчерского управления (АСДУ);
- автоматизированные системы управления энергохозяйством (АСУЭ).

СОУ, оснащенные при необходимости средствами телемеханики, осуществляют централизованно контроль за работой и состоянием системы энергоснабжения, оперативное управление энергетическим оборудованием, контроль и регулирование основных энергетических параметров.

АСДУ, наряду с функциями оперативного управления и контроля, присущими СОУ, осуществляет решение ряда организационных задач: автоматизированный контроль производства и рационального расходования энергоресурсов; контроль 30-минутной электрической нагрузки предприятия в часы максимума нагрузки энергосистемы; сравнение измеряемых параметров с уставками и сигнализация отклонения их от нормы; автоматизированная разгрузка системы энергоснабжения; сбор данных для составления энергетических балансов, расчетов технико-экономических показателей; автоматизация выдачи задания (нарядов) персоналу на выполнение переключений в энергетических сетях и др.

В АСУЭ, наряду с задачами оперативного управления и контроля, автоматизированного учета энергоресурсов и другими задачами, входящими в функции АСДУ, основное значение приобретают задачи оптимизационного характера в области производства энергии, ее потребления и работы энергетического оборудования, а также задачи оперативного и долгосрочного планирования, ремонта энергооборудования, накопления и анализа статистических данных для разработки реальных удельных нормативов и перспективных планов. В состав АСУЭ также включаются сис-

темы диагностики неисправностей электро- и энергооборудования предприятия и контроль параметров, характеризующих загрязнение окружающей среды.

В качестве технических средств в АСУЭ используются управляющие ЭВМ, микропроцессорные телемеханические комплексы, информационно-измерительные устройства и устройства представления информации.

АСУЭ – система управления более высокого класса, в состав которой входит АСДУ, как информационно-управляющая подсистема.

Выбор наиболее рациональной системы управления электроснабжением для предприятия должен производиться на основании технико-экономического обоснования с учетом конкретных особенностей данного предприятия. Очевидно, что чем больше промышленное предприятия и масштабы его потребления энергии, тем целесообразнее использовать системы управления более высоких классов.

1 ИНФОРМАЦИЯ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕМ**1.1 Характер, виды и объем передаваемой информации [2, с.37-50; 1, с.39-45; 6, с.9-19]**

Передача информации в системах управления (СУ) энергоснабжением, как правило, осуществляется на большие расстояния с помощью средств телемеханики. Характер, содержание и объем передаваемой информации определяется задачами, решаемыми СУ контролируемых объектов энергоснабжения, функциональными возможностями используемых в СУ технических средств.

По своему характеру информация может быть:

- оперативной, которая предназначена для постоянного контроля за состоянием системы энергоснабжения (СЭ) и непосредственного управления ею с пункта управления (ПУ);
- статистической, которая предназначена для обработки, обобщения и анализа результатов эксплуатации СЭ, планирования и нормирования производства и потребления энергии;
- отчетной, которая используется для составления отчетных документов.

По своему назначению информация разделяется на распорядительную (управляющую, командную, регуляторную), сигнальную (о положении и состоянии регулируемых объектов, о ходе – производственного процесса, об отклонениях контролируемых параметров от нормы, предупреждающую и аварийную), измерительную (измерение текущих и интегральных значений контролируемых параметров).

Определение рациональных объемов информации с помощью средств телемеханики (ТМ) для каждого объекта должно производиться с учетом основных принципов ТУ, ТС и ТИ.

ТУ предусматривается, если в процессе работы контролируемого объекта требуется производить оперативные переключения, а также при необходимости переключений, связанных с локализацией аварийных состояний объекта.

Объем телерегулирования (ТР) должен быть достаточным для поддержания диспетчером необходимых значений энергетических параметров в контролируемой системе. Возможны два способа ТР:

- ТР методом ТУ по принципу "больше – меньше";
- кодовое или аналоговое задание уставок автоматическим регуляторам, установленным на контролируемом пункте.

Объем ТС должен обеспечить передачу на ПУ предупреждающих и аварийных сигналов и, при необходимости, отображение состояния и положения основных элементов СЭ и устройств телемеханики.

Сигналы, поступающие на ПУ, можно разделить на две группы:

- первые не требуют прихода персонала на контролируемый объект (КО): сигналы о положении оборудования, о перегрузках, о предельных значениях контролируемых параметров и т.п.;

- вторые требуют прихода обслуживающего персонала на КО для выполнения определенных действий: сигналы о срабатывании защит, о повреждении изоляции и в оперативных цепях. Характер неисправности определяется по положению местной сигнализации.

Объем телеизмерений текущих значений параметров (ТИТ) должен обеспечить диспетчеру возможность изменения основных электрических и энергетических параметров, характеризующих работу СЭ и необходимых для оперативного управления ею, а также локализации и ликвидации аварий.

Объем телеизмерений интегральных параметров (ТИИ) должен обеспечить возможность составления энергетических балансов и расчетов технико-экономических показателей работы СЭ.

Информация может иметь качественный или количественный характер. Первая характеризует качественные изменения состояния КО (например, включение и отключение выключателя) или хода технологического процесса, построена по типу "да – нет" и носит дискретный характер. Вторая содержит текущие значения контролируемых величин или параметров, определяющих ход технологического процесса, и характеризует непрерывные во времени сообщения (например, величину тока, напряжения и др. величин).

Качественная информация обеспечивает функции ТС и ТУ, количественная – ТИ и ТР.

1.1.1 Объем телемеханизации в системах диспетчерского управления системами электроснабжения [2, с.42-45]

В системах диспетчерского управления системами электроснабжения (СЭС) может предусматриваться

ТУ:

- выключателями на питающих и линиях связи между подстанциями на напряжении выше 1 кВ при отсутствии АВР или при необходимости оперативных переключений;
- выключателями понизительных трансформаторов, если необходимо производить режимы переключения (при работе предприятия или цеха в одну или две смены, когда систематически включают и отключают большое количество потребителей электроэнергии);
- коммутационными аппаратами линий освещения территории предприятия;
- выключателями на линиях автоматической частотной разгрузки (АЧР) при отсутствии

ЧАПВ;

- коммутационными аппаратами на питающих линиях, секционными и на линиях связи между подстанциями на напряжении 0,4 (0,66) кВ в случаях, когда требуется обеспечить питание потребителей 0,4 (0,66) кВ от ограниченного числа трансформаторов (при одно- или двухшвенной работе, включении цеховой сети, выполненной магистральными и распределительными шинопроводами и др.);

- выключателями автоматизированных преобразовательных подстанций и агрегатов, питающих распределительные шины;

- выключателями на линиях тяговых подстанций, питающих контактную сеть;

- выключателями 6, 10 кВ батарей статических конденсаторов при отсутствии автоматического регулирования;

- коммутационными аппаратами СЭС приточно-вытяжной вентиляции цеха.

ТР:

- коэффициента трансформации силовых трансформаторов, допускающих регулирование под нагрузкой;

- мощности батарей статических конденсаторов, имеющих секционное подключение;

- возбуждение крупных синхронных двигателей и компенсаторов.

ТС:

- положения всех телеуправляемых объектов (двухпозиционная ТС – включен, отключен);

- положения нетелеуправляемых выключателей силовых трансформаторов и других электроприемников (выше 1 кВ), эксплуатация которых находится в ведении цеха сетей и подстанций или электросилового цеха;

- срабатывания устройств АЧР (один общий сигнал с КП);

- замыкания на землю в сетях напряжением выше 1 кВ (один общий сигнал с каждой головной подстанцией);

- положения отделителей на вводах при напряжении 35 кВ и выше;

- положения выключателей крупных токоприемников, управляемых с места, из цеха;

- аварийного отключения любого выключателя (один общий сигнал с КП) для направления персонала на КП и выяснения причин срабатывания;

- неисправности телеуправляемого трансформатора или преобразовательного агрегата (индивидуальный сигнал для каждого КО, являющийся предупреждающим о возможном отключении), например, срабатывании первой ступени газовой защиты трансформатора;

- отключения телеуправляемого трансформатора или преобразовательного агрегата от внутренних повреждений (вторая ступень газовой защиты, дифференциальная защита, замыкание на землю на стороне постоянного тока тяговой подстанции и т.п.). Сигнал выполняется общим для

КП, а направляемый на него персонал выясняет причины и принимает меры по устранению повреждений;

- неисправности на КП. Выполняется общим для КП (замыкания на землю в цепях оперативного тока, повреждения в цепях трансформаторов напряжения, обрыв оперативных цепей управляемых объектов, на КТП без шин высокого напряжения и с АВР на стороне низкого);

- возникновения пожара на необслуживаемых объектах (при появлении дыма);

- открывания дверей на необслуживаемых объектах системы (имеет охранное назначение, информирует о приходе на объект персонала).

ТИТ:

- суммарной мощности (активной и реактивной), получаемой от каждого источника (по вызову) и по предприятию в целом (постоянно с регистрацией);

- нагрузки (активной и реактивной мощности) трансформаторов на ГПП;

- напряжения на шинах головных подстанций общего контроля;

- тока на одном конце линии между подстанциями, если эти линии могут перегружаться;

- тока на телеуправляемых трансформаторах и преобразующих агрегатах при необходимости режимных переключений;

- тока на линиях к наиболее крупным и ответственным электроприемникам;

- частоты на вводах системы энергоснабжения.

ТИИ:

- активной и реактивной электроэнергии на вводных питающих линиях в связи с энергосистемой;

- активной электроэнергии на отходящих линиях, определяющих электрический баланс отдельных подразделений и предприятия в целом;

- активной электроэнергии на линиях к сторонним потребителям;

- реактивной электроэнергии компенсирующих устройств (для контроля заданного режима работы).

1.2 Элементы теории информации [1, с.11-28; 2, с.51-64; 5, с.50-90]

1.2.1 Общие понятия и определения

Теория информации рассматривает вопросы передачи сообщений, методы кодирования сигналов и повышения помехоустойчивости передачи, определяет максимальные скорости передачи информации и ее количественные показатели.

Под сообщениями понимают любые сведения, подлежащие передаче. В отличие от сообщения, под информацией понимают те сведения, содержащиеся в сообщениях, которые представ-

ляют собой новизну и заранее неизвестны получателю (диспетчеру или машине). Форма сообщений может быть разнообразной – устная речь, письмо, изображение, данные, характеризующие состояние процесса, объекта и т.д.

Для передачи на расстояние сообщения преобразуются в сигналы, которые являются материальными носителями информации.

Сигналом называется физический процесс (например, определенная последовательность электрических импульсов или колебаний определенной частоты), однозначно соответствующих передаваемому сообщению. Передача сообщений осуществляется по каналам связи (КС), образуемых с помощью технических средств на линиях связи различного исполнения. В телемеханике, как правило, используют электрические и радиоканалы связи.

КС существуют независимо от наличия передаваемых по нему сообщений. По одному КС можно передавать одновременно сигналы нескольких сообщений. Каждое сообщение должно иметь свой независимый канал передачи сообщений, который существует столько времени, сколько требуется для передачи этого сообщения.

Схема системы передачи информации (рис. 1.1) состоит из *ИС* – источника сообщения; *П* – передатчика, преобразующего сообщения в сигнал; *ЛС* – линии связи, по которой передаются сигналы; *ИП* – источников помех; *Пр* – приемника, преобразующего обратно сигналы в сообщения; *ПС* – получателя сообщения.

В процессе передачи сообщения по КС происходит его ослабление и искажение передаваемых сигналов, в том числе из-за воздействия помех (шумов).

С точки зрения информации управление производственным процессом подразделяют на четыре этапа: получение, переработку, использование и передачу информации.

Если управление осуществляется машинами и механизмами, то его называют автоматическим, а при частичном участии человека – автоматизированным управлением.

Существующие средства автоматизации делятся:

- для получения информации – устройства сбора информации (датчики, измерительные приборы и т.д.);
- для передачи информации на расстояния – системы ТМ;
- для переработки информации – устройства ВТ и специализированные;
- для использования информации – автоматические регуляторы и исполнительные механизмы.

С понятием информация связано понятие информационная система, определяемая как совокупность устройств и каналов связи с протекающими в них процессами генерирования, сбора,

передачи, обработки, хранения и отображения информации. Одной из разновидностей ИС может служить система ТМ, состоящая из устройств ТМ и КС.

Математическим аппаратом теории информации является теория вероятностей и математическая статистика.

1.2.2 Характеристика информации. Импульсные признаки сигналов.

С точки зрения устойчивости все сигналы подразделяются на статические (книга, запись на магнитной ленте и т.п.) и динамические (звуковые, световые, электрические и т.п.). Динамические сигналы делят на дискретные и непрерывные. Дискретные сигналы более удобны и надежны, так как они менее подвержены искажениям при передаче, проще вводятся в вычислительные устройства и т.д.

Сигнал дискретного сообщения представляет собой дискретную последовательность отдельных элементов (посылок), характеризующихся определенными качественными (импульсными) признаками. Чем больше импульсных признаков, тем большее число сообщений может содержать сигнал. Выбор вида импульсных признаков зависит от типа КС.

К основным видам импульсных признаков сигнала относят:

- полярный признак (рис.1.2), при котором импульсные посылки отличаются полярностью (положительный или отрицательный). Могут быть использованы только при применении проводной ЛС и характеризуются высокой помехоустойчивостью (не меняет своего качества из-за колебаний питающего напряжения или изменения параметров ЛС). Число полярных признаков $m_p=2$. Расшифровка осуществляется с помощью поляризованных реле, триггеров и др.
- амплитудный признак (рис.1.3), при котором импульсные посылки отличаются по амплитуде. Используются в основном в кабельных линиях связи, менее подверженных воздействию атмосферных условий. Недостаточная помехоустойчивость и сложность приемной аппаратуры при большом числе признаков приводят к необходимости использовать число амплитудных признаков $m_a=2$ (импульс большой и малой амплитуд). В качестве анализаторов могут быть использованы реле различной чувствительности.
- временной признак (рис.1.4), при котором импульсные посылки отличаются друг от друга длительностью импульса и паузой между импульсами. Применение большого числа посылок разной длительности приводит к увеличению времени передачи сигнала и снижению надежности работы приемных устройств. Поэтому $m_v \leq 3$. Временной признак универсален для КС.
- фазовый признак (рис.1.5), при котором посылки отличаются фазой по отношению к некоторому опорному периодическому процессу (например, синусоиде). Для большей надежности

$m_{\phi}=2$, т.е. посылка одного качества находится в фазе, а другого – в противофазе с опорным процессом.

- частотный признак (рис.1.6), при котором импульсные посылки отличаются по частоте. При этом под посылкой понимается несколько периодов синусоидального тока (напряжения) или серия импульсов, следующих с определенной частотой. Достаточно помехоустойчив и позволяет одновременно передавать несколько сигналов различной частоты по одной ЛС, как проводной, так и беспроводной. Число $m_c=4$.

Расшифровка на приемной стороне осуществляется схемами, работающими по резонансному признаку.

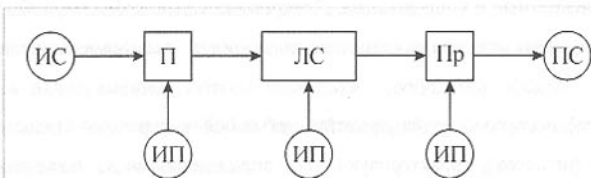


Рисунок 1.1 – Схема системы передачи информации

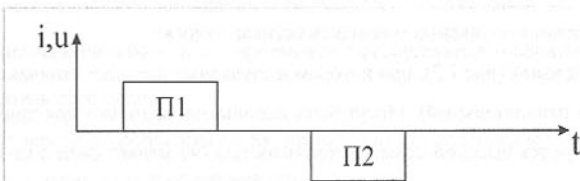


Рисунок 1.2 – Полярный импульсный признак сигнала

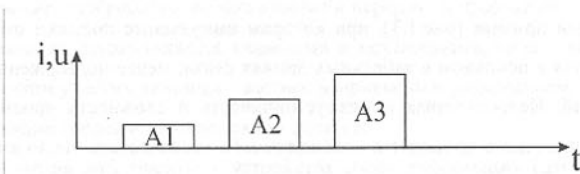


Рисунок 1.3 – Амплитудный импульсный признак сигнала

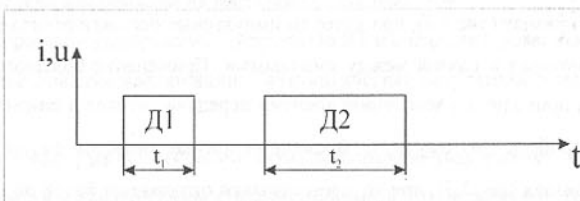


Рисунок 1.4 – Временный импульсный признак сигнала

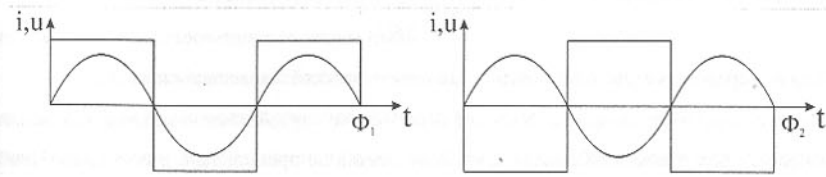


Рисунок 1.5 - Фазовый импульсный признак сигнала

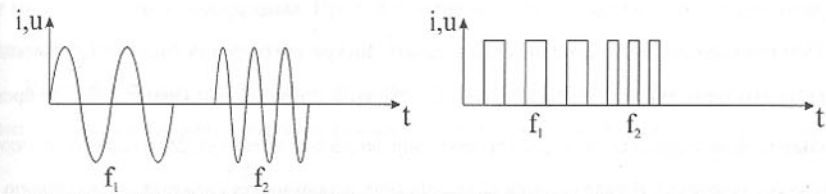


Рисунок 1.6 - Частотный импульсный признак сигнала

1.2.3 Форма сообщения и его преобразование

Поскольку передача дискретных сигналов имеет ряд преимуществ перед передачей непрерывных сигналов, то часть непрерывного сообщения заменяют дискретным. Такая замена называется **квантованием** (дискретизацией). Квантование сигнала осуществляют по уровню (амплитуде) и по времени. При квантовании по уровню кривую $x(t)$ (рис.1.7) разбивают на равные интервалы по вертикали Δx , называемые шагом квантования. При заданном Δx число дискретных значений сигнала (разрешенных уровней) в диапазоне применения $x(t)$ от x_{max} до x_{min} равно

$$M = \frac{x_{max} - x_{min}}{\Delta x}.$$

Мгновенное значение функции внутри интервала Δx заменяется ближайшим разрешенным, а переход с одного уровня на другой происходит, когда значение $x(t)$ находится в середине интервала квантования. Математически это соответствует округлению. Такая замена приводит к погрешности квантования

$$\delta_x = \pm \frac{1}{M} \cdot 100\%,$$

которая уменьшается с увеличением M или с уменьшением Δx .

При квантовании по времени кривую $x(t)$ разбивают на равные отрезки по горизонтали Δt и передают только те значения сигнала, которые совпадают с началом (или концом) каждого интервала. Т.е. передача квантованных по времени сигналов происходит в фиксированные моменты времени. Котельниковым В.А. было доказано, что непрерывная функция может быть заменена ее отдельными дискретными значениями, отсчитанными через интервал

$$\Delta t \leq \frac{1}{2F},$$

где F – предельное значение частоты гармонических составляющих сигнала.

Квантование является одним из способов борьбы со случайными помехами. Шаг квантования выбирается так, чтобы наибольшая случайная помеха не превышала его половины. При этом для искаженных помехой значений функции ближайшим уровнем остается тот, который передавался.

При квантовании по уровню переход с одного дискретного уровня на другой происходит в разные моменты времени, т.е. с переменным Δt . С другой стороны, при квантовании по времени найденные значения функции чередуются через определенный интервал Δt , но имеют самую разную величину (уровень). В ряде случаев целесообразно использовать квантование по уровню и по времени одновременно. При этом передача квантованных по уровню значений функции происходит в фиксированные моменты времени.

Сигнал представляет собой временной процесс, так как образуется из импульсов определенной длительности. В отличие от этого сообщение представляет собой комбинацию отдельных символов и имеет определенную статистическую структуру. Преобразование дискретных сообщений в дискретные сигналы (в виде кодовых комбинаций), предназначенные для передачи по КС, называют **кодированием**. При кодировании непрерывных сообщений предварительно осуществляют их квантование. Кодовую комбинацию записывают в виде последовательности условных символов (например, цифр, букв и т.д.). В результате кодирования получают сигнал, построенный из отдельных дискретных посылок по определенному закону – коду.

Кодом называют совокупность условных сигналов, обозначающих дискретные сообщения. Кодовая комбинация (последовательность) – это представление дискретного сигнала. Кодовая часть применяется при защите информации от помех.

В ТМ используют одноэлементное и многоэлементное кодирование. При одноэлементном кодировании сигналы отличаются друг от друга изменением какого-нибудь признака (полярного, амплитудного и т.д.). При этом можно получить сравнительно небольшое число сигналов, так как число самих признаков мало. При многоэлементном кодировании сигналы отличаются или числом элементов, или комбинацией элементов с различными признаками.

Общее число кодированных сигналов определяется числом комбинаций N , которые могут быть получены из числа самих импульсов n и их качественных признаков m . С увеличением m количество N , а значит, и передаваемых с помощью этих импульсов сигналов возрастает. В общем виде эта зависимость определяется выражением

$$N = m^n,$$

Так, например, с помощью трех импульсов, имеющих только полярный признак, можно получить $N = 2^3 = 8$ кодированных сигналов (рис.1.8).

Поскольку для управления большинством телеуправляемых объектов требуется передача только двух команд (включить, отключить), широкое распространение в ТМ получило одноэлементное кодирование, осуществляемое двумя сигналами, имеющими, например, полярные признаки. Когда число объектов велико и каждому требуется передавать несколько сигналов, используют многоэлементное кодирование. При этом кодированный сигнал включает в себя содержание команды и адрес объекта.

Классифицировать коды можно по длине кодовых комбинаций (одно- и многоэлементные), по числу символов в кодовом алфавите (двоичные, для которых число символов равно двум,

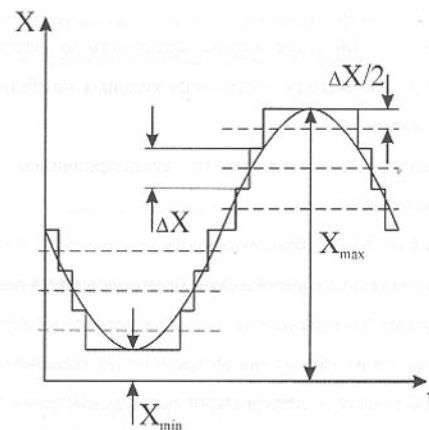


Рисунок 1.7 – Квантование сигнала

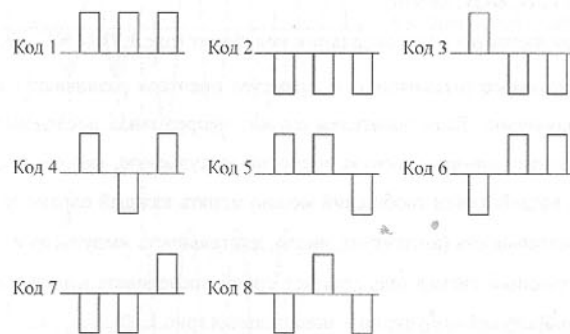


Рисунок 1.8 – Кодирование сигналов

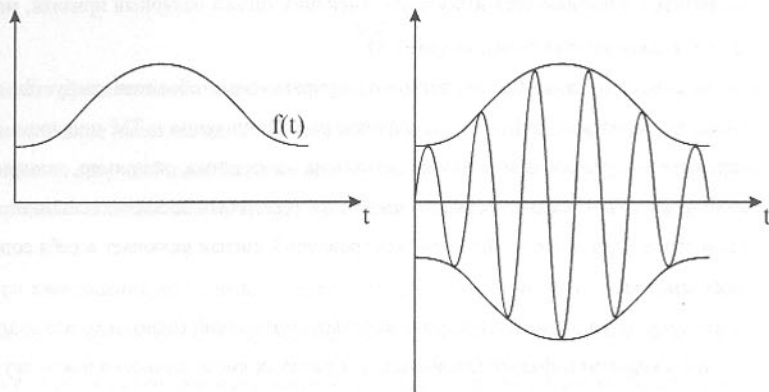


Рисунок 1.9 – Моделированные колебания по амплитуде

троичным, четверичным и т.д.), по методу построения кодовых комбинаций, по возможности обнаружения и исправления искажений.

Процесс, обратный кодированию, называется декодированием и состоит в однозначном восстановлении передаваемых сообщений.

Для передачи сигналов по КС необходимо иметь переносчик (носитель), в качестве которого можно использовать синусоидальные колебания или непрерывную последовательность импульсов. В ТМ для этого применяют электрический ток. Для передачи информации необходимо воздействовать на его параметры для их изменения во времени по заданному закону.

Изменение параметров носителя информации под воздействием передаваемых сообщений (сигналов) называется **модуляцией**. Модулирующий сигнал воздействует на какой-нибудь параметр носителя: амплитуду, фазу, частоту.

Если носителем являются синусоидальные колебания (рис.1.9) $U = U_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$, то в зависимости от модулируемого (изменяемого) параметра носителя различают амплитудную, фазовую и частотную модуляцию. Если носителем служит непрерывная последовательность импульсов, то различают амплитудно-импульсную, частотно-импульсную, фазоимпульсные виды модуляции. При этом под воздействием сообщений можно менять каждый параметр, которым характеризуется эта последовательность (амплитуда, число, длительность импульсов и т.д.).

Когда модулирующий сигнал представляет собой последовательность прямоугольных импульсов, то это частный случай модуляции – манипуляция (рис.1.10).

При частотной модуляции (рис.1.11) мгновенные значения сообщения изменяют частоту переносчика информации (несущей частоты), оставляя неизменной его амплитуду. Частным случаем является частотная манипуляция, характеризующийся двумя значениями частот колебаний модулированного сигнала.

Техническая реализация амплитудной модуляции проще частотной, но помехоустойчивость последней намного выше потому, что помеха воздействует прежде всего на амплитуду сигнала. Фазовая модуляция по сравнению с амплитудной и частотной обеспечивает большую скорость передачи информации при одинаковой помехоустойчивости.

Применяются комбинации основных видов модуляции – многократные модуляции, что повышает помехоустойчивость передачи информации. Особый вид модуляции – кодоимпульсная, заключающаяся в том, что непрерывный сигнал квантуется и каждое его конкретное значение передается своей кодовой комбинацией импульсов.

Демодуляция представляет собой процесс, обратный модуляции, и заключается в выделении сигнала из модулированного колебания с помощью нелинейных устройств. В качестве примера можно привести схему выпрямления амплитудно-модулированных колебаний с помощью полупроводникового диода и выделения низкочастотных колебаний с помощью RC-фильтра низких частот (рис.1.12).

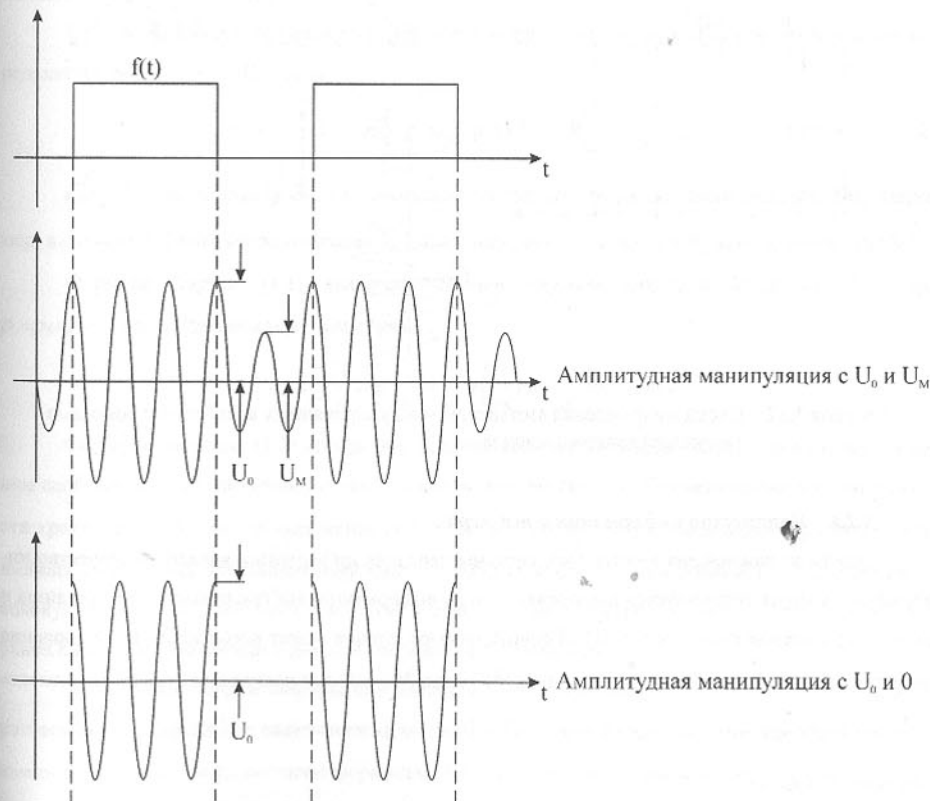


Рисунок 1.10 – Амплитудная манипуляция сигнала

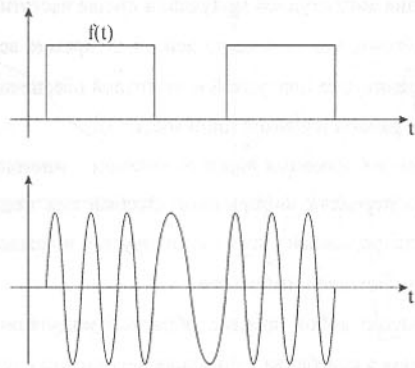


Рисунок 1.11 – Частотная манипуляция сигнала

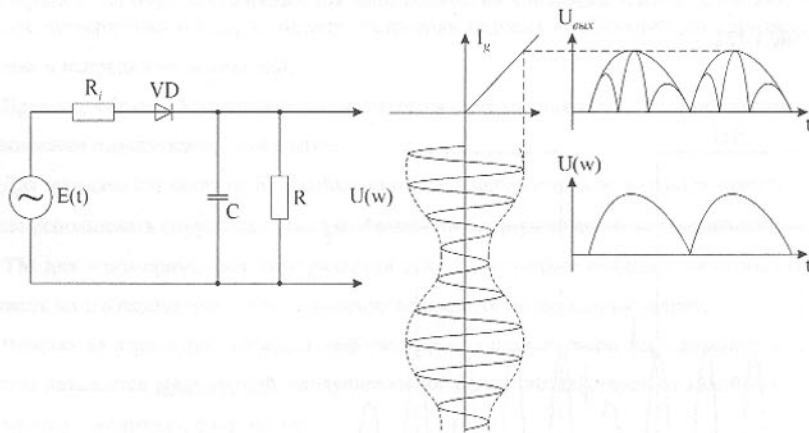


Рисунок 1.12 – Схема выпрямления амплитудно-модулированных колебаний с помощью полупроводникового диода

1.2.4 Количество информации и его мера

Одним из важнейших показателей системы передачи информации является количество информации, которое используется для оценки потерь информации, выбора емкости ее хранилища и расчета пропускной способности КС. В основе ее определения лежит вероятность возникновения данного события. Если общее число сообщений равно N и все они равновероятны, то вероятность возникновения данного сообщения равна $p_c = 1/N$. Тогда количество информации определяется формулой Р.Хартли

$$I = \log_a \frac{1}{p_c} = -\log_a p_c = \log_a N = n \log_a m, \quad (1.1)$$

т.е. равно логарифму числа возможных сообщений (сигналов) с одинаковым числом символов. Так, если каждый сигнал состоит из трех символов ($n=3$), каждый из которых может принимать только два значения ($m=2$) 0 и 1, то $N=2^3=8$. Такими сигналами будут сочетания из трех символов: 001, 101, 110, 000, 111. Выбор основания логарифма (a) может быть любым и скажется только на единицах измерения количества информации. Так, при $a=10$ I будет измеряться в десятичных единицах, а при $a=2$ – в двоичных единицах, называемых битами.

Обычно в технике принимают $a=2$, так как в этом случае единицей количества информации ($I=1$) будет служить информация в сообщении, содержащем всего один элемент ($n=1$), который может принимать два противоположных понятия "Да – Нет" ($m=2$).

$$I = n \log_2 m = 1 \log_2 2 = 1 \text{ дв.ед. (или бит)}.$$

Из формулы (1.1) видно, чем меньше вероятность возникновения сообщения (p_c), тем больше информации оно несет.

Если сообщение имеет разную вероятность возникновения, то количество информации определяется формулой К. Шеннона.

$$I = -n \sum_{i=1}^m p_i \log_2 p_i, \quad (1.2)$$

где p_i – относительная частота появления соответствующих значений символа. Так, например, в сигнале 0110101 число символов 7, число символов со значением 0 равно 3, значит $p_0=3/7$.

Формула Хартли (1.1) является частным случаем формулы Шеннона (1.2) при $p_1=p_2=p_3=\dots=p_m=1/m$, так как в этом случае

$$I = -n \sum_{i=1}^m \frac{1}{m} \log_2 \frac{1}{m} = -nm \left(\frac{1}{m} \log_2 \frac{1}{m} \right) = n \log_2 m.$$

Формула Шеннона (1.2) определяет среднее количество информации, содержащееся в одном сообщении с неравновероятным возникновением сигнала. Применительно к оценке емкости хранилища информации выражение (1.2) означает, что при $a=2$ информационная емкость хранилища будет равна эквивалентному числу двоичных ячеек с двумя возможными состояниями, совокупность которых обладает той же емкостью, а единица измерения емкости информации (бит) равна емкости одной ячейки с двумя возможными состояниями.

Недостатком теории информации является то, что при оценке количества информации не учитывается ее смысловое содержание и ценность. Так, вспомогательный и аварийный сигналы, имеющие одинаковые p_i , согласно формулам (1.1 – 1.2) содержат равное количество информации, хотя ценность этих сообщений различна.

Количественный показатель системы передачи информации, характеризующий предельную скорость передачи информации или емкость канала, - пропускная способность системы, определяется по формуле

$$C = F \log_2 \left(1 + \frac{P_c}{P_n} \right) \text{ дв.ед./с,}$$

где F – полоса частот сигналов, передаваемых по каналу связи (частота, ограничивающая спектр сигналов);

P_c – средняя мощность сигнала;

P_n – средняя мощность помехи;

C – это максимальное количество информации, которое можно передать по каналу связи в единицу времени.

Кроме перечисленных количественных показателей информации важную роль в теории информации играют такие, как содержательность и средняя скорость передачи информации.

Количество информации, приходящееся на один символ сигнала при отсутствии помех, называется содержательностью

$$H = I \frac{1}{n} = - \sum_{i=1}^m p_i \log_2 p_i,$$

или энтропией, понимая под этим меру недостающей информации или неопределенности.

Если канал связи имеет пропускную способность C , а источник сообщений имеет энтропию H на символ сообщения, то средняя скорость передачи информации по КС будет равна

$$V = \frac{C}{H} \text{ символ/с.}$$

При передаче информации по КС без помех, к входу которого подключен источник сообщений с H , равной C КС, считается, что ИС согласован с КС.

Пропускной способностью, или емкостью КС с помехами, называется максимальная V на единицу времени или на символ при условии, что КС без помех согласован с ИС.

1.3 Основы теории избрания. Принципы избрания и разделения сигналов

[1, с.28-35; 2, с.61-68; 6, с.15-42]

Телемеханика, как и другие средства передачи информации, базируется на общей теории связи и передачи информации. Но в то же время она имеет ряд особенностей, отличающих ее от других видов связи:

- передача медленно изменяющихся сообщений в диапазоне частот до 300 Гц;

-повышенные требования к надежности передачи команд управления, так как появление ложной или потеря переданной может привести к аварии (допустимая вероятность такого события 10^{-6} - 10^{-10});

-достаточно высокая точность передачи информации телеизмерений (до 0,1%);

-повышенная оперативность в передаче информации при управлении производственными процессами;

-ввод и вывод сигналов устройств телемеханики осуществляется автоматически, без участия человека.

Устройства телемеханики предназначены для осуществления выбора (избрания) заданного объекта ТУ или ТК из большого числа КО. Поэтому теоретической основой техники ТМ является еще и теория избрания, рассматривающая специальные методы избрания объектов, построения сигналов ТУ и ТС, кодообразования, устанавливающая методы разделения импульсов, образующих сигналы, посылаемые по КС.

В схемах дистанционного управления задача разделения сигналов решается с помощью схемного (электрического, пространственного) способа, когда для каждого сигнала к различным приемникам предусматривается отдельная пара проводов.

По экономическим соображениям стремятся использовать общую ЛС или КС для передачи сообщений многим объектам или от них. Система с общей ЛС или КС, по которой организовано несколько независимых вторичных каналов, называется многоканальной. При этом возникают сложности, связанные с влиянием сигналов друг на друга. В системах ТМ управления, в которых предусматривается передача нескольких сигналов по одной паре проводов, обычного кодирования недостаточно и необходимо или дополнительное разделение сигналов, или специальное кодирование, включающее в себя элементы разделения сигналов.

Разделение сигналов – это процесс обеспечения независимой передачи и приема сигналов по одной ЛС или одной полосе частот, при котором сигналы сохраняют свои свойства и не искажают друг друга. Способы разделения сигналов строятся на использовании импульсных признаков сигналов, т.е. разделение сигналов может быть осуществлено по времени, фазе, частоте, амплитуде и т.д. Помимо электрического разделения сигналов в многоканальных ТМ системах с независимо работающими КС используют временное и частотное разделение сигналов, так как частотные и временные признаки являются независимыми.

При **временном (распределительном)** способе разделения сигналов каждому передаваемому сигналу ЛС (общая для всех сигналов) предоставляется поочередно на время, необходимое для прохождения этого сигнала. Т.о. каждый сигнал занимает свой временной интервал, не занятый другими сигналами. При этом, для передачи любого сигнала используется одна и та же полоса частот.

Если сигнал состоит только из одного импульса, то полоса частот Δf для его передачи определяется длительностью τ этого импульса: $\Delta f = \mu/\tau$, где μ - коэффициент воспроизведения формы импульса. С целью экономного использования полосы частот в ТМ берут $\Delta f = (1+2)/\tau$, что вполне удовлетворительно для передачи сигналов (при нечувствительности к его форме). Если сигнал состоит из кодовой комбинации или в разных временных интервалах следуют импульсы разной длительности, то Δf определяется длительностью самого короткого импульса.

Время, выделенное для поочередной передачи всех сигналов, называют циклом передачи (рис.1.13). Цикл состоит из определенных временных интервалов Δt_{pi} , сдвинутых во времени и разделенных между собой интервалами разграничения Δt_{pr} , необходимыми для исключения взаимного влияния сигналов.

Общая продолжительность передачи n сигналов (длительность цикла) равна

$$T_{\text{цикл}} = \sum_{i=1}^n \Delta t_{pi} + \sum_{i=1}^{n-1} \Delta t_{pr}$$

Обычно $\Delta t_{pi} = \Delta t_{pr}$. Если соседние импульсы качественно отличаются признаками, то Δt_{pr} может быть равна 0.

Для осуществления временной передачи применяют распределители, один - на ПУ, а другой - на контролируемом (исполнительном) пункте (КП). С их помощью передающие и приемные узлы ТМ устройства поочередно подключаются к ЛС. Структурная схема системы с временным разделением сигнала имеет вид, представленные на рис.1.14.

Два одинаковых распределителя P_1 и P_2 синхронно и синфазно переключают цепи на ПУ и КП, соединяя одновременно с ЛС P_i и соответствующий ему P_{pi} . $T_{\text{цикл}}$ (период работы распределителя) и длительность передачи сигнала в одном из каналов (время соединения П с соответствующим Пр) τ_p (рабочее время распределителя) связаны неравенством $T_{\text{цикл}} / \tau_p > N$, где N - число переключаемых каналов.

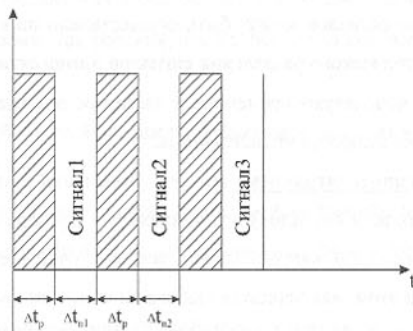


Рисунок 1.13 – Цикл передачи сигнала

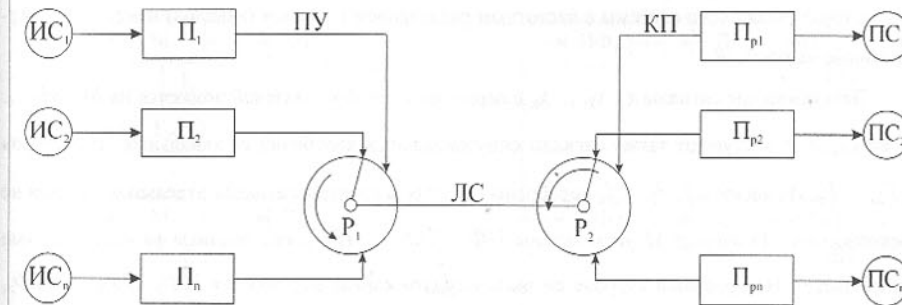


Рисунок 1.14 Структурная схема системы с временным разделением сигнала

Синхронизация работы P_1 и P_2 осуществляется одним из следующих способов:

- питание P_1 и P_2 на передающей и приемной сторонах от одной сети переменного тока с коррекцией разности фаз питающих напряжений;
- питание P_1 и P_2 от специальных генераторов импульсов, настроенных на одинаковую частоту (циклическая синхронизация). Для устранения рассогласования P_1 и P_2 1 раз в течение передачи производится принудительное синфазирование P_1 и P_2 посылаемым с передающей стороны ЛС импульсом;
- питание P_1 и P_2 от одного генератора импульсов, стоящего обычно на передающей стороне (пошаговая синхронизация).

Устройства с временным распределением сигналов могут работать циклически или спорадически. Циклические устройства работают непрерывно независимо от того, передается ли в каждом цикле передачи информация или нет. Группа сообщений может быть передана как за один цикл передачи, так и в течение нескольких. При этом постоянно контролируется работоспособность устройств ТМ, увеличиваются быстродействие и оперативность передачи. В спорадических системах информация передается не непрерывно, а по мере ее накопления или необходимости.

При **частотном** разделении сигналов (рис.1.15) для каждого сигнала выделяется своя полоса частот Δf_{ni} , т.е. каждому передаваемому сигналу (при одночастотном коде) присваивается своя частота f_1, f_2, \dots, f_n . Посылка частотных сигналов с ЛС может осуществляться либо последовательно во времени, либо одновременно (параллельная посылка сигналов). В последнем случае время передачи всех посланных сигналов равно длительности одного.

Ширина Δf_{ni} определяется длительностью импульса и характеристиками входящих в систему передачи элементов. Для исключения влияния сигналов друг на друга выделенные полосы частот разделены полосами разграничения Δf_{pr} .

Общая длительность передачи всех сигналов (длительность цикла) при частотном их разделении равна $T_{\text{цикл}} = \Delta t_{\text{цикл}}$.

Структурная схема системы с частотным разделением сигналов (каналов) имеет вид, представленные на рис.1.16.

Электрические сигналы x_1, x_2, \dots, x_n с первичных преобразователей подаются на M_1, M_2, \dots, M_n , на которые поступают также сигналы синусоидальных колебаний от канальных генераторов $\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_n$. Их частоты f_1, f_2, \dots, f_n подобраны так, чтобы спектры сигналов отдельных каналов не перекрывались. На выходе M установлены $ПФ_1, ПФ_2, \dots, ПФ_n$, настроенные на определенные полосы частот. На приемной стороне сигналы каждого канала выделяются $ПФ_1, ПФ_2, \dots, ПФ_n$, пропускающими рабочую полосу частот только своего канала. После демодуляции (D_1, D_2, \dots, D_n) сигналы подаются на ИУ (или выходные приборы $ВП_1, ВП_2, \dots, ВП_n$). Для усиления сигнала в кату-любо часть включают усилитель.

При частотном разделении сигналов импульсы могут иметь только амплитудные и временные качественные признаки, а при временном – любые. При временном разделении может быть достигнуто большее быстродействие передачи отдельных команд в пределах одного цикла. Полоса частот, занимаемая в КС, при временном разделении уже, чем при частотном. Но частотное разделение более помехоустойчиво.

Способы передачи ТМ информации помимо методов разделения сигналов устанавливают также принципы избирания сигналов. Избранные (селекция) сигналов обеспечивают выбор нужного сигнала из группы передаваемых и адресную передачу его заданному объекту.

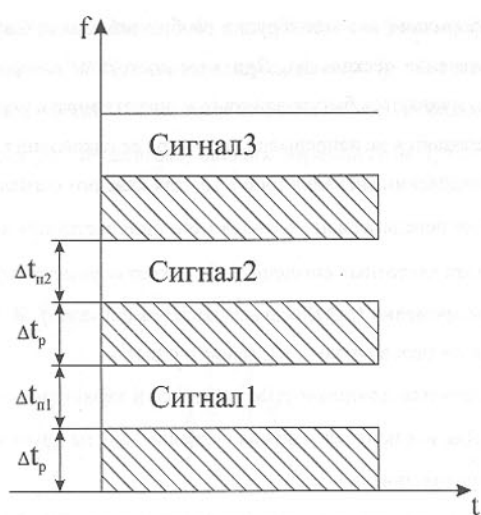


Рисунок 1.15 – Частотное разделение сигнала

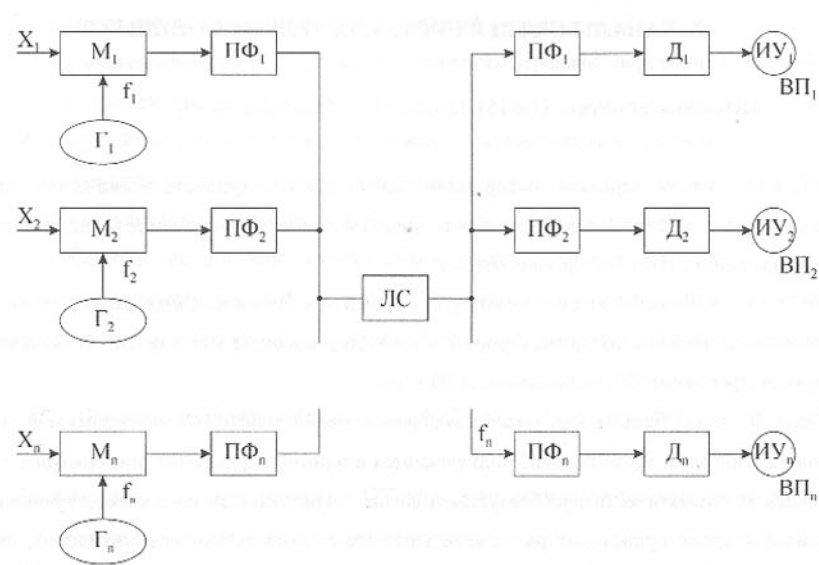


Рисунок 1.16 – Структурная схема системы с частотным разделением сигнала

Методы избирания разделяют на циркулярные и комбинационные. Первый метод основан на принципе независимых посылок и обеспечивает возможность одновременной (или за один цикл) передачи нескольких сигналов. Второй метод базируется на комбинационном принципе передачи импульсов, что позволяет при одном и том же числе используемых импульсов передать большее число сигналов.

При циркулярном методе избирания используют непосредственный и групповой способы выбора исполнительных цепей. При непосредственном (одноступенчатом) способе переданный сигнал после расшифровки поступает сразу на свое ИУ. При групповом способе выбор исполнительной цепи осуществляется в несколько приемов. Вначале производится выбор группы КО, а затем выбор объекта в группе. Это позволяет увеличить количество передаваемых сообщений.

В системах ТМ с микропроцессорной техникой применяют адресные передачи, называемые временным кодовым разделением сигналов. Передающее устройство поочередно опрашивает источники информации с помощью электронного коммутатора с изменяющейся длительностью тактов. Если в момент опроса i -го канала есть новая информация, то передается адрес i -го канала и текст в виде кодового сигнала. Если новой информации нет, то производится быстрое переключение на $(i+1)$ -й канал и т.д. На приемной стороне, при отсутствии коммутатора и параллельной передаче сигнала, текст принимает только тот канал, адрес которого передан.

2. КАНАЛЫ СВЯЗИ В СИСТЕМАХ ТЕЛЕМЕХАНИКИ

2.1 Основные понятия. [1, с.151-154; 2, с.68-71; 5, с.6-9; 6, с.74-99]

КС или каналом передачи информации называется совокупность технических средств, предназначенных для передачи независимых сообщений на расстояния от источника информации (ИИ) до ее приемника (ПР). КС организуются в ЛС.

ЛС - это физическая среда, по которой передаются сигналы. Сюда входят технические средства (кабели, провода, изоляторы, опоры и т.п.), соединяющие ИИ и ее ПР. В системах ТМ используются проводные ЛС, радиолинии, ЛЭП и др.

Одна ЛС может быть использована для образования нескольких КС с независимой передачей сигналов. При этом несколько ИС подключаются к одному передатчику информации, в котором сообщение автоматически преобразуется в сигнал, передаваемый по соответствующему КС. На приемной стороне происходит разделение сигналов в соответствующие сообщения, приспособленные для восприятия человеком, исполнения операции управления или ввода в ЭВМ. Число КС, размещаемых в одной ЛС, определяется полосой пропускания ЛС, полосой частот КС, спектром сигналов и уровнем помех.

КС, передающие сигналы только в одном направлении, называются односторонними (симплексными), а в обоих направлениях - двусторонними. Сигналы в обе стороны могут передаваться одновременно (дуплексные каналы) или попеременно. В системах ТМ используют КС обоих типов.

По характеру эксплуатации КС разделяются на:

- выделенные, которые постоянно включены между пунктами;
- коммутируемые, которые выделяются по вызову, собираются из разных составных каналов и автоматически распадаются после окончания передачи.

В зависимости от характера колебаний, используемых для передачи сообщений, КС называют электрическими, электромагнитными, оптическими, акустическими и т.д. В ТМ чаще применяют электрические (по кабельным и воздушным проводным линиям) и электромагнитные (радиолинии, ЛЭП и др.). На промышленных предприятиях в системах ТМ, как правило, используются электрические КС.

В соответствии с характером и расположением КО выбирается структура и конфигурация ЛС, которые могут быть (рис. 2.1):

- радиальными (а);
- лучевыми (цепочными) (б);
- древовидными (в и г).

Применяют системы и со смешанной структурой.

КС во многом определяет надежность и точность передачи информации. Устройства ТМ связи должны обеспечивать:

- бесперебойную и безотказную связь между пунктами передачи и приема;
- высокое качество передачи, помехоустойчивость;
- постоянный контроль состояния всего тракта передачи информации;
- готовность к работе в любое время и автоматичность действия.

В системах диспетчерского управления (ДУ) энергоснабжением предприятия в качестве ЛС чаще используют пары жил в кабелях телефонной связи предприятия, что наиболее экономично.

2.2 Проводные линии связи [1, с.151-154; 2, с.68-71; 5, с.6-9; 6, с.74-99]

На промышленных предприятиях в СУ чаще всего используются электрические КС, образуемые по кабельным и воздушным проводным линиям.

Кабельные линии, несмотря на большую стоимость, чем у воздушных более распространены. Это объясняется рядом преимуществ: механическая прочность, помехозащищенность, меньшая зависимость от метеоусловий, а также невозможностью в ряде случаев прокладки воздушной линии в условиях промышленного предприятия. Кроме того, использование выделенных пар в кабельной телефонной сети выгодно с экономической точки зрения.

Воздушные линии используются на отдельных участках сети при особых условиях (вечная мерзлота, скальный грунт и др.), а также для удаленных от ДП объектов. При этом применяют стальные, медные и биметаллические провода диаметром 3-4 мм.

При использовании двухпроводных цепей в телефонных кабелях устранение взаимного влияния ТМ передачи и передачи телефонной сети осуществляется выбором предельных значений напряжений и токов, передаваемых от ТМ устройств на входе кабелей (напряжение до 80В, ток 25+50А).

Электрические свойства воздушных и кабельных проводных ЛС определяются их первичными и вторичными параметрами. К первичным относятся:

- активное сопротивление проводов R_a ;
- индуктивность L ;
- емкость C ;
- проводимость изоляции проводов G .

Активное сопротивление 1 км линии в общем виде имеет вид:

$$R_a = R_0 + R_{нз} + R_{вт} + R_m, \quad \text{Ом/км,}$$

где $R_0 = \rho \frac{2500}{d^2}$ - сопротивление 1 км двухпроводной линии постоянному току при 20°C;

ρ - удельное сопротивление материала проводников, Ом·мм²/м;

d - диаметр проводников, мм.

При температуре, отличной от 20°C:

$$R_t = R_0 [1 + \alpha(t - 20)],$$

где α - температурный коэффициент;

$R_{пз}$ - активное сопротивление линии переменному току, которое связано с поверхностным эффектом и возрастает с увеличением частоты тока;

$R_{\text{бл}}$ - дополнительное активное сопротивление определяемое эффектом близости, увеличивается с уменьшением расстояния между проводами. Для воздушных линий $R_{\text{бл}} \approx 0$;

$R_{\text{м}}$ - сопротивление потерь в металле, возникающее из-за нагрева соседних цепей и металлической оболочки кабеля вихревыми токами внешнего магнитного поля цепи. Учитывается в кабельных линиях.

Индуктивность линии зависит в основном от расстояния между проводами - a , их радиуса - r , а также от материала провода - μ (относительная магнитная проницаемость) и частоты тока (K - коэффициент, учитывающий поверхностный эффект и возрастающий с увеличением частоты тока):

$$L = (4 \ln \frac{a}{r} + \mu K) \cdot 10^{-4}, \quad \text{Гн/км}$$

Емкость линии зависит от расстояния между проводами, диаметра провода и диэлектрика между проводами цепи. Для двухпроводной воздушной линии

$$C = \frac{\xi \cdot 10^{-6}}{36 \ln \frac{a}{r}}, \quad \text{Ф/км},$$

а для кабельной:

$$C = \frac{\xi \cdot 10^{-6}}{36 \ln(\frac{a}{r} \cdot \psi)}, \quad \text{Ф/км},$$

где ξ - относительная диэлектрическая постоянная;

ψ - коэффициент, учитывающий влияние заземленной оболочки кабеля и других жил.

Проводимость изоляции (утечка) зависит от вида изоляции, частоты тока и климатических условий. Для воздушных линий связи сопротивление изоляции бывает 25÷125 МОм/км сухой погоде и 2÷4 МОм/км при влажной. Для кабельной линии:

$$\sigma = \sigma_t = \omega C \operatorname{tg} \delta,$$

где σ_t - проводимость изоляции при переменном токе;

C - емкость кабеля; ω - угловая частота;

$\operatorname{tg} \delta$ - тангенс угла диэлектрических потерь изоляции.

Для кабельных линий, для которых влияние климатических условий сказывается меньше, первичные параметры практически неизменны.

Вторичные параметры линии характеризуют условия распространения электромагнитной энергии по линии связи и зависят только от первичных параметров частоты тока. К вторичным параметрам относятся: волновое сопротивление линии Z_0 и постоянная передачи (коэффициент распространения)

Z_0 - это сопротивление, которое встречает падающая или отраженная волна электромагнитной энергии при распространении вдоль однородной линии.

$$Z_0 = \frac{U_n}{I_n} = \frac{U_0}{I_0}, \quad \text{См},$$

где U_n , U_0 , I_n , I_0 - напряжения и токи падающей и отраженной волны соответственно.

В общем случае:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{\sigma + j\omega C}}, \quad \text{См}.$$

В линиях большой протяженности при высокой частоте из-за влияния емкости по всей длине линии ток в начале и в конце линии различен.

Сопротивление, измеренное в начале линии, называется входным и определяется напряжением и током в начале линии

$$Z_{\text{вх}} = U_{\text{вх}} / I_{\text{вх}}, \quad \text{См}.$$

Если сопротивление нагрузки равно Z_0 , то передается максимальная мощность с наибольшим КПД. Иначе часть энергии возвращается от конца линии к ее началу в виде отраженной волны напряжения и тока, что приводит к потерям энергии и вызывает искажения ТМ передачи. Отражение волны происходит во всех точках, где нарушена однородность линии (например, стыках воздушных и кабельных линий). Поэтому входные сопротивления соединяемых аппаратов должны быть согласованы или применяют специальные согласовывающие трансформаторы.

Постоянная передачи характеризует изменение мощности электромагнитной волны при ее распространении вдоль линии, а также фазы напряжения тока.

Определяется по формуле:

$$\gamma = \alpha + j\psi = \sqrt{(R + j\omega L) \cdot (\sigma + j\omega C)},$$

где α – коэффициент затухания, характеризующий уменьшение тока и напряжения на единицу длины;

ψ – коэффициент сдвига фазы, определяющий изменение фазы тока и напряжения в линии.

Затухание измеряется в неперах. Затуханием в 1Нп обладает линия, у которой параметры напряжения или тока в начале линии в 2,7 раза больше, чем в конце.

α и ψ выражаются через первичные параметры:

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{2} [\sqrt{(R^2 + \omega^2 L^2)(\sigma^2 + \omega^2 C^2)} - (\omega^2 LC - RG)]}, \quad \text{Нп/км,}$$

$$\psi = \sqrt{\frac{1}{2} [\sqrt{(R^2 + \omega^2 L^2)(\sigma^2 + \omega^2 C^2)} + (\omega^2 LC - RG)]}, \quad \text{рад/км,}$$

При низких частотах ($R \gg \omega L$ и $C \gg \omega C$):

$$\alpha = \psi = \sqrt{\frac{\omega RC}{2}},$$

Если сопротивление всех элементов линии согласованы, то общее затухание определяется как арифметическая сумма затуханий на отдельных участках линии и аппаратуре. Оно зависит от R_a .

2.3 Искусственные цепи для ТМ передачи информации [1, с.161-164; 2, с.76-79]

Современные технические средства позволяют осуществлять многократное использование выделенной ЛС. Это достигается путем временного разделения передачи разных видов информации или частотного уплотненного использования линии путем создания на ней так называемых искусственных цепей. Это позволяет использовать занятые телефонные линии для передачи по ним ТМ информации.

Образование искусственных цепей оправдано тогда, когда передача телефонной и ТМ информации должны осуществляться одновременно. Иногда приемлемой является поочередная их передача по одной линии с установлением приоритета передачи различных видов информации (ТС, ТУ, ТИ, телефонирование).

Наибольшее распространение получила схема образования искусственных цепей с дифференциальными трансформаторами (ДТ) (рис 2.2).

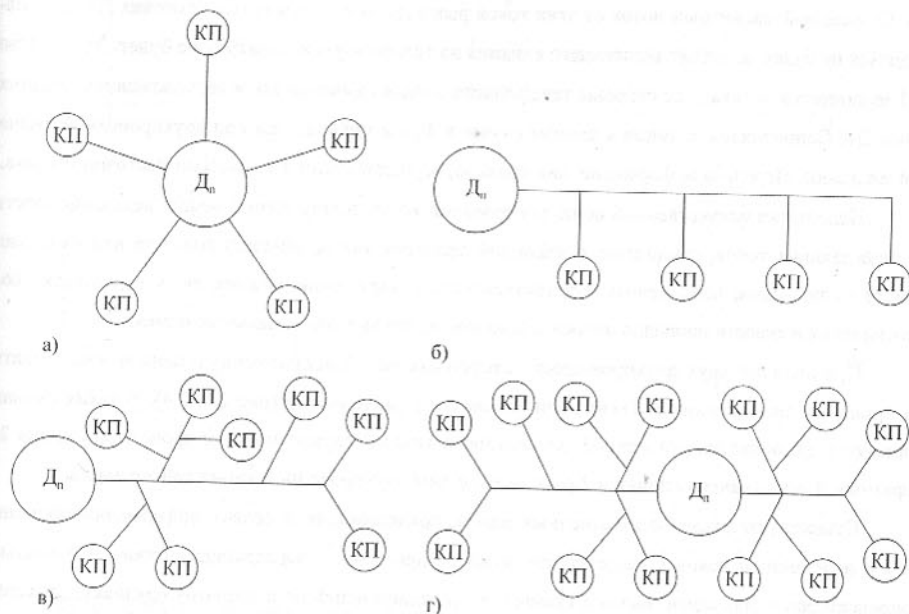


Рисунок 2.1 – Структура ЛС

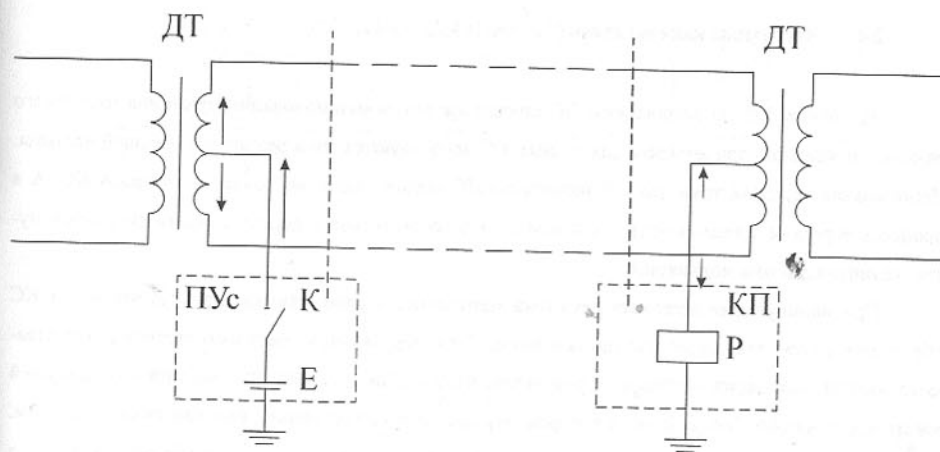


Рисунок 2.2 – Схема образования искусственных цепей с дифференциальными трансформаторами. Уплотнение КС создается путем включения на обоих концах ЛС ДТ, к средним точкам которых подключаются передающее устройство (ПУс) и приемное устройство ТМ. При равенстве

сопротивлений линейных проводов и обеих половин обмоток ДТ ток от устройства телемеханики разветвляется в обмотках ДТ на равные составляющие, направленные в противоположные стороны. Суммарный магнитный поток от этих токов равен нулю и в первичных обмотках ДТ ЭДС наводиться не будет, а, значит мешающего влияния на телефонную аппаратуру не будет. Устройство ТМ защищается от помех со стороны телефонного канала симметричным расположением средних точек ДТ. Сопротивление линии в данном случае в 4 раза меньше, чем при двухпроводной линии той же длины. Передача информации, как правило, осуществляется импульсами постоянного тока.

Недостатки искусственной цепи, построенной по принципу провод-земля: незащищенность от блуждающих токов, ухудшение телефонной передачи при ослаблении контакта или изоляции одного из проводов, повышенная чувствительность к нарушению симметрии, к неравенству сопротивлений изоляции проводов относительно земли, это вызывает взаимные помехи.

При наличии двух двухпроводных телефонных линий искусственную цепь можно создать по принципу провод-провод. Такие цепи называются фантомными (рис 2.3, 2.4). В таких схемах образуется дополнительный канал 3, для которого линия 1 служит прямым проводом, а линия 2-обратным. Сопротивление линии в 2 раза меньше, чем двухпроводной линии той же длины.

Существуют схемы искусственных цепей, совмещающие передачу информации постоянным и переменным током с разделением цепей на приемной и передающей стороне с помощью конденсаторов и дросселей. Бывают схемы с разделением цепей по полярному признаку, двухсторонние (дифференциальные) с двумя каналами связи в противоположных направлениях.

2.4 Частотные каналы связи [1,с.164-168;2,с.79-82]

Частотные КС по физическим ЛС создаются путем использования принципа частотного разделения каналов, при котором для разных КС используются токи различной несущей частоты. Непрерывная передача тока данной частоты по ЛС осуществляет постоянный контроль КС. А в процессе передачи сигналов этот ток изменяется в соответствии с передаваемыми сигналами путем манипуляции или модуляции.

При манипуляции цепи несущего тока замыкаются и размыкаются, в результате чего в КС образуется соответствующие импульсы и паузы. При модуляции на несущую частоту накладываются импульсные серии сигналов, в результате чего амплитуда, фаза или частота тока несущей частоты изменяются. Устройство, в котором осуществляется модуляция, называется модулятором. Из него в КС поступают уже модулированные колебания. На приемном пункте осуществляется разделение КС с помощью ПФ и восстановление исходной формы сообщения.

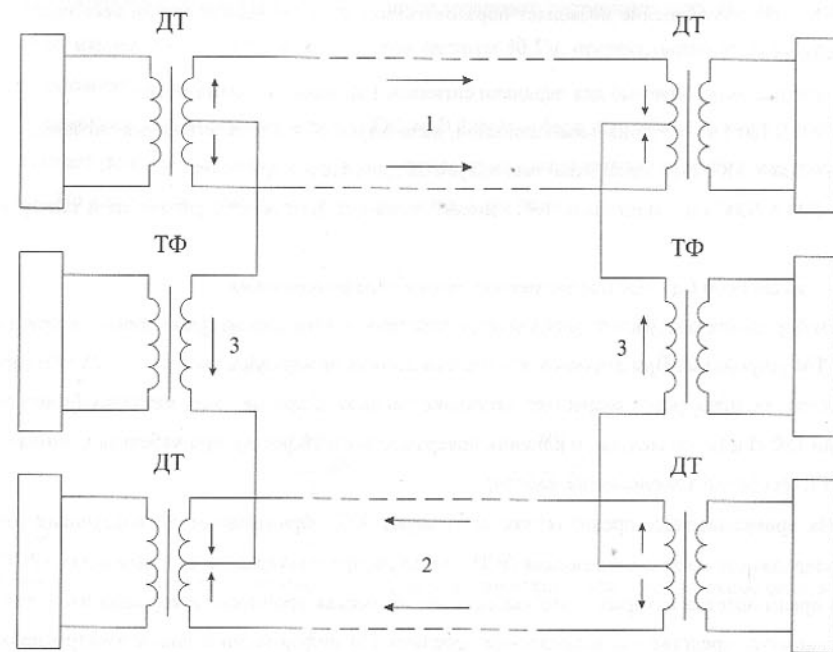


Рисунок 2.3 – Схема искусственной цепи по принципу провод-провод на переменном токе

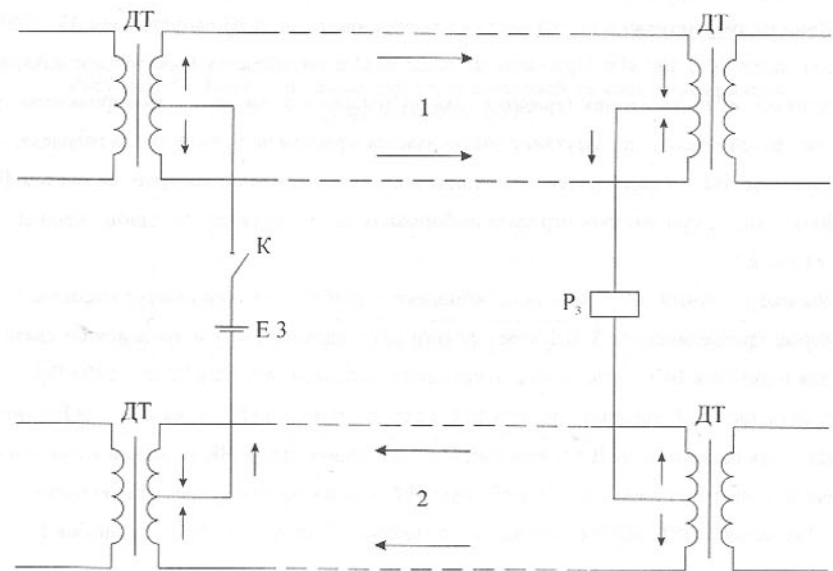


Рисунок 2.4 - Схема искусственной цепи по принципу провод-провод на постоянном токе

Частотное уплотнение позволяет образовать по одной проводной линии несколько дополнительных КС.

Частоты, используемые для передачи сигналов ТМ, делят на диапазоны:

- 0 ÷ 300 Гц – подтональный диапазон, используемый и для телеграфных сигналов;
- 300 ÷ 3400 Гц – тональный используемый для телефонирования;
- 500 ÷ 6000 Гц – надтональный, используемый для фототелеграфирования и телеграфирования;
- выше 6000 Гц – каналы высокочастотного телефонирования.

Выбор диапазона частот определяется электрическими параметрами линии и принципом работы ТМ устройства. При стальных воздушных линиях используют частоты 3 ÷ 25 кГц (при более высоких частотах резко возрастает затухание сигналов), при цветных металлах биметаллических – до 150 кГц (из-за меньшего влияния поверхностного эффекта), при кабельных линиях - 60 ÷ 12000 кГц (особенно коаксиальные кабели).

На промышленных предприятиях используют КС, образованные по воздушным линиям электропередачи высокого напряжения (ВЛ) или по распределительным силовым сетям (РСС), основные преимущества которых – это высокая механическая прочность и хорошая изоляция. При этом экономятся средства т.к. направление передачи ТМ информации и линии электроснабжения совпадают часто. Но при этом требуется применение специальных аппаратов для высокочастотной обработки и присоединения к линиям, находящимся под высоким напряжением.

Каналы телемеханики по ВЛ могут быть образованы на ЛЭП напряжением 35 – 500 кВ в диапазоне частот 30 ÷ 500 кГц. При частотах ниже 30 кГц наблюдается значительное влияние помех, возникающих из-за высших гармоник тока промышленной частоты, коронированием проводов, коммутацией линий и др. Затухание увеличивается с ростом частоты и из-за гололеда, инея.

Наиболее часто используется присоединение высокочастотной аппаратуры связи к ВЛ по схеме фаза – земля, при которой передача информации осуществляется по одному проводу ВЛ и по земле (рис. 2.5).

Высокочастотный пост связи ВПС – комплекс устройств для образования высокочастотных КС, которые присоединяются к ВЛ через фильтр присоединения ФП и конденсатор связи КСв. КСв – для отделения ВПС от высокого напряжения ЛЭП (емкость КСв 2200 – 2400 пФ, что составляет большое сопротивление для тока 50 Гц, передаваемого по ВЛ, и малое – для ВЧ сигналов ТМ). ФП – для согласования ВЛ и кабельной коаксиальной линии ВК (с малым затуханием для токов высокой частоты) и вместе с КСв образует ПФ, настроенный на передающую частоту сигналов ТМ. Кроме того, ФП обеспечивает защиту от высокого напряжения в случае пробоя КСв.

Высокочастотные заградители ВЧЗ предотвращают растекание тока высокой частоты в стороны от направления передачи, а для токов частоты 50 Гц, протекающего по ВЛ, сопротивление ВЧЗ незначительно.

Применяют схемы образования КС ТМ по ВЛ фаза – фаза, т.е. между двумя проводами ВЛ. Это повышает помехоустойчивость КС и обеспечивает меньшее затухание на большие расстояния передачи. Но количество аппаратуры увеличивается в два раза.

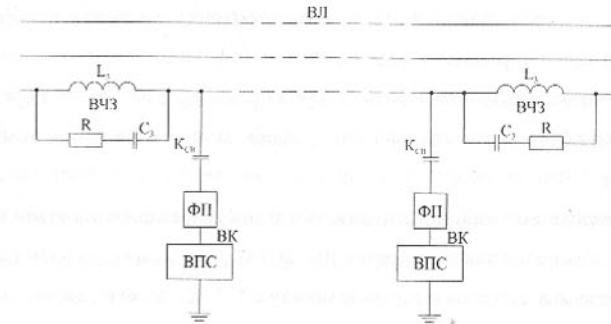


Рисунок 2.5 – Присоединение высокочастотной аппаратуры связи к ВЛ по схеме фаза-земля

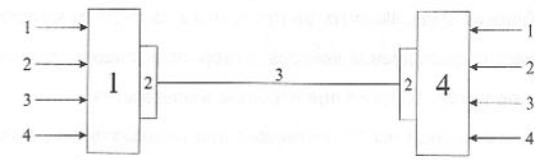


Рисунок 2.6 – Принципиальная структура цифровой передачи информации по оптоволоконному КС

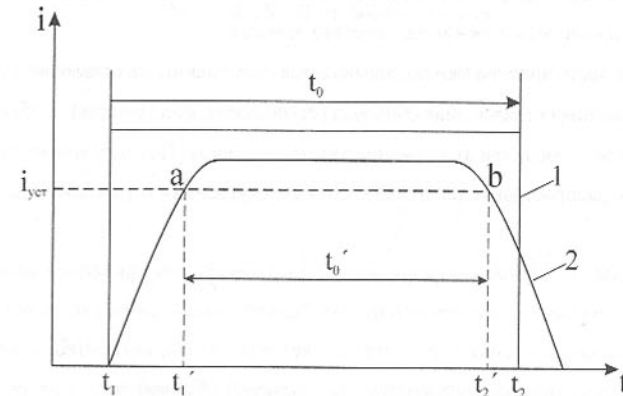


Рисунок 2.7 – Амплитудно-фазовые искажения, уменьшающие полезную длительность прямоугольного импульса при передаче сигнала

Выпускаемая аппаратура ВЧ уплотнения ЛЭП является комбинированной, образующей телефонные ТМ КС.

КС по РСС благодаря своей разветвленности удобны для передачи ТМ информации, но характеризуются трудностью их обработки и высоким уровнем помех. К РСС присоединяется большое количество переменных нагрузок, места подключения которых меняются также. Обработка каждой такой нагрузки ФП и ВЧЗ, как на ВЛ очень дорога и трудоемка. Используя для ТМ сигналов узкую полосу пропускания (10 Гц по низкой стороне) снижают мощность входного сигнала до нескольких ватт и упрощают обработку РСС.

При использовании РСС может быть предусмотрена передача только циркулярных команд объектам управления без известительной сигнализации об исполнении этих команд в диапазоне частот 175-3000 Гц.

В этом диапазоне высокий уровень помех, что исключает использование КС для телефонной связи. Если используется диапазон частот 10 – 200 кГц с меньшим уровнем помех, то возможна двусторонняя передача сигналов и создание наряду с ТМ КС также и телефонных каналов.

2.5 Каналы связи по световодам [2, с.82-84]

Количество сообщений передаваемых по проводным частотным каналам связи ограничивается рабочей полосой частот, расширение которой в сторону высокочастотных диапазонов приводит к резкому увеличению потерь энергии при передаче информации.

Расширение рабочей полосы частот возможно при использовании в качестве ЛС волоконно-оптических (световодных) кабелей, обладающих значительно меньшим затуханием, чем у кабелей. Световодные кабели формируют из гибких волоконных световодов диаметром около 0,1 мм (до 200 шт.) и защищают пластмассовой оболочкой. Световоды неподвержены влиянию электромагнитных помех и не нуждаются в металлических экранах.

Внутренняя часть волокна (жила), являющаяся световодом, изготавливается из более плотного стекла, чем внешняя отражающая оболочка (ступенчатая конструкция), и обладает соответственно большим, чем у оболочки коэффициентом преломления. Поэтому пучок света, направленный в торец жилы, распространяется по ней с полным внутренним отражением, не выходя наружу через оболочку.

В световодных КС применяется временное циклическое или временное кодовое разделение сигнала, которые передаются в цифровой форме. Электрический сигнал подается в схему управления интенсивностью излучения и модулирует световой сигнал, являющийся переносчиком информации. На приемной стороне с помощью фотоэлемента световой сигнал преобразуется в электрический, вместо усилителей на протяженных ЛС устанавливают регенераторы.

Уменьшение затухания достигается повышением частоты кварцевого стекла световода и увеличением разности коэффициентов преломления у жилы отражающей оболочки. Преимущество оптоволоконных КС заключается в высокой пропускной способности; нечувствительности к электромагнитным полям; отсутствии собственных электромагнитных излучений; высокой надежности; искро-, взрыво-, пожаробезопасности; устойчивости к агрессивным средам; отсутствию дефицитных цветных металлов (кремний, кварц); малой массе и габаритах. Скорость передачи информации 8 Мбит/с. Диапазон рабочих температур от -10 до $+55^{\circ}\text{C}$.

Принципиальная структура цифровой передачи информации по оптоволоконному КС имеет вид, приведенный на рис.2.6. 1 - блок преобразователь - передатчик с оптическим выходом; 2 - оптический соединитель; 3 - оптоволоконный кабель; 4 - блок приемник - преобразователь с оптическим входом. Такая система предназначена для сбора, преобразования, передачи и распределения аналоговой и дискретной информации. При этом n параллельных форматов преобразуются в один последовательный, передаются по 3 и преобразуются в n параллельных.

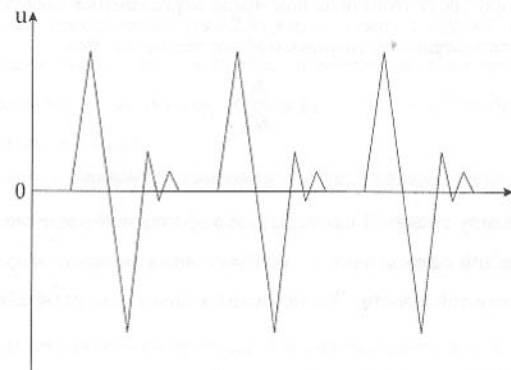


Рисунок 2.8 – Импульсные помехи



Рисунок 2.9 – Непрерывные импульсные помехи

2.6 Помехи и помехоустойчивость [1, с.24-28; 2, с.84-91; 5, с.76-90; с.15-21]

При передаче ТМ информации должны обеспечиваться:

- достоверность, т.е. получение наименьших искажений из-за наличия помех;
- эффективность, т.е. получение наименьших затрат при передаче ТМ информации требуемого качества.

Достоверность определяется степенью соответствия принятой и переданной информации.

Оценкой достоверности служит вероятность правильного приема

$$E = \frac{N_{np}}{N_{общ}}$$

где N_{np} – число правильно принятых символов (знаков, цифр, элементов) сообщения;

$N_{общ}$ – общее число переданных символов.

E определяется при достаточно большом числе передаваемых сообщений. Иногда пользуются понятием потери достоверности, оцениваемой частотой ошибок

$$H = \frac{N_{ош}}{N_{общ}}$$

где $N_{ош}$ – число неправильно принятых символов сообщения.

Несоответствие между принятой и переданной информацией возникает из-за несовершенства методов и их технической реализации при преобразовании, передаче и приеме сигналов и из-за их недостаточной помехоустойчивости. Это приводит к линейным, нелинейным и случайным искажениям.

Линейные искажения подразделяют на:

- частотные (амплитудно-частотные) из-за неравномерного воспроизведения амплитуд отдельных гармонических составляющих сигнала при прохождении через ЛС из-за наличия в последней сосредоточенных и распределенных реактивностей, сопротивление которых зависит от частоты;
- фазовые из-за неодинакового относительного сдвига во времени отдельных гармоник сигнала при его прохождении через ЛС из-за конечной скорости распространения энергии по линии передачи и неравномерного затухания составляющих спектра сигнала.

На рис.2.7 показаны амплитудно-фазовые искажения, уменьшающие полезную длительность t_0 прямоугольного импульса 1 при передаче сигнала. Проходя по линии импульс принимает форму 2. Срабатывание реле на приемном пункте (точка а) будет в момент времени t_1 , а отпуска-

ние - (точка б) t_2 . Длительность рабочей части импульса сокращается до величины t_0 . Кроме того, возможно затягивание тока в линии за t_2 .

Нелинейные искажения возникают из-за нелинейных сопротивлений в аппаратуре ТМ и связи, и сопровождаются появлением в спектре сигнала новых гармоник.

Случайные искажения определяются помехами в КС и аппаратуре связи. Помехи могут вызывать подавление сигнала или ложный сигнал.

Помеха – различные электрические возмущения, накладывающиеся на электрический сигнал, искажающие его и затрудняющие его прием.

Помехи можно разбить на две основные группы: импульсные и непрерывные.

Импульсные помехи (рис.2.8) – это последовательность импульсов произвольной формы со случайными амплитудами, длительностью и моментами возникновения. Промежутки между импульсами достаточно велики, так что переходный процесс в системе передачи информации затухает до появления следующего импульса.

Непрерывные (флуктуационные) (рис.2.9) имеют тоже случайный характер, но имеют вид непрерывного хаотически изменяющегося колебания, образованного в результате наложения друг на друга большого количества импульсов. При этом отсутствуют выбросы, отличающиеся от среднего уровня более чем в 3-4 раза.

Характер помехи определяется в основном шириной полосы пропускания системы связи и длительностью нестационарного процесса системы. В зависимости от этих параметров помехи, создаваемые одним и тем же импульсным источником, могут быть импульсными или флуктуационными.

Длительность нестационарного процесса τ в системе связана с полосой пропускания ΔF данного устройства соотношением:

$$\tau = \frac{K}{\Delta F},$$

где K – коэффициент, который для простейших избирательных устройств ≈ 1 . При сокращении ΔF импульсная помеха трансформируется во флуктуационную.

Реальные помехи, как правило представляют собой сумму импульсных и флуктуационных помех. В выделенных симметричных проводных линиях длиной до 50 км при ΔF в несколько кГц уровни сигналов во много раз превышают уровни помех, которые здесь не будут иметь существенного значения.

По характеру взаимодействия с сигналом помехи делятся на аддитивные, когда помеха складывается с сигналом, и мультипликативные, когда результирующий сигнал равен произведению помехи и передаваемого сигнала. Флуктуационные и импульсные помехи могут быть как ад-

дитивными, так и мультипликативными. В проводных ЛС, используемых в промышленности ТМ, имеют место в основном аддитивные, как случайного характера (импульсные и флуктуационные), так и периодического (гармонические наводки).

Источниками помех могут быть внешние воздействия и внутренние шумы в цепях и аппаратуре.

Внутренние шумы возникают из-за беспорядочного движения свободных электронов в проводниках и резисторах (тепловые шумы), за счет флуктуации тока в проводниках, полупроводниковых приборах (дробовые шумы). Внутренние помехи связаны с дискретной природой тока и представляет собой последовательность большого числа хаотически появляющихся коротких импульсов.

Наибольшее влияние на КС оказывают внешние помехи – промышленные и атмосферные, относящиеся к числу искусственных и естественных помех соответственно.

Промышленные помехи создаются электротехническими установками, обладающими способностью к электромагнитным излучениям, (электротранспорт, электросварка, высокочастотные печи), в результате наводок от ЛЭП, радиостанций и т.п.

Атмосферные помехи возникают в результате электрических грозовых разрядов, космического радиоизлучения и т.п.

Основная энергия промышленных и атмосферных помех заключена в низкочастотном диапазоне волн (длинные и средние волны), а в диапазоне коротких и УКВ уровень этих помех падает.

В многоканальных устройствах ТМ из-за взаимного влияния параллельно работающих КС могут быть перекрестные помехи.

Способность системы противостоять отрицательному влиянию помех и обеспечивать правильный прием информации называется помехоустойчивостью системы. Увеличение помехоустойчивости связано с введением определенной избыточности, т.е. с увеличением объема сигнала.

Увеличение длины сообщения, содержащего n элементов, по сравнению с сообщением из n_0 элементов характеризует избыточность сообщения:

$$U = \frac{n - n_0}{n_0}.$$

Для случайных помех мерой помехоустойчивости при передаче дискретных сообщений может служить вероятность или средняя частота появления ошибки или отказа.

Существуют различные методы повышения помехоустойчивости дискретных сообщений:

- основанные на применении избыточных кодов, использующих не все возможные комбинации;
- основанные на использовании избыточности передаваемых сообщений;
- использующие обратный КС, для передачи по нему сигнала, подтверждающего принятый сигнал.

Основные рекомендации по борьбе с помехами:

- экранирование источников помех и их удаление от КС;
- правильный монтаж и выполнение заземлений;
- использование схем подавления помех;
- повышение энергии передаваемого сигнала;
- обеспечение помехоустойчивости за счет специальных методов модуляции и кодирования, обратных связей и т.д.;
- использование методов, основанных на различии параметров сигнала и помехи.

Эффективность передачи определяется количеством информации через КС в единицу времени, т.е. пропускной способностью КС. Ее повышение достигается использованием общего КС для группы рассредоточенных КП.

3 СРЕДСТВА ТЕЛЕМЕХАНИКИ В СИСТЕМАХ ЦЕНТРАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

3.1 Основные понятия и классификация [1,с.39-45; 2,с.91-95; 5,с.5-9]

На промышленных предприятиях применяются местные и диспетчерские (дистанционные) методы управления. При местном управлении объектом осуществляется непосредственно на КП, т.е. на месте установки управляемого объекта (УО). Местное управление может осуществляться вручную (через органы управления механически связанные с УО) или с местного щита управления (через внешние линии связи).

Передача информации на расстояние через внешние ЛС называется дистанционной. При этом для передачи каждого сигнала требуется наличие специальной проводной ЛС. Поэтому дистанционные способы управления целесообразны при местном управлении или малых расстояниях между КО и ПУ.

С увеличением расстояния передачи информации, ее объема и количества КО целесообразно использовать средства ТМ, что сокращает затраты на сооружение ЛС сохраняет количество передаваемых сигналов и обеспечивает быстродействие и надежность передачи информации. По характеру выполняемых функций ТМ системы делятся на системы ТУ, ТС и ТИ.

Системы ТМ могут быть классифицированы по ряду признаков:

- по характеру сообщений (непрерывные и дискретные);
- по расположению объектов (сосредоточенные и рассредоточенные);
- по выполняемым функциям (ТУ, ТС, ТИ и комбинированные);
- по структуре ЛС (радиальные, цепочные, древовидные);
- по способу передачи сообщения (одноканальные и многоканальные электрического, временного и частотного разделения);
- по виду КС (электрические и неэлектрические – оптические, акустические, пневматические, гидравлические);
- по виду ОУ (неподвижные и подвижные).

С целью повышения достоверности передачи команд ТУ устройства ТУ совмещают с устройствами ТС. Такие устройства называются устройствами (системами) ТУ-ТС.

3.1.1 Системы телеуправления

Применяются для управления на расстоянии производственными установками и механизмами, а также для осуществления ТМ связи между устройствами автоматики и объектами автоматизации, находящимися на значительном расстоянии друг от друга. Системы ТУ передают с ПУ (ДП) на КП команды (сигналы), предназначенные для:

- непосредственного воздействия на исполнительные механизмы УО (ТУ). При этом, как правило, производится управление одновременно только одним УО;

- передачи распоряжений дежурному персоналу на КП (телекомандование - ТК). Команды на КП воспринимаются сигнальными устройствами (лампы, табло с надписями) и сопровождаются звуковыми сигналами;

- вызова объектов телеизмерения (ВТИ), т.е. выбор и подключение к КС требуемого датчика ТИ;

- выполнения функций ТР, т.е. дистанционного плавного изменения уставок автоматических регуляторов с одновременным ТИ регулируемого параметра;

- вызова объектов телесигнализации (ВТС) с КП.

В системах ТУ может передаваться как дискретная (ТУ, ТК), так и непрерывная (ТР) информация. Передачу команды управления в системах ТУ разделяют на две операции. При первой - избирается объект ТУ, при второй - передается выбранному объекту исполнительная команда «включить» или «отключить». Команда на выполнение операции управления подается с ДП только после получения подтверждения с КП о принятии первой команды. Двухступенчатость управления уменьшает вероятность посылки неправильной команды.

Передача сигнала, в которой указывается адрес КО, называется адресной.

3.1.2 Системы телесигнализации

Обеспечивают передачу с КП на ДП различных видов ТС:

- о положении или состоянии КО или производственных процессов, получаемой по запросу с ПУ. Такая сигнализация всегда адресная;

- о выходе контролируемых параметров за допустимые пределы или о нарушении работы КО (предупреждающая или аварийная сигнализация). Передается автоматически;

- связанной с учетом продукции, ходом производственного процесса;

- о подтверждении выполнения на КП заданной диспетчером операции ТУ;

- о работе ТМ оборудования и состоянии КС (служебная сигнализация).

ТС может передаваться на ПУ автоматически или по вызову диспетчера. ТС по запросу может быть единичной или циркулярной от всех КО вызванного КП. В системах ТС передается дискретная информация.

3.1.3 Системы телеизмерения

Осуществляют передачу на расстояние непрерывных значений контролируемых параметров, измеряемых специальными датчиками, для визуального наблюдения за этими величинами, их регистрации или ввода в устройства автоматики.

Широко используются также **комплексные системы ТМ**, выполняющие все перечисленные выше функции или их сочетания.

ТМ системы могут обслуживать сосредоточенные и рассредоточенные объекты. В первом случае все КО сосредоточены в одном или немногих КП. Связь между КО в пределах одного КП осуществляется без средств ТМ. Во втором случае КО рассредоточены во многих КП, обслуживаются отдельными устройствами ТМ и подключены к общей ЛС.

3.2 Системы телеуправления и телесигнализации [1,с.45-51; 2,с.96-103; 6,с.211-228]

3.2.1 Основные понятия

Для выполнения ТУ используют команды, которые по оперативным способам передачи, разделяют на:

- спорадические (по мере возникновения необходимости в их передаче);
- циклические (опроса) (по изменяющейся программе только заданным ОУ, например, ВТИ);
- циклические (передачи) (в течение нескольких циклов до прихода известительных сигналов);
- циркулярные (всем или нескольким ОУ передача одинаковых команд, например, «включить»).

К системам ТУ предъявляют специальные требования – обеспечение выполнения команд и обнаружение ошибок при их передаче. Поэтому выход из строя КС должен сигнализироваться на ДП и не приводить к ложным командам. Достоверность выполнения приказа повышается при наличии ТС КП. Поэтому, как правило, образуют комбинированную систему ТУ-ТС.

Структурная схема системы ТУ-ТС имеет вид приведенный на рис.3.1. У - управляющий блок; И - исполнительный блок; ИК - исполнительный блок контроля (сигнализации); В - воспринимающий блок контроля (сигнализации); ПДУ, ПРУ, ПДК, ПРК - передающие и принимающие блоки управления и контроля соответственно.

Для ответственных объектов к системам ТУ-ТС предъявляют повышенные требования в отношении передачи команды и контроля ее выполнения. Поэтому применяется двухступенчатое управление (выбор ОУ и характера операции и запуск операции). Исполнительный приказ посылается только после сверки на ДП посланной и подтвержденной подготовительной операции с КП. Не допускается исполнение ложных приказов, приказов при неисправном КС и при потере питания полуккомплектов системы.

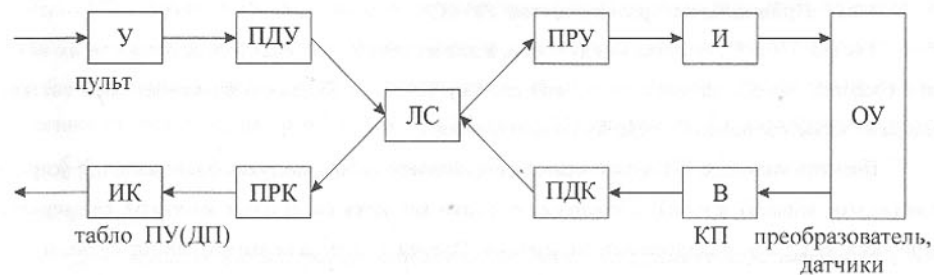


Рисунок 3.1 – Структурная схема системы ТУ-ТС

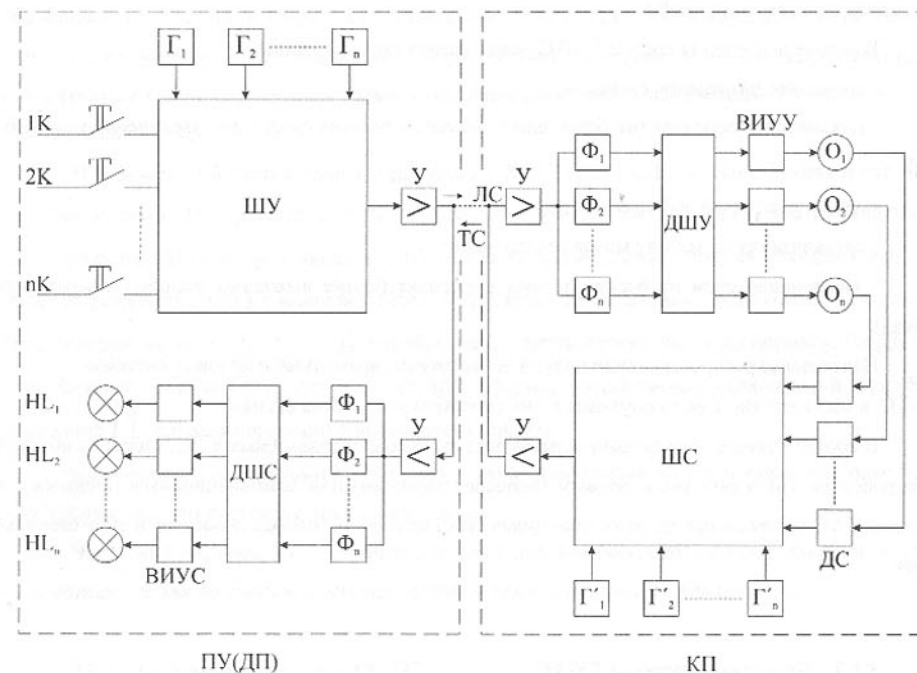


Рисунок 3.2 – Структурная схема комбинационной частотной системы ТУ-ТС

Системы ТУ-ТС можно классифицировать по:

- числу обслуживаемых КП;
- типу используемых элементов системы (контактные и бесконтактные);
- по методам передачи (адресная, многоканальная и т.п.);
- по режимам передачи (циклическая, спорадическая и т.п.);
- кодам (частотные временные, пространственные);
- методам защиты (квитирование, повторение, накопление).

3.2.2 Принципы построения систем ТУ-ТС

Так как ТУ и ТС связаны между собой, а для их передачи используются одни и те же методы и средства, они объединяются в единую систему ТУ-ТС. В общем случае каждая такая система содержит элементы послышки, передачи и исполнения.

Посылка команд с ДП производится воздействием на индивидуальные командные устройства (ключи, кнопки), а на КП элементами послышки являются сигнальные контакты, связанные с датчиками или с контролируруемыми аппаратами. Элементы передачи вырабатывают сигналы, посылаемые в ЛС, и соответственно расшифровывают их на приемной стороне и воздействуют на элементы исполнения команды. Последние действуют на исполнительный орган УО на КП или индикатор сигнализации на ДП.

В основе построения систем ТУ-ТС лежат следующие принципы:

- временное разделение сигналов;
- циклическая передача (не более одной команды за один цикл - для увеличения надежности);
- двухступенчатый выбор объекта;
- сигнализация по методу мимического щита;
- выполнение схем на бесконтактных элементах (кроме выходных исполнительных устройств).

Наибольшее распространение получили частотные, временные и кодовые системы ТУ-ТС, в соответствии с используемым в них способом разделения сигнала.

В соответствии с принципами образования сигналов, передаваемых в ЛС, избрание объекта в устройствах ТМ может быть прямым (непосредственным) или комбинационным (кодовым), а системы ТМ, построенные на этих принципах, соответственно одноканальными и многоканальными.

3.2.3 Частотные системы ТУ-ТС

Для осуществления частотного разделения сигналов в многоканальных системах используется частотное уплотнение ЛС. Используемую полосу частот обычно делят на ряд диапазонов, резонансные частоты которых служат для передачи сообщений. При этом по общей ЛС все сигналы передаются одновременно, но имеют различную частоту. Разделение КС производится с помощью электрических фильтров.

В простейшем случае прямого избрания (см. схема п.1.3) токи различной частоты (f_1, f_2, \dots, f_n) вырабатываются генераторами (G_1, G_2, \dots, G_n) и посылаются непосредственно в ЛС путем замыкания соответствующих контактов. На приемной стороне с помощью полосовых фильтров ($ПФ_1,$

$ПФ_2, \dots, ПФ_n$) осуществляется разделение сигналов по соответствующим реле управления или сигнализации. Для получения сигнализации о выполнении команды необходимо наличие еще одной такой же системы для передачи ТС. При этом генераторы ТС должны быть настроены на частоты, отличные от частот генераторов ТУ. Так, при ТУ пятью КО генераторы ТУ настраиваются на частоты f_1-f_{10} (например, включение $КО_1$ - на частоте f_1 , а отключение $КО_1-f_2$), а генераторы ТС - на частоты $f_{11}-f_{20}$.

Для экономии полосы частот используют сложное кодирование передаваемого сигнала. Системы с таким кодированием называют системами с частотным разделением и кодовым или комбинационным избранием (разделение сигналов - частотное, а выбор КО - кодовый). Обычно применяют двухчастотные коды: с параллельной или последовательной посылкой частот. Для создания и расшифровки кода в схемах используются дополнительные элементы-шифраторы (Ш) и дешифраторы (ДШ). Структурная схема комбинационной частотной системы ТУ-ТС имеет вид, приведенный на рис.3.2.

При замыкании одного ключа управления ($1К, \dots, nК$) на КП посылают сигнал из последовательно следующих друг за другом частот, который формируется ШУ. На КП обе части проходят через фильтры (Φ_i) и направляются в ДШУ, после чего срабатывает одно из выходных исполнительных устройств (ВИУ) и включает объект (О). Датчик сигнализации (ДС) посылает импульс на ШС, который из частот f_1', f_2', \dots, f_n' вырабатывает двухчастотную кодовую посылку. На ДП частоты выделяются двумя Ф и поступают на ДШС, формирующий сигнал, включающий через ВИУ индикатор HL , сигнализирующий о выполнении приказа.

Комбинационные системы используют ограниченное число частот и являются более помехоустойчивыми, чем системы с прямым избранием.

Частотные системы ТУ - ТС целесообразны для ТМ рассредоточенных объектов и могут осуществляться как по специальным выделенным, так и защитным телефонным ЛС.

3.2.4 Временные системы ТУ-ТС

В системах с временным разделением сигналов их передача по ЛС осуществляется последовательно. Принцип действия таких систем основан на поочередном синхронном и синфазном подключении КС к индивидуальным командным и сигнальным цепям на ДП и КП при помощи распределителей, автоматически переключающих соответствующие цепи. При каждом переключении в ЛС посылается импульс тока, характеристика которого (полярность, величина и др.) определяется положением ключа управления или КО.

Структурная схема временной системы ТУ-ТС приведена на рис.3.3.

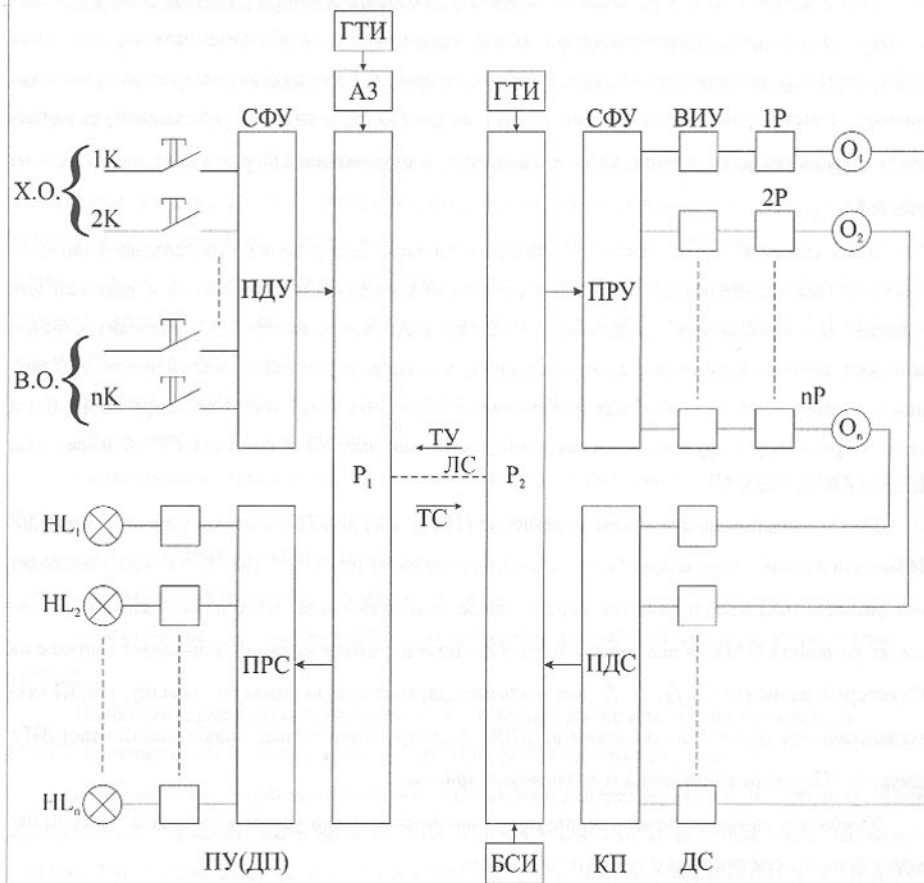


Рисунок 3.3 – Структурная схема временной системы ТУ-ТС

Основные функциональные узлы циклических устройств ТУ-ТС:

- распределители импульсов (P_1 и P_2) бесконтактные (микросхемы, транзисторные, магнитные элементы и др.) или контактные (шаговые искатели, электромагнитные реле);
- генераторы тактовых импульсов (ГТИ) в виде мультивибратора, LC-генератора или кварцевого генератора, которые осуществляют периодическую посылку синхронизирующих импульсов, отличающихся от импульсов ТУ и ТС. На КП эти СИ выделяются блоком СИ (БСИ) и подаются на P_2 , синхронизируя его работу с P_1 ;
- выходные исполнительные устройства (ВИУ) в виде магнитных усилителей, работающих в релейном режиме, статических триггеров или управляемых блокинг-генераторов на транзисторах;

- специальные функциональные узлы (СФУ) для образования и фиксации импульсных признаков, автоматического запуска (АЗ), контроля, защиты и др., в состав которых входят логические элементы, амплитудные и временные избиратели, запоминающие и переключающие устройства.

Предположим, что необходимо включить Q_I . Когда диспетчер переключает ключ IK характера операции в положение «Включить», возникает несоответствие и загорается HL_I , команда выбора ОУ пройдя СФУ, поступает в ЛС. На КП, пройдя СФУ, включает ВИУ выбора объекта, посылающие импульс на включение IP . Но включение IP произойдет только после нажатия кнопки характера операции («включить»). Данная команда проходит по тем же СФУ, что и команда выбора объекта, и включает ВИУ характера операции, которое дает разрешение реле объекта Q_I включается, срабатывает ДС, посылающий сигнал на ДП, что объект Q_I включен. После прихода на ДП этого сигнала наступает соответствие и HL_I гаснет.

В системах с прямым избранием (распределительные системы) общее число извещений, передаваемых в ЛС, равно числу импульсов, а значит и числу шагов распределителей. При этом каждому ОУ или ОК соответствует свое приемное реле, срабатывающее при определенном положении приемного распределителя и воздействующее на исполнительные цепи КО. Помехоустойчивость распределительных систем невысока, поэтому они применяются, в основном, для ТС.

В комбинационных системах в схемы вводятся дополнительно шифраторы и дешифраторы.

Системы ТУ-ТС с временным разделением сигналов широко применяют для сосредоточенных объектов, характерных для промышленных СЭС.

3.2.5 Кодовые системы ТУ-ТС

В их основу положены временные системы, частотный принцип используют для обработки ЛС и выбора КП. Кодовые системы ТУ-ТС, называемые еще цифровыми, обладают высокой помехоустойчивостью, лучшим использованием КС. К этим системам относят системы с временным разделением сигналов, двухпозиционными кодами (все элементы сигналов приводят к двум значениям 0 и 1), адресными передачами сигналов.

Общие принципы цифровых систем ТУ-ТС близки к принципам построения многоканальных кодоимпульсных систем ТИ.

3.3 Системы телеизмерения [1, с.51-64; 2, с.103-124; 6, с.174-195]

3.3.1 Основные понятия

ТИ – это получение информации о значениях измеряемых параметров КО или УО методами и средствами ТМ.

ТИ – это разновидность дистанционного измерения, при котором измеряемые параметры преобразуются в другие величины, удобные для передачи по КС на значительные расстояния, и последующего преобразования этой вспомогательной величины в показания прибора на ДП (ПУ). При этом параметры вспомогательного сигнала выбираются так, чтобы искажения его при передаче из-за изменения параметров КС или помехи были минимальными.

Структурная схема системы ТИ имеет вид приведенный на рис.3.4.

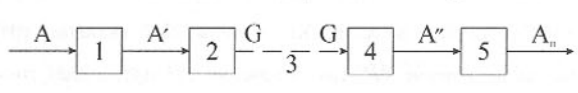


Рисунок 3.4 – Структурная схема ТИ

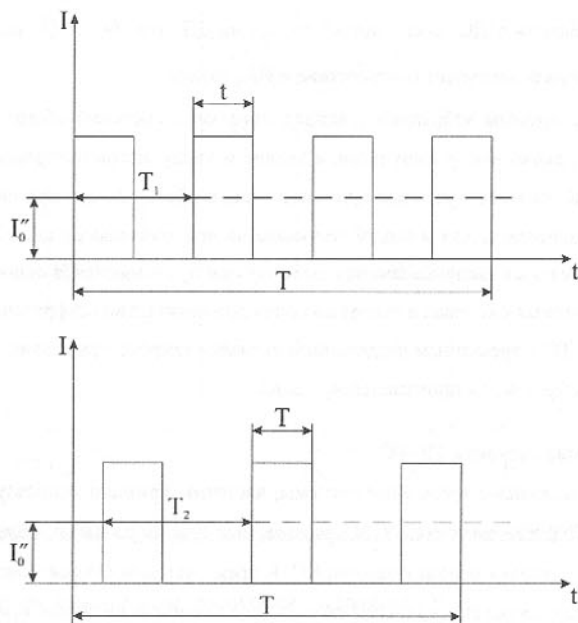


Рисунок 3.5 – Передача импульсов постоянного тока в частотно-импульсных схемах ТИ

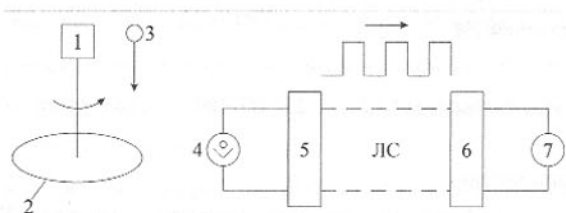


Рисунок 3.6 – Принципиальная схема частотно-импульсного устройства ТИ мощности эл. тока

Измеряемый параметр A поступает на датчик (1), называемый первичным преобразователем, который преобразует A в электрическую величину A' (ток или напряжение). A' в преобразователе 2 претерпевает вторичное, телемеханическое преобразование в сигнал C_1 , передаваемый ЛС (3). На приемной стороне (4) сигнал C_2 , отличный из – за помех от C_1 , преобразуется в ток или напряжение A'' , пропорциональное A , и отображается выходным прибором 5. Совокупность всех технических средств, осуществляющих ТИ, называют ТИ устройством.

Одной из основных характеристик устройства ТИ является погрешность, характеризующая отличие показаний прибора A_n от действительного значения ТИ параметра A (по показаниям образцового прибора).

Погрешность может быть ;

- абсолютной $\Delta A = A_n - A$;

- относительной $\delta A, \% = \frac{A_n - A}{A} \cdot 100\%$

$$\delta A_n, \% = \frac{A_n - A}{A_n} \cdot 100\% ;$$

- приведенной относительно номинального значения A_n измеряемой величины.

Погрешность, возникающая при нормальных условиях работы ТИ устройства, называется основной. Результирующая погрешность определяется арифметической суммой основной и дополнительной погрешностей. Дополнительные погрешности появляются из – за отклонений от нормальных условий работы, регламентируемых ГОСТ 26.205-83* (отклонения напряжения и частоты питания, сопротивления ЛС и др.). классы точности каналов ТИ устанавливаются согласно этого же ГОСТ: 0,15; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,5; 2,5.

Наряду с погрешностью от искажения параметра передачи в КС имеют место и погрешности преобразования в передающем и приемном устройствах. Результирующая относительная погрешность будет определяться суммой отдельных погрешностей.

На промышленных предприятиях измеряется, как правило, множество параметров. При этом чаще используют единую многоканальную систему ТИ с одним приемным устройством и одним передающим, если объекты сосредоточены в одном КП, или с многими рассредоточенными передающими устройствами при рассредоточенных объектах ТИ.

Различают ТИ по вызову и ТИ по выбору. При первом ТИ происходит по команде, посылаемой с ПУ на КП и вызывающей подключение на КП передающих, а на ПУ – соответствующих приемных устройств. При ТИ по вызову используют одну ЛС для наблюдения поочередно за многими КО. Опрос объектов осуществляется циклически по заданной программе автоматически.

ТИ по выбору – это ТИ путем подключения к устройствам ПУ соответствующих приемных приборов при постоянно включенных передающих устройствах на КП.

Если передается информация о значениях параметра в момент опроса, то это ТИ текущих значений (ТИТ), при получении информации об интегральных значениях параметра, проинтегрированных в месте передачи по времени, например, имеет место ТИ интегральных значений (ТИИ).

3.3.2 Классификация систем ТИ

Системы ТИ можно классифицировать по принципу действия, дальности действия, роду измеряемой величины и т.д. Чаще всего классифицируют системы ТИ по параметру, которым передается значение измеряемой величины по КС:

- токовые системы (чаще постоянный ток, как обеспечивающий меньшую погрешность, и приборы с равномерной шкалой);
- системы напряжения (постоянного и переменного, но ограничение небольшим расстоянием);
- частотные системы (измеряемый параметр преобразуется в импульсы постоянного тока или в переменный ток);
- системы времени, в которых измеряемый параметр преобразуется в:
 - а) длительность импульсов τ постоянного тока (широтно – импульсная модуляция – ШИМ);
 - б) длительность интервала t_i между опорным и информационным импульсами (интервально – импульсная модуляция ИИМ);
 - в) угол сдвига фаз между двумя синусоидами тока или напряжения (фазосинусоидальные системы ФСС).

Системы ШИМ и ИИМ называют также времяимпульсными или системами с времяимпульсной модуляцией (ВИМ);

- цифровые системы (измеряемый параметр передается по КС в виде цифрового кода, т.е. с определенной комбинацией импульсов (кодоимпульсная модуляция – КИМ).

По методам, с помощью которых передается значение измеряемого параметра, системы ТИ разбивают на три группы:

- устройства интенсивности (ближнего действия);
 - импульсные устройства
 - частотные устройства.
- } (дальнего действия)

По характеру зависимости между измеряемым параметром и параметром выходного сигнала передающего устройства разделяют аналоговые и дискретные системы ТИ. Для аналоговых – непрерывная, а для дискретных – ступенчатая зависимости.

По характеру использования КС – одно- и многоканальные системы ТИ.

3.3.3 Частотно – импульсные системы ТИ

В этих системах ТИ измеряемый параметр преобразуется в импульсы постоянного тока, частота которых зависит от измеряемого параметра. Например, в течение одного периода измерения, равного T , 40В передаются четырьмя импульсами, а 23В – двумя – тремя импульсами. На приемной стороне частотно – модулированные импульсы в постоянный ток, величина которого зависит от количества импульсов за время T (рис. 3.5). При одной и той же τ изменяется интервал между импульсами ($T_2 > T_1$), уменьшается число импульсов за T , а значит и уменьшается и постоянная составляющая тока ($I_0'' < I_0'$).

По способу преобразования контролируемого параметра в частоту следования импульсов передающие устройства разделяются на две группы:

- 1) измеряемый параметр преобразуется в частоту вращения (с помощью приборов, являющихся модификацией счетчиков электроэнергии), которая потом преобразуется в импульсы определенной частоты (с помощью контактных и бесконтактных коммутирующих устройств);
- 2) измеряемый параметр преобразуется во вспомогательный электрический параметр (постоянный ток или напряжение), управляющий работой генераторов или мульти vibratorов, которые вырабатывают серию импульсов с частотой следования пропорциональной вспомогательному параметру.

Принципиальная схема частотно – импульсного устройства ТИ мощности электрического тока может иметь вид, приведенный на рис.3.6. на оси электросчетчика 1 установлен диск 2 с прорезями, при вращении которого луч света от источника света 3, падающий на фотоэлемент 4, прерывается зубцами диска. Импульсы с 4 через усилитель 5 поступают в ЛС с частотой $f = mn$, где m – число зубцов, n – частота вращения диска, которая пропорциональна P . Поэтому $f = mP$.

В качестве приемных устройств частотно – импульсных систем ТИ применяют электрические частотомеры, преобразующие частотно – модулированные сигналы в напряжение или ток, величины которых определяются частотой. Чаще всего используются конденсаторные схемы, в которых средний ток, проходящий по цепи приемного прибора П (рис.3.7), пропорционален частоте импульсов. На вход поляризованного реле ПР подаются из ЛС импульсы. При включении реле проходящим импульсом U постоянный ток источника питания проходит через C_1 , R_2 , П (зарядный импульс тока 1). После прекращения импульса и отпускания реле ПР его контакт пере-

ключается и ток идет через C_2 , R_1 , Π (зарядный импульс тока 2), а C_1 разряжается через R_1 . Один импульс вызывает двукратное протекание тока через Π , средняя величина которого $I_{cp} = 2 \frac{CU_n}{T}$.

Для уменьшения колебаний стрелки применен фильтр ($C_\phi R_\phi$), сглаживающий импульсы тока.

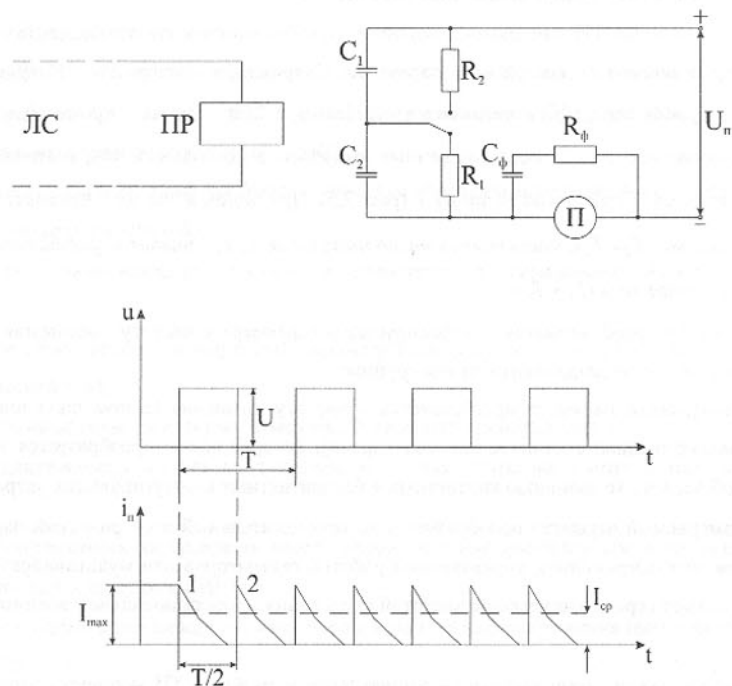


Рисунок 3.7 – Конденсаторная схема электрического частотомера

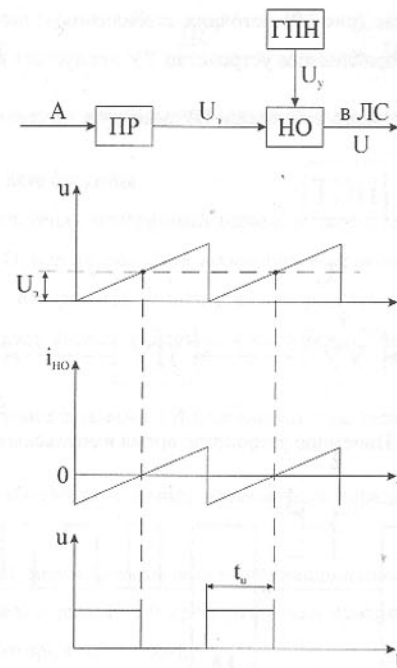


Рисунок 3.8 – Передающее устройство времяимпульсных систем

Недостаток описанного частотомера – работа при частотах не более 15 Гц. Вместо ПР можно использовать геркон или транзистор, что повысит частоту переключений и срок службы.

Преимущества частотно – импульсных систем ТИ – независимость показаний выходного прибора от изменения параметров ЛС и возможность многократного ее использования.

3.3.4 Времяимпульсные системы ТИ

Измеряемый параметр преобразуется в импульсы постоянного тока продолжительность или местоположение по оси времени которых зависит от значений измеряемого параметра. В первом случае устройства называют широтно – импульсными, во втором – фазоимпульсными.

В передающих устройствах используют электрические преобразователи измеряемого параметра в пропорциональную ему длительность импульсов. В основе этих преобразователей лежит принцип динамической компенсации. Преобразователь ПР (рис.3.8) преобразует измеряемый параметр A в эквивалентное напряжение U_n . Нуль – орган НО сравнивает U_n с уравновешивающим U_y генератора пилообразного напряжения ГПН. При $U_n = U_y$ изменяется направление $i_{но}$ в НО и, если НО поляризованный элемент, то прекращается передача импульса. Изменение A , и значит U_n , приводит к изменению длительности импульсов $t_{и}$, посылаемых в ЛС.

На приемном устройстве (рис.3.9) источник стабилизированного тока ИСТ выработывает ток постоянной амплитуды. Управляющее устройство УУ пропускает к измерительному устройству ИУ ток I_0 только во время приема импульсов. ИУ реагирует на средний ток $I_{cp} = I_0 t_u / T$.

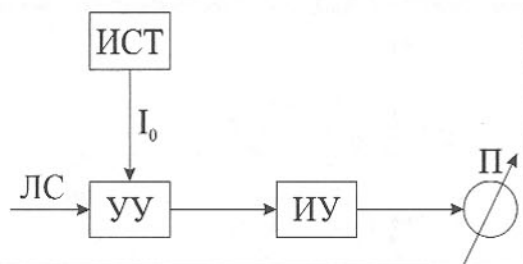


Рисунок 3.9 – Приемное устройство время импульсных систем ТИ

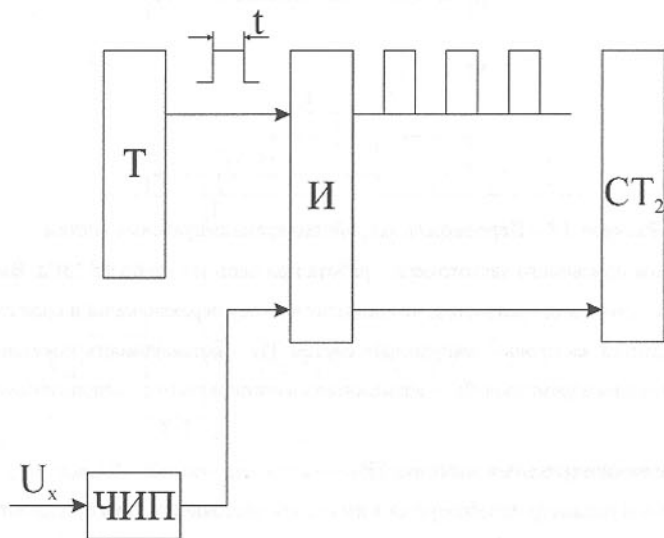


Рисунок 3.10 – Схема преобразования измеряемого напряжения в код с промежуточным преобразованием напряжения в частоту

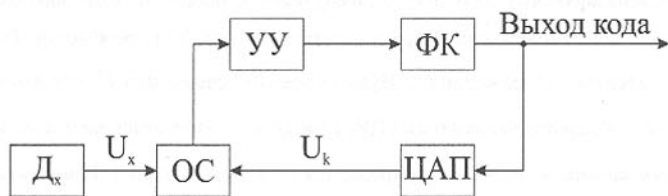


Рисунок 3.11 – Структурная схема кодоимпульсных систем



Рисунок 3.12 – Структурная схема частотного устройства ТИ

3.3.5 Кодоимпульсные системы

В кодоимпульсных системах измеряемый параметр передается в виде определенной комбинации импульсов (кода). При этом диапазон изменения измеряемого параметра разбивается на ряд уровней (квантирование по уровню), каждому из которых присваивается определенная кодовая комбинация, отличающаяся числом и порядком следования элементов с определенным признаком.

По сравнению с другими системами ТИ кодоимпульсные сложнее, но обладают преимуществами:

- большая помехоустойчивость, а значит возможность передачи ТИ информации на большие расстояния;
- большая точность ТИ; при использовании помехозащищенных кодов погрешность при передаче и приеме не возникает, а только при преобразовании измеряемого параметра в код (0,1%, что выше других систем, у которых 0,5 – 1,5%);
- лучшее использование КС;
- получение информации в цифровой форме, что позволяет вводить ее в ЭВМ и осуществлять цифровую индикацию показаний, имеющую меньшую погрешность.

Преобразование непрерывной аналоговой величины в цифровой эквивалент (код) осуществляется аналого-цифровыми преобразователями (АЦП).

При этом измеряемый параметр вначале представляется в виде электрической величины или механического перемещения, а затем осуществляется преобразование электрической величины или перемещений в код.

Преобразование электрической величины в код может осуществляться непосредственно или с промежуточным параметром (временной интервал, частоту или фазу), преобразуемым уже в число импульсов.

Схема преобразования измеряемого напряжения в код с промежуточным преобразованием в частоту имеет вид, представленный на рис.3.10. Измеряемая величина U_x подается на частотно – импульсный преобразователь ЧИП, являющийся генератором импульсов, модулируемых по частоте, и преобразуется в последовательность импульсов с частотой $f = \varphi(u)$. Хронометрирующее устройство T на заданный интервал времени t открывает элемент U , и импульсы с ЧИП поступают на счетчик $СТ_2$. Количество импульсов, поступающих на $СТ_2$, зависит от их частоты.

В кодоимпульсных системах широко используется компенсационный принцип преобразования аналоговых величин в код, при котором вырабатываемая кодовая комбинация сравнивается с входным аналоговым сигналом. При равенстве указанных величин в КС выдается кодовая комбинация. Аналоговая величина U_x (рис.3.11) с датчика D_x подается на орган сравнения ОС, где она сравнивается с компенсационным напряжением U_k , пропорциональным числовому значению кода на выходе преобразователя. Преобразование цифрового сигнала в аналоговую величину происходит в цифро – аналоговом преобразователе ЦАП. Разность $\Delta U = U_x - U_k$ подается на управляющее устройство УУ, которое воздействует на формирователь кода ФК с целью уменьшения ΔU . Компенсация заканчивается, когда ΔU становится меньше шага квантования.

Приемные устройства кодоимпульсных систем преобразуют принятые кодовые комбинации в показания соответствующего прибора. Принцип действия приемного устройства и его структурная схема зависят в основном от формы представления результатов измерений (аналоговая или цифровая) и от применяемого кода. Декодирование может быть в цифровой или аналоговой форме. Первая более точная и удобная. Для преобразования принятой информации в цифровой форме в аналоговый сигнал (ток или напряжение) служат цифро-аналоговые преобразователи, выполненные в виде декодирующих сеток из резисторов.

3.3.6 Частотные системы

Измеряемый параметр модулирует, т.е. изменяет частоту переменного синусоидального тока, передаваемого по ЛС, в зависимости от своей величины. Основные особенности применения частотных сигналов для передачи ТИ:

- частотный сигнал является аналоговым (нет квантования измеряемого параметра);
- частотный сигнал при прохождении по КС в отсутствие помех не искажается, поэтому погрешность, а значит и дальность передачи информации не зависят от изменения параметров ЛС (частотные системы – системы дальнего действия);
- передача частотных сигналов производится как по проводным ЛС, так и по радиоканалам;
- частотный сигнал кодируется с большой точностью (можно применять цифровой отсчет измерений и вывод в ЭВМ);

Одна из характеристик частотных устройств ТИ – коэффициент изменения частоты.

$$\lambda = \frac{f_{\max}}{f_{\min}},$$

где f_{\max} и f_{\min} – соответственно максимальная и минимальная частоты сигнала в КС.

Величину $\Delta F = f_{\max} - f_{\min}$ называют шириной КС или полосой частот.

Структурная схема частотного устройства ТИ имеет вид, представленный на рис.3.12.

Передающее устройство ПР преобразует измеряемый параметр А в пропорциональную ему частоту синусоидального тока (f_{II}), посылаемого в ЛС. Приемное устройство Ч в виде частотомера преобразует синусоидальный сигнал в сигнал постоянного тока, измеряемый выходным прибором П.

Отличают низкочастотные устройства ТИ, работающие в диапазоне 0-300 Гц, и устройства, работающие при $f > 300$ Гц.

Основные узлы преобразователя ПР – генератор синусоидальных колебаний (тока) и первичный измеритель, воздействующий на частоту вырабатываемых генератором колебаний. Упрощенные схемы преобразователей измеряемого параметра в частоту переменного тока имеют вид, представленный на рис.3.13.

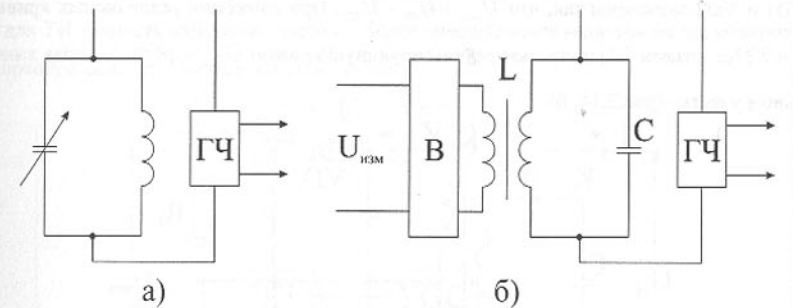


Рисунок 3.13 – Упрощенные схемы преобразователей измеряемого параметра в частоту переменного тока

В емкостном ПР а) первичный измеритель соединен с переменным конденсатором С, положение ротора которого зависит от измеряемого параметра и определяет емкость, а значит, и частоту генератора переменного тока. Частота может меняться при изменении индуктивности контура, зависящей от тока первичного датчика.

$$f_{Г} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Используются схемы транзисторных LC-генераторов, управляемых током, с ключевым режимом транзистора.

Задачей приемников частотных систем ТИ является выделение информации о контролируемом параметре, переданной по ЛС, и частотно-модулированного сигнала и воспроизведение этой информации на выходном приборе. Приемные устройства выполняют в виде конденсаторных частотомеров или частотных детекторов, в которых изменение частоты сигнала преобразуется в соответствующее изменение его амплитуды.

Особенность частотных систем ТИ – передача нулевого значения телеуправляемого параметра определенной частотой (f_{min}) из используемого диапазона ΔF . Поэтому схема частотомера должна обеспечивать нулевое показание выходного прибора при $f_u = f_{min}$; где f_u – частота генератора.

Для частотной демодуляции частотно-модулированных колебаний можно преобразовать в колебания, модулированные по амплитуде, а из них уже выделить передаваемую информацию об измеряемом параметре. Для этого в ТН используют частотно-амплитудные детекторы.

Детектор (рис.3.14, а) состоит из двух вторичных колебательных контуров (K_2, K_3), расстроенных относительно модулированного по частоте приходящего на выход сигнала U_n . Напряжения, снимаемые с контуров K_2 и K_3 , выпрямляются и с R_1 и R_2 , снимается $U_{вых}$, зависящее от f . Диоды VD_1 и VD_2 включены так, что $U_{max} = U_{R1} - U_{R2}$. При сложении резонансных кривых контуров K_2 и K_3 (со знаком "-") получают результирующую кривую $U_{max} = \varphi(f)$, которая линейна на значительном участке (рис.3.14, б).

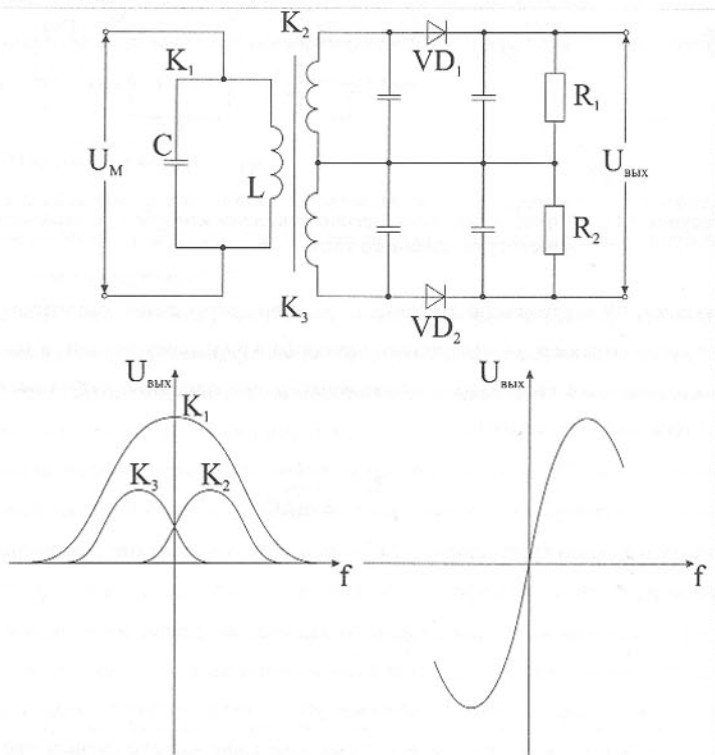


Рисунок 3.14 – Схема амплитудно-частотного детектора

Разновидностью приемных устройств в частотных системах ТИ являются автокомпенсационные частотомеры, относящиеся к балансным приемным устройствам. Они обладают высокой точностью, хотя сложны по устройству.

Частотный детектор ЧД (рис.3.15) настраивается на начальную частоту f_{min} . При $f_u = f_{min}$ $U_f = 0$. При $f_u \neq f_{min}$ на выходе ЧД появляется напряжение небаланса, пропорциональное $\Delta f = f_u - f_{min}$. На выходе усилителя У включен приемный прибор П и устройство обратной связи УОС, которое воздействует на элемент настройки ЭН частотного детектора. Это увеличивает помехоустойчивость системы.

Кроме аналоговых приемников, преобразующих частоту в постоянный ток, применяют цифровые приемники с цифровым отсчетом полученной из ЛС величины ТИ параметра и ввод в ЭВМ. Для этого к аналоговому приемнику добавляют АЦП. Этот метод не обеспечивает необходимую для ТИ точность измерения частоты. Более совершенным является метод кодирования частоты в преобразователях последовательного счета.

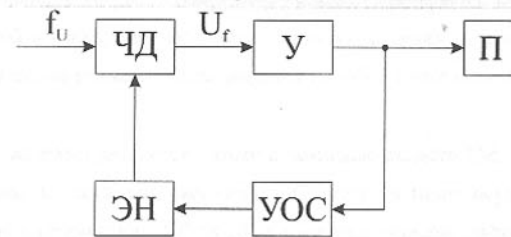


Рисунок 3.15 – Частотный декодер

3.3.7 Многоканальные системы ТИ

Применяются при необходимости передавать с одного КП информацию о многих ТИ параметрах. Выполняются по принципу временного или частотного разделения сигналов. Методы построения многоканальных систем ТИ во многом сходны с методами построения многоканальных систем ТУ-ТС и могут входить составной частью в единую ТМ систему ТУ-ТС-ТИ.

В основе многоканальных систем ТИ лежат одноканальные системы, дополненные соответствующими узлами (распределителями, ключами – при временном разделении; фильтрами, генераторами, модуляторами и демодуляторами – при частотном разделении сигналов). Передача показаний происходит непрерывно: при частотном разделении – во всех КС одновременно, а при временном – все телеизмерения за один цикл. Чаще всего многоканальные системы ТИ выполняются с временным разделением сигналов, т.к. они требуют меньше аппаратуры, отдельных КС и, кроме того, одновременность передачи при частотном разделении может вызвать взаимное влияние КС на КС.

3.3.8 Адаптивные ТИ системы

Сбор, обработка и передача информации автоматически изменяется в зависимости от изменения характеристик входных сигналов, внешних условий, состояния КО. Эти системы относят к высшей ступени иерархии ТИ систем.

При большом потоке информации не вся измеренная информация является одинаково ценной, т.е. существует избыточная измерительная информация, не являющаяся необходимой на приемном пункте. А на ее передачу, обработку и регистрацию затрачиваются средства и время. Одним из направлений в создании адаптивных систем является разработка систем с исключением (или сокращением) избыточной информации, называемым сжатием данных.

Повышенная эффективность таких систем заключается в возможном сужении полосы частот в КС, улучшении их метрологических характеристик, повышении помехоустойчивости, упрощении обработки измерительной информации, сокращении машинного времени обработки.

По функциональному признаку адаптивные ТИ системы разделяют на системы: со сжатием данных, с самообучением и с перестраиваемой структурой.

4 ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕМ

4.1 Общие положения по диспетчеризации систем энергоснабжения

[1, с.169-198; 6, с.5-14]

Энергетическое хозяйство промышленного предприятия включает в себя системы электро-снабжения, водоснабжения, газоснабжения, теплоснабжения, воздухоснабжения и др. В зависимости от специфики производства, масштабов предприятия и особенностей технологического процесса эти системы в различном сочетании встречаются на каждом предприятии.

Характерными для систем энергоснабжения является разбросанность их объектов на территории предприятия, значительная протяженность и разветвленность энергетических сетей и тесная технологическая взаимосвязанность всех элементов системы.

Принятие правильных решений по рациональному управлению системой энергоснабжения при нарушениях нормальной ее работы или локализации последствий аварий возможно только при наличии подробной и своевременной информации о состоянии и положении отдельных элементов системы, и о всех нарушениях, происшедших в любой точке сети и на любом из объектов системы.

Все эти задачи успешно решаются только с помощью средств ТМ, которые позволяют независимо от расстояния, по минимальному числу ЛС быстро и точно осуществить передачу требуемой известительной информации с КП на ДП и распорядительной информации в обратном направлении.

Диспетчерское управление любой автоматизированной системой энергоснабжения предприятия, оснащенное средствами ТМ, должно обеспечивать:

- централизацию контроля и управления работы системы;
- повышение оперативности управления и контроля за работой сооружений и сетей системы;
- повышение надежности снабжения основных потребителей различными видами энергии;
- полное или частичное сокращение дежурного персонала на отдельных сооружениях систем энергоснабжения;
- сокращение количества аварий и быстрейшую ликвидацию их последствий за счет более квалифицированного управления системой;
- экономию энергетических ресурсов.

Средства ТМ позволяют передавать на ДП большое количество измерений различных параметров. Но постоянное одновременное воспроизведение на ДП текущих значений всех параметров, как правило, не рационально. Поэтому на крупных ДП большинство измерений осуществля-

ется по вызову или по выбору. Это позволяет использовать на ДП общие приборы для воспроизведения поступающих с разных КП ТИ-параметров.

Наряду с применением в системах централизованного контроля и управления средства ТМ используются в устройствах телеавтоматики для осуществления автоматической связи между пространственно разделенными объектами.

Решение принципиальных вопросов диспетчеризации и телемеханизации наиболее целесообразно производить одновременно и совместно для всех систем энергоснабжения предприятия.

4.2 Организация диспетчерской службы [1,с.198-206; 2,с.125-129, 134-138]

СОУ и АСДУ энергоснабжением относятся к одному классу систем централизованного управления, основным назначением которых является постоянный автоматический контроль и оперативное управление работой энергохозяйства предприятия. В этих системах используются в основном однотипные технические средства для передачи, обработки и представления информации; проектирование и эксплуатация этих систем производится по единым нормативным и руководящим материалам. Поэтому принципы построения СОУ и АСДУ во многом идентичны.

Структурная схема диспетчерского управления энергохозяйством предприятия определяется следующими основными факторами:

- масштабом охватываемого системой централизованного диспетчерского управления телемеханизируемого хозяйства и требуемым объемом информации, используемой в системе управления;
- технологической взаимосвязанностью или обособленностью отдельных сооружений и узлов, входящих в энергохозяйство;
- административно-хозяйственной структурой предприятия в целом и энергетического хозяйства;
- территориальным взаимным расположением объектов диспетчеризации и ДП;
- обеспечение максимальной возможности оперативного управления и удобства обслуживания объектов диспетчеризации;
- условием надежной и удобной связи с контролируруемыми объектами.

В промышленных системах энергоснабжения чаще всего предусматривается одноступенчатая или двухступенчатая схема диспетчеризации.

В первом случае управление энергохозяйством осуществляется централизованно из одного ДП, контролирующего работу всех энергетических сооружений и сетей предприятия. Такая структурная схема используется на предприятиях с числом контролируемых энергообъектов (электростанции, насосные, котельные и др.) до 30 или имеющих объединенный энергоцех. Система диспетчеризации имеет небольшой объем информации и непосредственно подчиняется главному

энергетику. На ДП, как правило, устанавливается общий диспетчерский щит для всех энергетических систем предприятия. Одноступенчатая схема диспетчеризации имеет вид, представленный на рис.4.1.

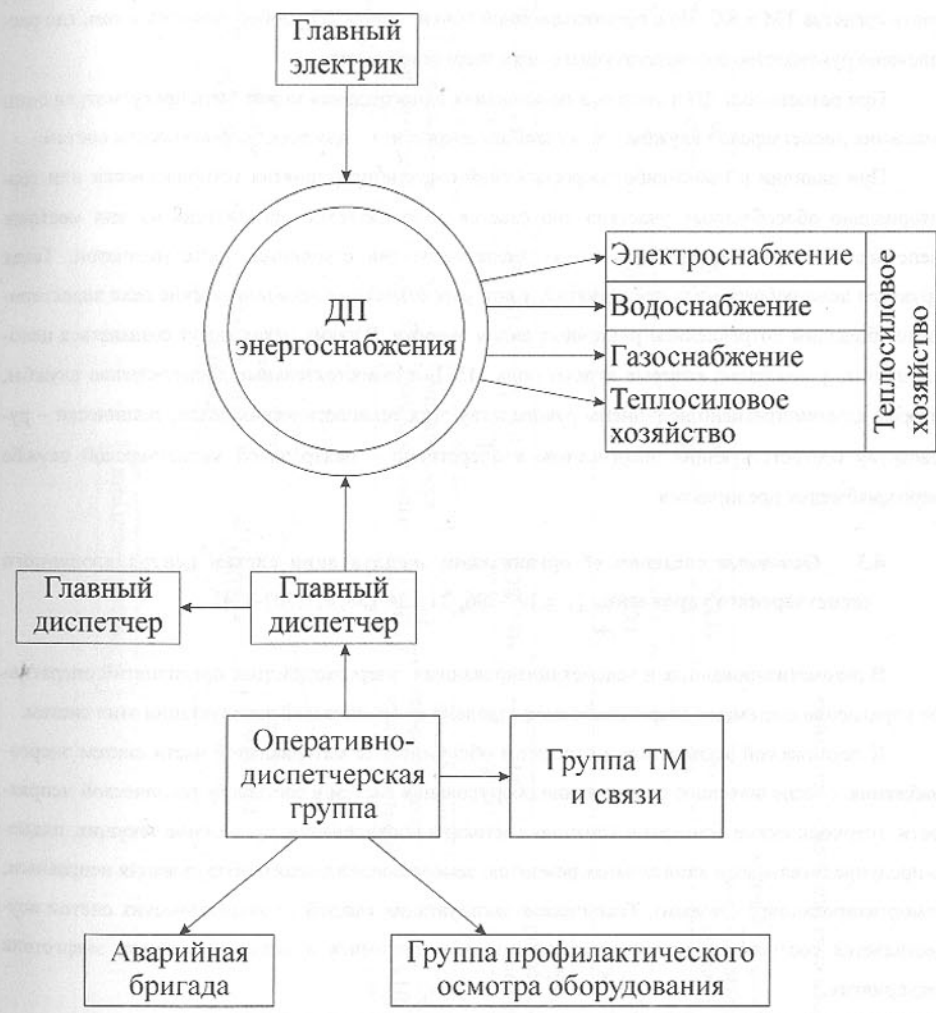


Рисунок 4.1 – Одноступенчатая схема диспетчеризации

На крупных промышленных предприятиях со сложным и разнотипным энергетическим хозяйством с большим количеством контролируемых объектов применяется двухступенчатая схема диспетчеризации (рис.4.2). При этом отдельные энергетические системы предприятия имеют самостоятельные ДП, ведающие работой данной энергосистемы, и центральный диспетчерский пункт (ЦДП) главного энергетика, осуществляющий руководство энергохозяйством предприятия в

целом. На ЦДП передаются только важнейшие оперативные и аварийные сигналы, интегральные ТИ и производственно-статистическая информация. Наиболее рациональным является размещение ДП отдельных энергосистем и ЦДП в одном здании, что позволяет более эффективно использовать средства ТМ и КС. Но с организационной точки зрения ДП удобно размещать там, где расположено руководство соответствующего цеха энергоснабжения.

При размещении ДП в смежных помещениях одного здания может быть предусмотрен один начальник диспетчерской службы – зам. главного энергетика – для всех энергетических систем.

При наличии в какой-либо энергетической системе предприятия технологически или территориально обособленных участков допускается дополнительно организация на них местных диспетчерских пунктов (МДП), а схема диспетчеризации становится трехступенчатой. Такая структура целесообразна для предприятий, у которых отдельные технологические цеха характеризуются большим потреблением различных видов энергии. В таких цехах могут создаваться цеховые пункты управления, которые играют роль МДП, и самостоятельные диспетчерские службы, которые административно подчинены руководству этих технологических цехов, технически – руководству соответствующих энергоцехов, а оперативно – центральной диспетчерской службе энергоснабжения предприятия.

4.3 Основные сведения об организации эксплуатации систем централизованного диспетчерского управления [1, с.202-206; 2, с.134-138; 6, с.307-324]

В автоматизированных и телемеханизированных энергохозяйствах предприятий оперативное управление системами энергоснабжения отделено от технической эксплуатации этих систем.

К технической эксплуатации относится обслуживание материальной части систем энергоснабжения, обеспечивающее поддержание оборудования систем в состоянии технической исправности (периодические осмотры и контроль состояния оборудования; проведение текущих, планово-предупредительных и капитальных ремонтов; замена поврежденного оборудования исправным, а амортизированного – новым). Техническая эксплуатация каждой из энергетических систем осуществляется соответствующими энергоцехами, находящимися в ведении главного энергетика предприятия.

Оперативное управление включает в себя организацию служб и мероприятий, обеспечивающих необходимым режимы работы оборудования, и коммутирование схем энергоснабжения для питания потребителей данным видом энергии требуемого качества с необходимой степенью надежности. Организационные формы и структура оперативного управления зависят от уровня автоматизации и телемеханизации объектов и для каждого предприятия определяются местными условиями, ведомственными инструкциями и нормами.

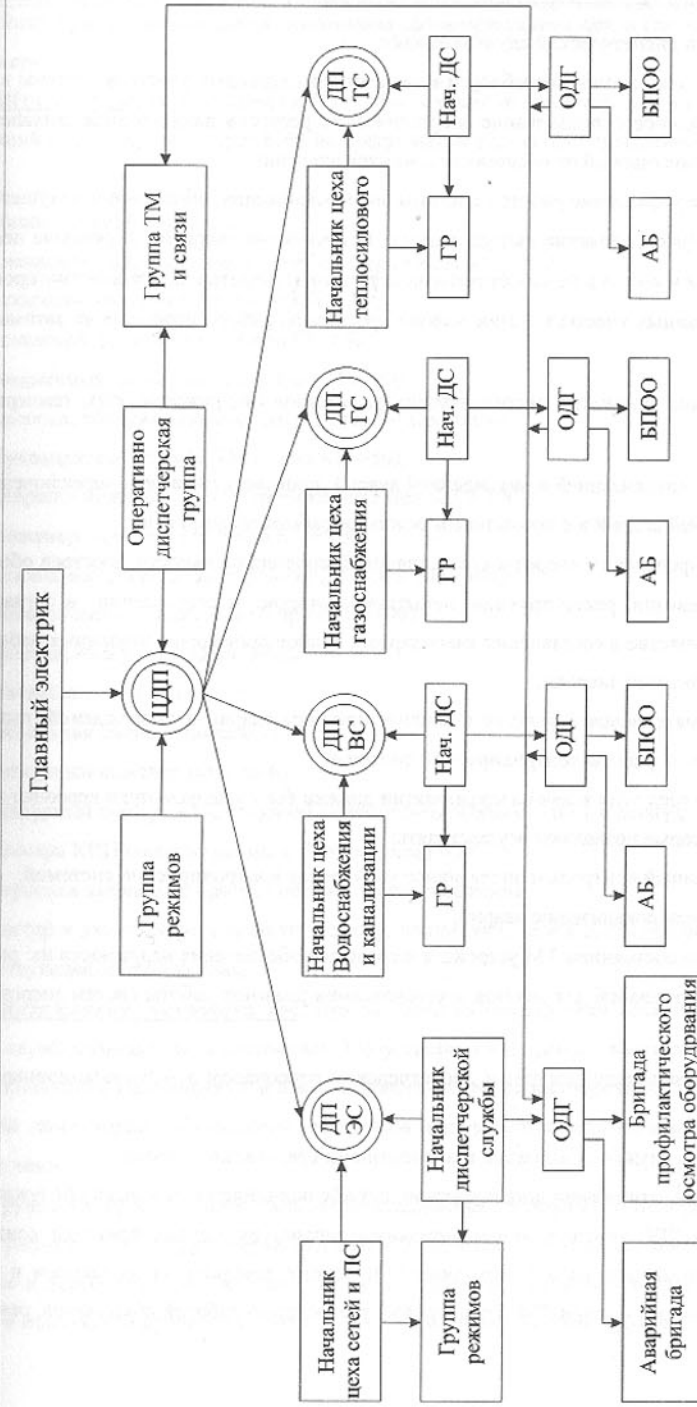


Рисунок 4.2 – Двухступенчатая схема диспетчеризации

В обязанности диспетчерской службы входят:

- определение ожидаемой потребности в энергии для отдельных участков системы в разные часы суток; рациональное использование энергетических ресурсов данного вида, выявление потребной мощности, получаемой от внешних источников энергии;

- оперативное управление работой системы энергоснабжения, обеспечение текущего режима работы системы (распределение нагрузки между источниками энергии); включение необходимого числа агрегатов и вывод в резерв отдельных агрегатов (генераторов, трансформаторов и т.д.) на неавтоматизированных участках; установление программы работы агрегатов на автоматизированных установках;

- регулирование различных энергетических параметров (напряжение, \cos , температуры и т.п.);

- руководство локализацией и ликвидацией аварий, производство в сети переключений, связанных с локализацией аварий и с нормальным режимом работы предприятия;

- участие в определении очередности и плановой продолжительности простоев оборудования для ремонта, ревизии, реконструкции, испытаний; участие в составлении и согласовании графиков ремонта; участие в составлении календарных планов проведения указанных работ с учетом запросов потребителей энергии;

- подготовка материалов и участие в анализе причины аварий и повреждений, вызвавших нарушение нормальной работы контролируемой системы.

Для решения всех этих задач на предприятии должен быть предусмотрен персонал и технические средства, которые позволяют осуществлять:

- централизованный контроль и оперативное управление контролируемой системой;
- ликвидацию или локализацию аварий;
- наблюдение за состоянием ТМ устройств и средств и обеспечение надежности их работы;
- подготовку материалов для анализа и установления режимов работы систем энергоснабжения;
- надежную связь между дежурным диспетчерским персоналом и эксплуатационным персоналом на КП.

Диспетчерская служба оснащается транспортными средствами и связью.

В оперативном отношении диспетчерской службе подчиняется персонал, обслуживающий средства ТМ, ВТ АСДУ, контрольно-измерительную аппаратуру; осуществляющий контроль за работой энергооборудования на КП (обходчики) и ремонт, контроль за состоянием и работой средств ТМ обеспечивает служба ТМ. Техническое руководство работой обходчиков, ремонтных

Принципы построения промышленных систем ДУ энергоснабжения 71
и аварийных бригад производится персоналом соответствующих цехов (служб) энергоснабжения предприятия.

Штатный состав диспетчерской службы зависит от масштаба системы энергоснабжения, от функций диспетчера и от принятой на предприятии структуры управления. В штат могут входить:

диспетчерский персонал:

- начальник диспетчерской службы (1 при числе КП > 50);
 - старший диспетчер (до 3 при КП > 50);
 - сменный диспетчер (до 9 при КП > 50);
 - подменный диспетчер (до 3 при КП > 100);
- персонал, обслуживающий средства телемеханизации:
- руководитель службы ТМ (1 при КП > 50);
 - старший инженер по электронике (до 3 при КП > 100);
 - инженер-наладчик (до 5 при КП > 100);
 - техник-наладчик по электронике (до 6 при КП > 100);
 - слесарь пятого разряда (до 6 при КП > 100).

персонал, обслуживающий ЭВМ:

- начальник машины (1);
- начальник смены – инженер (1);
- дежурный инженер (от 3 до 6);
- дежурный слесарь КИП (техник) не ниже 5-го разряда (3 по 1 в смену);
- слесарь КИП (техник) не ниже 5-го разряда (1-2).

персонал аварийных бригад системы энергоснабжения:

- мастер и два монтера или более в смену, подчиняющиеся в оперативном плане диспетчеру

соответствующей энергосистемы.

Обслуживание устройств ТМ. При наличии на предприятии нескольких ТМ-ых диспетчерских служб наблюдения за состоянием ТМ-устройств и их ремонт возлагаются на единую бригаду специалистов, находящуюся в цехе технологической диспетчеризации или при центральной заводской лаборатории. Обязанности работников определяются ведомственными должностными инструкциями.

Группа ТМ проводит плановые, эксплуатационные проверки ТМ оборудования периодически по графику. Плановые проверки включают в себя систематический контроль за состоянием устройств и опробование их действия, частичную проверку ТМ оборудования (1 раз в 12 или 24 месяца) и полную его проверку (1 раз в 24 или 48 месяцев). Полная проверка одновременно про-

водится для полуккомплектов ДП и КП, а также КС. Внеочередная проверка послеварийная производится после неправильного действия устройств ТМ и устранения повреждений.

5.1 Основные сведения об автоматизированных системах управления

[1, с.139-327; 2, с.138-142; 3, с.25-54]

Автоматизированной системой управления (АСУ) процессом или производством называют человеко-машинную систему, использующую для наиболее эффективного решения задач управления автоматические средства обработки и представления информации (ЭВМ, автоматические устройства накопления, регистрации, отображения и др.), экономико-математические методы и организационные принципы управления.

Для количественного описания процессов управления используются математический аппарат и методы моделирования. Моделирование процессов управления на основе экономико-математических методов даст возможность еще до принятия решения, до выбора управляющего воздействия определить их влияние на УО и позволяет прогнозировать развитие процесса, ОУ во времени.

Экономико-математическая модель – это набор математических и логических формул, выражающих качественные и количественные взаимосвязи внутри объекта и вне его. Эта модель имитирует функционирование ОУ и поэтому представляет собой функциональную базу (подсистему) АСУ.

Управление в организованных системах – это процесс преобразования информации, в котором информация об ОУ воспринимается управляющей системой, перерабатывается ею в соответствии с той или иной целью управления и уже переработанная, в качестве управляющих воздействий передается на ОУ (рис.5.1).



Рисунок 5.1 – Управление в организованных системах

АСУ по структуре и ряду признаков аналогичны кибернетическим (автоматическим) системам управления, но в отличие от них, предполагает участие человека в работе системы, но с освобождением его от выполнения рутинных функций контроля и управления. За человеком остаются главные функции управления.

Основным орудием исследования экономико-математических методов, техническим средством математического моделирования является ЭВМ. Использование ЭВМ в сфере управления производством имеет два направления: автоматизация управления технологическим процессом и руководство производственно-хозяйственной деятельностью предприятия.

АСУ технологическими процессами (АСУ ТП) – это система, обеспечивающая автоматическое управление технологическим процессом по заданным технико-экономическим критериям и представляющая собой совокупность методов оптимизированного управления (алгоритмов управления), комплекса аппаратуры управления (технического обеспечения системы) и оперативного персонала (операторов, диспетчеров и т.п.), непосредственно участвующего в процессе управления.

Кроме этого, производя централизованную обработку первичной информации, АСУТП использует ее не только для управления процессом, но и преобразует информацию в форму, необходимую для передачи на вышестоящие уровни управления.

В АСУТП информация с ОУ обрабатывается на ЭВМ, а затем в обработанном виде представляется диспетчеру или реализуется автоматическими устройствами.

АСУ предприятием (АСУП) помогают быстрее и лучше регулировать оборот материальных, финансовых и других ресурсов в процессе производственно-хозяйственной деятельности, осуществляет решение задач оперативно-производственного планирования, чтобы обеспечить ритмичную и бесперебойную работу предприятия.

АСУП и АСУТП являются составными частями (подсистемами) отраслевой АСУ (ОАСУ).

Кроме функциональной базы, в состав АСУ входят обеспечивающие подсистемы: информационная, техническая, математическая и организационная.

Информационная подсистема обеспечивает все структурные подразделения АСУ необходимой информацией в требуемые сроки и в удобное для использования форме (сбор, обработка, хранение и поиск информации).

Подсистема технического обеспечения АСУ – это комплекс технических средств, обеспечивающих реализации процесса сбора, формирования, передачи, обработки, хранения и воспроизведения информации. Это устройства: ВТ, связи с УО и с оперативным персоналом; получение и формирование информации о режимах технологических процессов, состоянии оборудования; локальной автоматики и исполнительные устройства.

Математическое обеспечение АСУ – это система алгоритмов и программ, с помощью которых осуществляется автоматизированная обработка информации. Алгоритмическое обеспечение включает в себя описание алгоритмов реализации отдельных функций и общего алгоритма функционирования АСУ. Программное обеспечение реализует алгоритмы функционирования и состоит из стандартных (эксплуатационных и операционных) программ обеспечения нормальной работы ВТ и прикладных программ для решения задач наиболее простым и удобным способом.

Организационное обеспечение определяет действия обслуживающего АСУ персонала. Включает в себя схемы и описания структур АСУ; комплект инструкций эксплуатационному персоналу, регламентирующих его работу; должностные инструкции; описания режимов работы технических устройств и т.п.

5.2 Принципы построения и задачи, решаемые АСУЭ

[1, с.327-343; 2, с.142-155]

Энергетическое хозяйство предприятия можно рассматривать как совокупность технологических процессов, объединенных общей задачей бесперебойного снабжения потребителей различными видами энергии необходимого качества, экономного расходования энергоресурсов и уменьшения потерь.

Системы диспетчерского управления (СОУ и АСДУ) энергохозяйством обеспечивают повышение оперативности управления и постоянный автоматический централизованный контроль за работой энергообъектов. Но решение только этих задач недостаточно для эффективного управления энергохозяйством современного предприятия.

При создании и использовании АСУЭ основное внимание переносится из области стабилизации основных энергетических параметров и автоматизации повторяющихся операций в область решения задач оптимального управления, т.е. автоматического выбора и реализации последовательности операций наилучшего варианта управления энергосистемой предприятия. Кроме этого, АСУЭ решает ряд задач по сбору и обработке информации для составления энергобалансов, расчета технико-экономических и плановых показателей, т.е. кроме решения типичных для АСУТП задач, АСУЭ выполняет некоторые функции АСУП.

АСУЭ является интегрированной или организационно-технологической АСУ, объединяющей решения административно-организационных вопросов (учет, планирование, оперативное управление) и управление технологическими процессами (автоматическое регулирование по оптимальному параметру, оптимизация технологического режима).

АСУЭ – иерархическая система, состоящая из ряда автономных подсистем, находящихся на разных уровнях иерархии и связанные между собой. Подсистема – часть системы, выделенная по определенному признаку, имеющая самостоятельную цель управления и задачи управления.

Расчленение системы на подсистемы называется декомпозицией. Подсистемы могут выделяться, например, по функциональному и организационному признакам.

5.2.1 Структурная схема АСУЭ, построенная по функциональному признаку

Система управляет всем комплексом энергохозяйства предприятия: электро-, водо-, газо-, теплоснабжением и др.

Основой декомпозиции АСУЭ по уровням иерархии служит временный критерий: чем быстрее должна быть реакция системы управления на возмущения в ОУ или на запросы по выдаче информации с ОУ, тем ниже уровень иерархии соответствующих функций АСУЭ.

Первый и второй базовые уровни АСУЭ занимают подсистемы 1 и 2 (рис.5.2). Основными задачами, решаемыми на этих уровнях, являются: РЗ и автоматика безопасности, различные блокировки и локальная технологическая автоматика (АВР, АПВ, АЧР); автоматическое регулирование отдельных параметров на объектах энергоснабжения (АРВ, РПН); местное измерение различных электрических параметров (ток, напряжение, частота) для обеспечения работы местных автоматических устройств и передачи измерений в другие подсистемы.



Рисунок 5.2 – Структурная схема АСУЭ

Для выполнения этих функций должна быть установлена соответствующая аппаратура и датчики с преобразователями измеряемых параметров, к которым предъявляются повышенные требования надежности работы, точности измерений.

Система диспетчерского управления

Система диспетчерского управления энергохозяйством в рамках АСУЭ является информационно-управляющей подсистемой (третий уровень иерархии). В ее функции входят постоянный автоматический контроль за системой, режимами работы оборудования и положениям коммутационных аппаратов, фиксация и анализ неисправностей в системе; осуществление оперативных переключений в нормальных и аварийных режимах; обработка первичной технологической информации с первых уровней иерархии, ее хранение и передача в другие подсистему АСУЭ; передача на ОУ управляющей информации с верхних уровней; расчет оперативных технико-экономических и эксплуатационных показателей технологического процесса и работы оборудования; диагностика и прогнозирование технологического процесса и состояния энергооборудования.

Основное оборудование этой подсистемы располагается на соответствующих ДП энергоснабжения.

Четвертый уровень АСУЭ занимает учетно-расчетная подсистема 4, в задачи которой входит составление балансов активной и реактивной мощностей по цехам и производству; анализ качества электроэнергии; определение 30-минутной нагрузки в часы максимума РЭС; автоматизированный коммерческий и технический учет электроэнергии, потребляемой предприятиями и подразделениями; расчет удельных расходов электроэнергии на единицу продукции; обработка и передача информации на другие уровни АСУЭ.

Для выполнения этих функций необходима интегральная информация и использование информационно-измерительных систем, осуществляющих суммирование и автоматическую регистрацию 30-минутной нагрузки.

В отличие от подсистем первого, второго и третьего уровней, учетно-расчетная подсистема является комплексной для всего энергохозяйства в целом, тогда как первые состоят из отдельных самостоятельных частей, соответствующих отдельным энергосистемам.

Пятый уровень АСУЭ – подсистема оптимального управления 5. Основной функцией этой подсистемы является обеспечение оптимизации технологических процессов в промышленных системах энергоснабжения. Для систем энергоснабжения эта подсистема решает следующие задачи: снижение потерь энергии в трансформаторах и линиях; определения и автоматическое поддержание оптимальных параметров качества электроэнергии; оптимизация распределения реактивных мощностей в электросети предприятия; выбор и автоматическое поддержание оптимальных режимов работы, синхронных машин и других источников реактивной мощности; определение и

автоматическое поддержание оптимальных условий питания предприятия от энергосистемы; выбор наиболее эффективного использования собственных источников электроснабжения.

Оптимальный режим электропотребления связан с оптимальным режимом электроснабжения, но и имеет свои особенности, связанные с тем, что оптимальным считается производственный процесс, при котором плановый выпуск заданной продукции обеспечивается при минимальных затратах энергии. Это обеспечивает снижение себестоимости продукции.

Кроме задач оптимизации на эту подсистему возлагается управление материально-техническим снабжением и ремонтным обслуживанием.

Технической основой АСУЭ является ЭВМ, выполняющие расчетные и информационные функции или работающие в управляющем режиме.

Оборудование 4 и 5 подсистем размещается в ЦДП энергоснабжения предприятия.

5.2.2 Структурная схема АСУЭ, построенная по организационному принципу

Рассмотрим структуру АСУЭ, построенную по организационному принципу. В ней каждая подсистема соответствует определенному административному уровню.

В этой АСУЭ решается весь комплекс перечисленных выше задач, но распределение этих задач по уровням системы отличается от предыдущей АСУЭ.

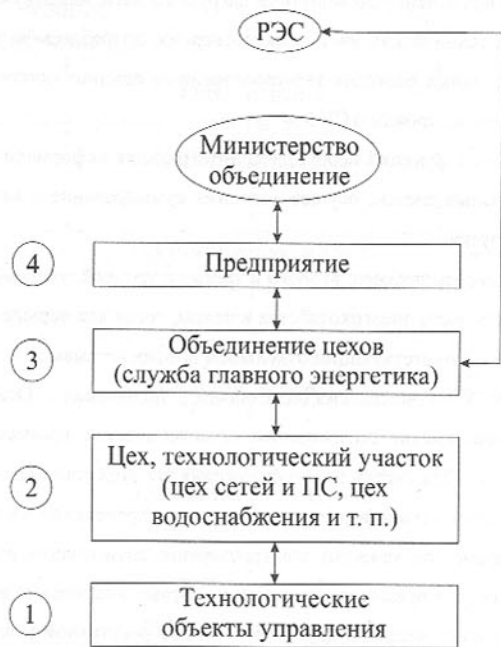


Рисунок 5.3 – Структура АСУЭ, построенная по организационному принципу

Первый уровень объединяет технологические объекты управления 1 (рис.5.3). На этом уровне предусматриваются РЗ и автоматика безопасности, устройства локальной автоматики, оптимизация работы агрегатов, АСУ ТП, постоянный контроль за состоянием и работой технологических объектов.

Вторым уровнем является цех или технологический участок 2 (применительно к энергохозяйству - цеха сетей и подстанций, водо-, газоснабжение, теплосилового цех и др.). На этом уровне осуществляется централизованное оперативное управление и контроль, обработка первичной технологической информации, цеховой учет и оперативное планирование, реализуются АСУ ТП.

Третий уровень иерархии представляет собой объединение цехов (служба главного энергетика). На нем производится контроль и управление работой отдельных энергоцехов, составление балансов энергоносителей, учет работы отдельных подразделений системы, оперативное планирование, предусматриваются элементы АСУП.

Четвертый верхний уровень – это предприятия в целом. Здесь осуществляется учет основных показателей работы энергохозяйства, оперативное и перспективное планирование, подготовка и выдача заданий цехам и другим подразделениям, АСУП.

Организационная структура построения АСУЭ имеет преимущества перед функциональной: появляется возможность последовательно разрабатывать и решать в полном объеме технические задачи, более четко выражены иерархия и потоки информации, упрощаются связи между подсистемами, АСУ ТП может реализовываться на первых уровнях (а в функциональной - только на 5). Во второй схеме каждая подсистема имеет четко выраженную временную характеристику: 1 уровень работает в темпе с процессом; 2 – в реальном масштабе времени и с дискретностью внутри смены; 3 - дискретный контроль (смена, сутки); 4 - дискретный контроль (месяц, квартал, год). Это позволяет рационально выбирать и использовать ВТ.

Возможно построение структуры АСУЭ по «процессорному» методу, когда выделение подсистем производится в соответствии с основными технологическими процессами контролируемой энергосистемы (например, для системы электроснабжения процессы производства, преобразования, распределения, потребления электроэнергии). В каждой подсистеме решаются все основные функциональные задачи АСУЭ (прогнозирование, планирование, учет, контроль, управление, регулирование, анализ и т.д.).

Можно классифицировать АСУЭ по режимам ее использования: непрерывного действия, периодического действия (по программе), с нерегулярным режимом работы (по мере необходимости). По уровню автоматизации АСУЭ делят на: полностью автоматические (человек только запускает систему и принимает готовые результаты) и полуавтоматические (человек – оператор выполняет ряд функций).

При проектировании АСУЭ следует иметь в виду, что информационно-управляющие подсистемы в качестве систем диспетчерского управления энергоснабжением могут работать уже на предприятии длительное время. Структура этих систем и объем информации могут быть различными. При разработке АСУЭ необходимо в максимальной степени использовать установленное ранее оборудование, если оно соответствует требованиям АСУЭ.

Для определения технико-экономической эффективности АСУЭ нужно учитывать капитальные вложения на проектирование, создание и освоение АСУ, расчетные годовые затраты на эксплуатацию и обслуживание, ожидаемый экономический эффект от внедрения АСУ, срок окупаемости капитальных вложений.

АСУЭ, как и любая АСУ ТП, является низовым уровнем АСУП, одной из ее структурных подсистем. В функцию АСУЭ как подсистемы АСУП входят сбор и первичная обработка технико-экономической и статистической информации, передаваемой в АСУП. АСУЭ получает от АСУП основные производственные задания и критерии их реализации, направляет в АСУП сведения о выполнении этих заданий и основных показателей функционирования энергохозяйства.

5.3 Автоматизированный учет электроэнергии

[2, с.129-133;4]

Для обеспечения рационального использования энергоресурсов на предприятии необходимо организовать учет и контроль расхода энергоресурсов и соответствующее регулирование энергопотребления. Автоматизация учета энергопотребления осуществляется в рамках АСДУ или АСУЭ и позволяет решать задачи:

- организации контроля установленных предприятию лимитов и норм расхода энергоносителей;
- оперативного управления процессами производства, преобразования, распределения и потребления энергии;
- составление и анализ отчетных энергобалансов предприятия в целом и отдельных его участков и цехов;
- разработка мероприятий по улучшению энергоиспользования;
- разработки и внедрения научно обоснованных норм расхода энергоресурсов;
- планирование учета и анализа энергетической составляющей себестоимости продукции;
- планирование и прогнозирование энергопотребления и максимальных нагрузок предприятия и его подразделений.

На предприятиях учет расхода энергоресурсов осуществлялся приборным или расчетным способом. Такие способы неоперативные, требуют многочисленного персонала, отличаются пониженной точностью, практически исключают возможность оперативного регулирования энерго-

потребления. Эффективное решение перечисленных задач возможно только при автоматизации учета и контроля энергоресурсов с помощью специальных технических средств.

Автоматизированным называется учет, при котором сбор, передача, обработка и воспроизведение измерительной информации осуществляется автоматически, а задания алгоритмов и программ выполнения этих операций, а также уставок и показателей, необходимых для их выполнения, производится человеком.

Согласно ПУЭ на промышленных электроустановках предусматривается расчетный и технический учет электроэнергии. Расчетный (коммерческий) учет электроэнергии предназначен для финансовых расчетов между энергоснабжающей организацией и потребителями электроэнергии и для контроля за соблюдением предприятием установленных ему лимитов, норм и режимов электропотребления. Расчетные счетчики устанавливаются на границе раздела сети между энергоснабжающей организацией и предприятием-потребителем.

Технический (контрольный) учет служит для контроля расхода электроэнергии внутри предприятия (отдельными его цехами, участками, агрегатами). Необходимость установки счетчиков технического учета зависит от объема электроэнергии, потребляемой отдельными подразделениями предприятия (минимальное потребление 300000 кВт ч/год).

Счетчики (индукционные со встроенными фотоэлектрическими преобразователями и электронные счетчики), используемые в системах автоматизированного учета, должны иметь электрический импульсный выход для связи с техническими средствами системы учета и шкалу местного отсчета. Цена импульса датчика-счетчика (кВт*ч) выбирается так, чтобы потеря одного импульса в течение часа при номинальных условиях работы не привела к погрешности измерения, нарушающей требуемую точность учета.

Системы автоматизированного расчетного учета должны удовлетворять требованиям действующих тарифов оплаты.

Согласно требованиям Главгосэнергонадзора, на предприятиях с присоединенной мощностью 750 кВА и более, протяженностью электросетей 1 км и более, восемь и более пунктов расчетного учета, автоматизированный учет электроэнергии должен предусматриваться в обязательном порядке.

В качестве технических средств в автоматизированных системах расчетного счета используются специализированные информационно-измерительные системы. В автоматизированных системах технического учета на крупных предприятиях с большим числом рассредоточенных пунктов измерения, сбор и передачу информации на ДП осуществляют с помощью средств ТМ, используемых в АСДУ, а обработку учетной информации – с помощью ЭВМ, на менее крупных предприятиях автоматизированный технический учет может выполняться с помощью информационно-измерительных систем расчетного учета:

- автоматизированные информационно-измерительные системы учета и контроля электроэнергии ИИСЭ 1-48, ИИСЭ 2, ИИСЭ 3;

- система автоматизированного учета электроэнергии и контроля режимов электропотребления САУКЭ –8-20;

- автоматизированная 32-канальная информационно-логическая система сбора, учета, контроля, прогнозирования и управления электропотреблением предприятий ИЛСЭ 1-32;

- информационно-управляющая система электропотребления ИУСЭ –1;

ИИСЭ 1-48: 48 каналов учета; расстояние 3 и 12 км; число учитываемых параметров –15.

ИИСЭ 2: телемеханическая передача информации (временное, частотное употребление информации); число каналов 96 и 192; ретрансляторы увеличивают на последующие 12 км; прогноз получасовой мощности.

ИИСЭ 3: построение локальных и многоуровневых ИИС.

САУКЭ –8-20: число КП –48; счетчиков-256; 30 ЛС (по 3 КП на 1 ЛС); телемеханический комплекс; время возможного превышения максимума.

ИЛСЭ 1-32: прогноз получасового максимума; автоматическая выдача управляющих сигналов на отключение и включение.

ИУСЭ –1: контроль и управление и не только электроэнергией.

6 ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ТЕЛЕМЕХАНИЗИРОВАННОГО ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕМ

6.1. Общие требования к проектной документации и порядок проектирования

[1, с.351-354; 2, с.270-272; 6, с.299-306]

Разработка технической документации – важнейший и ответственный этап внедрения системы управления энергохозяйством предприятия. Именно на этом этапе принимаются основные, принципиальные решения, определяющие назначение, функциональные возможности системы управления, ее технические характеристики, заложенные в проект решения, определяют технический уровень и экономическую эффективность системы управления.

Основные решения по автоматизации и телемеханизации системы энергоснабжения целесообразно принимать одновременно с проектированием технологического оборудования этой системы. Поэтому проектированию системы централизованного управления должно предшествовать изучение технологической схемы и оборудования системы энергоснабжения. С другой стороны, при проектировании технологических объектов СЭ необходимо принимать решения, позволяющие осуществлять их автоматизацию и телемеханизацию.

Автоматизация энергохозяйства включается, как правило, непосредственно в проекты электроснабжения (подстанций) или силового электрооборудования объектов других систем энергоснабжения (насосных, компрессорных и т.п.). Это объясняется тем, что аппаратура автоматики работает в общих схемах с аппаратурой управления и защиты и действие устройств автоматики ограничивается пределами объекта (например, АВР).

При проектировании телемеханизации и систем управления решаются общие вопросы для всех объектов контролируемой системы или нескольких СЭ предприятия. Поэтому вопросы ТМ и управления СЭ разрабатываются в виде отдельного проекта.

Порядок разработки и содержание технической документации для СОУ и АСОУ промышленным энергоснабжением определяются "Инструкцией о составе, порядке разработки, согласования и утверждения проектно-сметной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений" (СНиП 1.02.01 -85). Разработка АСУЭ регламентируется "Общепромышленными руководящими методическими материалами по созданию организационно-технологических АСУ" (ОРММ АСУ ОТ) и ГОСТ 4.601-86 и ГОСТ 4.602-86.

6.2. Стадии разработки и содержание технической документации СОУ и АСОУ

[1, с.354-385; 2, с.272-295]

Согласно СНиП 1.02.01-85 проектирование СОУ и АСОУ энергоснабжением осуществляется на основании технико-экономического обоснования (ТЭО) или другой пред проектной документации, заменяющей ТЭО.

Как правило, такие СУ разрабатываются в одну стадию – рабочий проект (РП) с выделением в нем утверждаемой части.

Для крупных промышленных предприятий, и в случае применения новой неосвоенной технологии или при разработке новых технологически сложных систем (каковыми могут являться телемеханизированные системы диспетчерского управления энергоснабжения) проектирование может осуществляться в две стадии – проект (П) и рабочая документация (Р).

В объем П включаются материалы, необходимые для обоснования проектных решений, определения технико-экономических показателей, сметной стоимости строительства и выполнения строительно-монтажных работ, принимаются все принципиальные технические решения, их обоснования и составляется смета финансирования строительно-монтажных и последующих проектных работ.

На стадии выполнения Р разрабатываются материалы, необходимые для заказа оборудования и выполнения монтажных работ. Р выполняется на основании утвержденной П.

При выполнении документации в одну стадию (РП) в него включаются все материалы, входящие в П и Р.

Проектирование производится на основании технического задания (ТЗ) на разработку диспетчерского управления и ряда исходных для проектирования. Предварительное ТЗ выдается заказчиком, которое может быть уточнено и доработано совместно технологами и телемеханиками.

К ТЗ в качестве исходных данных прикладываются:

- общая технологическая схема проектируемой СЭ предприятия с указанием существующих и проектируемых объектов (в виде упрощенной структурной схемы);
- упрощенные технологические схемы каждого объекта системы с указанием мощностей основных агрегатов и их характеристик (однолинейные схемы п/ст с указанием сборных шин и номинальных напряжений, мощностей трансформаторов и т.п.);
- генплан предприятия с указанием места расположения всех объектов СЭ и намечаемого места расположения ПУ (ДП).

Для выполнения Р добавляют строительные чертежи помещения ПУ.

Проектирование СОУ и АСДУ энергоснабжения производится в следующей последовательности:

- определяется структура диспетчерской службы энергоснабжения и ее место в общей системе управления предприятием;

- определяются функции структурных подразделений системы и задачи;

- определяется содержание и необходимый объем информации и структура потоков информации;

- проводится анализ и согласование с технологами уровня автоматизации КО, подлежащих ТМ;

- определяется состав и структура комплекса технических средств (КТС);

- определяется площадь и компоновка помещений для размещения диспетчерской службы и технических средств;

- разрабатываются задания на учет требований СОУ или АСДУ в смежных проектах;

- разрабатываются принципиальные электрические схемы ТУ, ТС, ТИ, питания оборудования ПУ, общей сигнализации на ПУ и ТП;

- разрабатываются задания заводам-изготовителям на технические средства;

- разрабатываются схемы подключений, кабельные журналы, чертеж и компоновки оборудования и прокладки кабелей;

- разрабатываются спецификации на оборудование и материалы для монтажа на ПУ и на КП.

В состав проекта телемеханизированного диспетчерского управления энергоснабжением входят следующие разделы:

1. Исходные данные и объем проекта (технические условия на проектирование, требования к объему телемеханизации);
2. Краткая характеристика проектируемых систем энергоснабжения (упрощенные технологические схемы систем, краткое описание их работы);
3. Задачи, структура и организация диспетчерского управления (функции структурных подразделений СУ, организация и количественный состав диспетчерской службы);
4. Определение объема и содержания передаваемой информации (обоснование объема ТМ каждой системы энергоснабжения, который указывается в специальных таблицах и на упрощенных структурных схемах телемеханизируемых объектов);
5. Определение состава и структуры КТС СУ и способа обработки и воспроизведения информации на ПУ (описание выбранных средств ТМ и диспетчеризации, структурная схема КТС, выбираются диспетчерский щит и пульт, расположение и назначение дисплеев);
6. Выбор места расположения ПУ и задание на КС (выдача задания на проектирование КС для ТМ в виде схемы диспетчерских связей с указанием ДП и Кпов, количества объектов ТУ, ТС, ТИ и ТР на каждом КП);

7. Компоновка оборудования на ПУ (план и разрезы помещений ПУ с расположенным оборудованием);

8. Техничко-экономические показатели (их анализ и вывод о целесообразности ТМ);

9. Спецификация и сметы (ведомость комплектного оборудования для ПУ и для КП, материалы и кабельные изделия, сметы отдельно для ПУ и КП).

Техническая документация состоит из двух разделов: ПУ и Кпов.

Рабочая документация ТМ вновь проектируемых КПов целесообразно включать в комплексный проект электрической части объектов КП.

Рабочая документация электрооборудования ПУ выполняется отдельно и с технической документацией по диспетчеризации и телемеханизации включает вопросы электропитания, освещения, кабельной канализации и т.п.

Рабочая документация ПУ содержит материалы для заказа и изготовления оборудования ПУ и выполнения монтажных и наладочных работ. В ее состав входят:

- краткая ПЗ с перечнем изменений и дополнений к проекту;
- уточненная технологическая схема СЭ и упрощенные технологические схемы КП с указанием объема ТМ;
- уточненная структурная схема КТС и схема диспетчерской связи;
- принципиальные схемы объектов ТУ, ТС, и ТИ, схемы общей сигнализации и электропитания оборудования ПУ;
- схемы подключения всех устройств оборудования ПУ;
- чертежи компоновки оборудования и строительные задания для помещения ПУ;

К рабочей документации прикладываются ведомости комплектных устройств и спецификации на оборудование ПУ и кабельные изделия.

В рабочей документации ТМ-ции КП разрабатывается аналогичная проектная документация и, кроме того:

- принципиальные схемы местной сигнализации;
- схемы присоединения объектов ТМ-ции к комплектам КП ТМ устройств;
- компоновочные и установочные чертежи ТМ оборудования на КП;
- схемы подключения объектов ТМ-ции.

В таблице 6.3 приведены условные обозначения устройств телемеханики на технологических схемах.

Таблица 6.3 – Условные изображения объема телемеханизации на технологических схемах

Наименование	Обозначение	
	Телемеханическая передача	Дистанционная передача
1	2	3
Управление двухпозиционное		
Управление двухпозиционное масляным выключателем для упрощенных схем подстанций		
Регулирование ступенчатое - обозначающее		
Регулирование четырехступенчатое (пример)		
Регулирование плавное - общее обозначение		
Регулирование плавное расхода (пример)		
Сигнализация общая и индивидуальная - общее обозначение		
Сигнализация положения		
Сигнализация положения масляного выключателя для упрощенных схем подстанций		
Сигнализация аварийная (пример)		
Сигнализация нижнего предела - общее обозначение		
Сигнализация нижнего предела давления (пример)		
Сигнализация верхнего предела - общее обозначение		
Сигнализация верхнего предела температуры (пример)		

1	2	3
Измерение постоянное – общее обозначение		
Измерение постоянное расхода (пример)		
Измерение по вызову или циклическое по выбору – общее обозначение		
Измерение по вызову на- пряжения (пример)		
Измерение интегральное		
Измерение суммарное (суммирование текущих значе- ний измерений)		

7 АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕЛЕМЕХАНИЗИРУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

7.1. Общие положения [1,с.219-222; 2,с.335-337]

Телемеханизация энергохозяйства предприятия должна сочетаться с автоматизацией входящих в него объектов. Это обеспечивает нормальную и надежную работу электрооборудования без постоянного дежурства персонала. Таким образом, принципы автоматического управления системами энергоснабжения охватывают средства повышения надежности и экономичности работы систем.

Основная задача при этом - создание многоуровневой иерархической структуры автоматического управления. На нижних уровнях используют локальные устройства (АВР, АПВ и др.), аналоговые устройства управления и малые ЭВМ. На более высоких уровнях - управляющие ЭВМ, координирующие действия локальных устройств путем изменения их уставок.

Для повышения надежности питания электроэнергией промышленного предприятия, его цехов и установок в телемеханизируемой системе электроснабжения используют следующие виды автоматики:

- автоматическое повторное включение (АПВ);
- автоматическое включение резервного питания и оборудования (АВР);
- автоматическое регулирование возбуждения (АРВ), напряжения и реактивной мощности;
- автоматическое регулирование частоты и активной мощности (АЧРМ);
- автоматическое ограничение снижения частоты;
- автоматическое предотвращение перегрузки оборудования;
- самозапуск электродвигателей.

7.2. Автоматическое повторное включение [1,с.222-230; 2,с.337-345]

Предназначено для быстрого восстановления питания потребителей путем автоматического включения выключателей, отключенных устройством РЗ.

Сущность АПВ в том, что отключенный под действием РЗ элемент системы электроснабжения, вновь включается под напряжение, и если причина, вызвавшая отключение элемента, исчезла, то элемент остается в работе, и потребитель получает питание практически без перерыва. Стоимость устройства АПВ незначительна по сравнению с ущербом производства из-за перерыва в электроснабжении.

АПВ предусматривают на ЛЭП всех типов напряжений выше 1 кВ; на шинах электростанций и п/ст; на одиночных понижающих трансформаторах мощностью более 1 МВА, с выключателем и МТЗ на питающей стороне; на ответственных электродвигателях, отключаемых для обеспечения самозапуска других электродвигателей.

Устройства АПВ должны удовлетворять основным требованиям:

- не должны действовать при: отключении выключателя персоналом вручную, дистанционно или при помощи ТУ; автоматическом отключении выключателя защитой непосредственно после включения его персоналом; отключении выключателя защитой от внутренних повреждений трансформаторов и вращающихся машин, устройствами противоаварийной автоматики;

- должны быть выполнены так, чтобы исключить возможность многократного включения на КЗ при любой неисправности в схеме устройства;

- для надежного включения выключателя должен быть обеспечен достаточно длительный включающий импульс, подающийся только после возвращения механизмов привода выключателя в положение готовности к действию на включение, а также после возврата РЗ для схемы с пуском от защиты;

- применением АПВ должно быть предусмотрено ускорение действия защиты на случай неуспешного АПВ.

Ускорение защиты до АПВ сокращает до минимума время протекания тока КЗ, уменьшая его воздействие и увеличивая возможность успешного АПВ. При этом выдержка времени МТЗ выводится из действия и первое отключение выключателя производится мгновенно. Второе отключение выключателя после неуспешного АПВ выполняется избирательно, с автоматически введенной к этому моменту выдержкой времени.

Ускорение защиты после АПВ применяют на участках сети с несколькими ступенями избирательной защиты, т.к. вывод выдержки времени может привести к ложному срабатыванию защиты. Отключение выключателя после неуспешного АПВ выполняется мгновенно, для чего к этому моменту выдержка времени выводится из действия.

АПВ трансформаторов обязательно для на односторонних п/ст с односторонним питанием. На двухтрансформаторных п/ст с односторонним питанием АПВ устанавливается если отключение одного трансформатора вызывает перегрузку другого и часть потребителей при этом должно отключиться. Для ТП 35/6-10 кВ АПВ шин низкого напряжения должно действовать от МТЗ трансформатора и иметь блокировку запрещения АПВ при отключении трансформатора с дифференциальной или газовой защит.

АПВ электродвигателей до 1 кВ и выше предусматривается при кратковременных нарушениях электроснабжения, когда для обеспечения самозапуска наиболее ответственных электродвигателей приходится отключать кроме неответственных также часть ответственных электродвигателей. АПВ с выдержкой времени обеспечивает самозапуск ответственных электродвигателей. Пуск осуществляется от несоответствия положения ключа управления и положения выключателя (при подключении к шинам п/ст кроме асинхронных еще и синхронных двигателей). Кроме этого

может быть пуск АПВ от реле напряжения, от реле частоты, по истечении выдержки времени на самозапуск не отключившихся двигателей.

Устройства трехфазного АПВ необходимо выполнять с пуском от несоответствия между ранее поданной оперативной командой и отключенным положением выключателя. ТАПВ двукратного действия применяют для воздушных ЛЭП, особенно для одиночных с односторонним питанием, не имеющих резервирования по сети.

7.3. Автоматическое включение резервного питания [1, с.230-234; с.345-353]

Предназначено для восстановления питания потребителей путем автоматического присоединения резервного источника питания (ИП) при отключении рабочего ИП, приводящем к обесточиванию электроустановок потребителей. Кроме того, АВР предназначено для автоматического включения резервного оборудования при отключении рабочего оборудования, приводящем к нарушению технологического процесса.

Устройства АВР предусматривают на питающих ЛЭП, силовых трансформаторах, генераторах электростанций предприятия, секционных и шиносоединительных выключателях, электродвигателях и т.п.

Устройство АВР состоит из релейного или механического пускового органа и узла автоматики включения. В качестве пускового органа может быть использована защита минимального напряжения мгновенного действия или с выдержкой времени, исключающий срабатывание АВР при посадках напряжения из-за КЗ на отходящих линиях п/ст. Узел автоматики включения обеспечивает включение резервного ИП при получении от пускового органа импульса после прекращения питания от рабочего ИП.

АВР предусматривается в случаях, когда ущерб от перерыва в электроснабжении превышает стоимость установки АВР. Устройства АВР должны удовлетворять следующим требованиям:

- возможность действия при исчезновении напряжения на резервируемом элементе, вызванном любой причиной, в т.ч. и КЗ на нем;

- однократность действия и включение выключателя резервного ИП без дополнительной выдержки времени;

- исключение ложных срабатываний пускового органа защиты минимального напряжения при перегорании одного из предохранителей трансформатора напряжения;

- автоматическую перегрузку при действии АВР в случае недостаточной мощности резервного ИП или по условиям самозапуска электродвигателей (отключение неответственных потребителей);

- контроль целостности цепей включения выключателей, на которые действуют устройства АВР;

- ускорение действия РЗ секционного выключателя при работе на него устройств АВР;
 - устройства АВР не должно действовать при КЗ на отходящих линиях резервируемого участка. Для этого в пусковой орган АВР вводится дополнительная выдержка времени на одну ступень больше выдержки времени от КЗ или предусматривается специальная блокировка.

Время действия АВР определяется условиями самозапуска электродвигателей и времени срабатывания РЗ от КЗ на отходящих линиях. Если при использовании пуска АВР по напряжению время его действия недопустимо велико (при наличии синхронных электродвигателей кратковременно поддерживающих напряжение на шинах) применяют в дополнение пусковые органы других типов (исчезновение тока, снижение частоты, изменение направления мощности).

Устройство АВР в сетях напряжением до 1000 В выполняется при помощи автоматов с дистанционным приводом или при помощи контакторов.

7.4. Автоматическое включение и отключение компенсирующих устройств

[1, с.236-237; 2, с.353-356]

Из-за неравномерных графиков активной и реактивной нагрузок, на многих предприятиях изменяется потребность в реактивной энергии, вырабатываемой компенсирующими устройствами. Для обеспечения экономической работы конденсаторных установок (КУ) применяют автоматическое регулирование мощности конденсаторных батарей (КБ).

Регулирование может быть одноступенчатым и многоступенчатым. При одноступенчатом регулировании уменьшение нагрузки вызывает автоматическое отключение всей КУ. При многоступенчатом регулировании происходит автоматическое включение или отключение отдельных КБ или секций, снабженных своими выключателями.

Для регулирования реактивной мощности используется также регулирование возбуждения синхронных машин.

Автоматическое регулирование КБ может осуществляться в функции напряжения, тока нагрузки, времени суток, направлении реактивной мощности и по комбинированным схемам.

Регулирование в зависимости от напряжения используют в случаях, когда КУ наряду с основной функцией используются и для регулирования напряжения. Автоматическое управление при этом производится при помощи реле максимального и минимального напряжения с выдержкой времени (около 15 с) во избежание ложных переключений при кратковременных изменениях напряжения.

При изменении нагрузок в течение суток на предприятии, регулирование мощности КБ может осуществляться по току нагрузки при помощи токовых реле, которые должны иметь высокий коэффициент возврата.

Если изменение нагрузки происходит в строго определенное время (в ночное время), автоматическое управление производится в функции времени.

В сетях со специфическими нагрузками (нелинейными, несимметричными, резко переменными) кроме КБ и СД применяют симметрирующие и фальтросимметрирующие устройства, устройства динамической и статистической КРМ прямого и косвенного действия с быстродействующими системами управления и специальные быстродействующие синхронные компенсаторы.

7.5. Автоматическая частотная разгрузка (АЧР)

[2, с.357-359]

Отклонение частоты в нормальных режимах от $f_{ном}=50$ Гц не должно превышать $\Delta f = \pm 0.2$ Гц (нормально допустимое значение) и ± 0.4 (максимально допустимое значение).

Регулирование частоты возможно только при наличии в энергосистеме резерва активной мощности. При возникновении дефицита мощности в системе происходит снижение частоты тока, вырабатываемого генераторами. Если нет возможности увеличить мощность вырабатываемой энергии часто, потребителей на некоторое время должна быть отключена. Это отключение производится устройствами АЧР.

В СЭС предприятий, присоединенных к ЭС, АЧР применяется только по указанию ЭС. На промышленных предприятиях устройства АЧР, как правило, действуют на отключение отдельных линий, отходящих от шин ГПП или ЦРП предприятия. Линии, в зависимости от категории надежности электроснабжения делятся на группы по очередности их отключения.

Схемы АЧР выполняются с использованием реле снижения частоты. Недостатком этого реле является свойство кратковременно замыкать свои контакты при резких колебаниях напряжения. Во избежание неправильных отключений предусматривается выдержка времени устройств АЧР не более 0.5с.

На п/ст без дежурного персонала и ТУ необходимо применять АПВ потребителей при восстановлении частоты – частотные АПВ (ЧАПВ). Очередность включения нагрузки от ЧАПВ обратна отношению к принятой для АЧВ. ЧАПВ применяют и в сетях, где возможно кратковременное снижение частоты при КЗ. Действие АЧР должно согласовываться с работой устройств АПВ и АВР.

Используется, кроме АЧР, и автоматическая разгрузка по току (АРТ) в случаях, когда при нарушении питания на одной линии или трансформаторе их нагрузка переключается на другую линию или трансформатор, пропускная способность которых не рассчитана на суммарную нагрузку. В качестве контрольного органа используют токовые реле с зависимой характеристикой или мгновенного действия с реле времени. Эти реле должны быть отстроены (по времени) от сквозных токов КЗ, пусковых токов и токов самозапуска.

7.6. Автоматизация при самозапуске электродвигателей

Самозапуском называют автоматическое восстановление работы электродвигателей (ЭД) после кратковременного нарушения электроснабжения (перерыве питания или посадки напряжения при КЗ). При этом ЭД не отключается защитой минимального напряжения, а остается подключенным к питающим шинам и при восстановлении напряжения начинает вновь разворачиваться с промежуточной частотой. Отсутствие самозапуска вызывает массовое отключение ЭД и ущерб производству.

Самозапуск отличается от обычного пуска следующим:

- одновременно пускается группа ЭД;
- самозапуск происходит под нагрузкой;
- в момент начала самозапуска (при восстановлении напряжения) ЭД уже вращаются с некоторой скоростью.

Самозапуск будет успешным, если при пониженном напряжении избыточный момент ЭД достаточен для разворота механизмов до номинальной скорости, а нагрев обмоток его за это время не превышает допустимых пределов. Проверка возможности самозапуска производится в следующем порядке:

- по техническим характеристикам ЭД и приводного механизма определяется скорость, до которой затормозится агрегат за время перерыва питания;
- по характеристикам питающей системы и нагрузки на шинах определяется величина остаточного напряжения в момент начала самозапуска U_0 ;
- по U_0 определяется асинхронный вращающий момент M_v , который сравнивается с моментом M_c при скольжении в момент самозапуска. Если $M_v/M_c > 110\%$, то асинхронный ЭД самозапустится. Для синхронного ЭД определяется M_v при скольжении $S=0.05$ и сравнивается с M_c при том же S . Если $M_v/M_c > 120\%$, то этого достаточно для создания ускорения, способного довести ротор ЭД до синхронной частоты вращения. Если условие не выполняется, то осуществляют форсировку возбуждения, ресинхронизацию, разгрузку ЭД по мощности.

Схемы электроснабжения разрабатываются с учетом создания условий для самозапуска ЭД. Для этого РУ секционируют, уменьшая общую мощность ЭД, участвующих в самозапуске. Устройства АВР и выбор РЗ должны увязываться с самозапуском. При невозможности самозапуска предусматривается отключение части нагрузки. Наиболее благоприятные условия для самозапуска:

- минимальное время отключения при КЗ (иногда допускается неселективное действие защиты);
- уменьшение времени АПВ и АВР (до 0.5 с);

- защита минимального напряжения для ЭД, участвующих в самозапуске, должна иметь выдержку времени 2-5 с. Для остальных ЭД – 0.5 с.

МТЗ отстраивают от перегрузок, возникающих при самозапуске.

Целесообразно применять групповые устройства самозапуска ЭД всей технологической установки.

Если суммарная мощность ответственных ЭД превышает допустимую по самозапуску, применяют ступенчатый самозапуск.

Подписано к печати 24.05.2004. Формат 60x84 1/16.
Усл. печ. л. 6. Печать лазерная. Заказ № 4606. Тираж 100 экз.

**Отпечатано в типографии ООО «Норд Компьютер»
на цифровых лазерных издательских комплексах
Rank Xerox DocuTech 135 и DocuColor 2060.
Адрес: г. Донецк, б. Пушкина, 23. Телефон: (062) 337-43-06.**