

621.371

МЭЭ

К.Г. Митюшкин

ТЕЛЕКОНТРОЛЬ и телеуправление В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ



К.Г. Митюшкин

**ТЕЛЕКОНТРОЛЬ
и телеуправление
В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ**



МОСКВА ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ 1990

ББК 31.27-05

М 67

УДК 621.311.1:621.398

Рецензент доктор техн. наук Н. Д. Сухопрудский

Митюшкин К. Г.

М 67 Телеконтроль и телеуправление в энергосистемах. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 288 с.: ил.
ISBN 5-283-01087-2

Рассмотрены теоретические основы телемеханики, принципы построения и функционирования современных телеинформационно-управляющих комплексов и их применение на всех уровнях диспетчерского управления энергосистемами. Особое внимание уделено развитию новых микропроцессорных систем телемеханики в автоматизированных системах управления, базирующихся на применении микро- и мини-ЭВМ.

Для инженерно-технических и научных работников, занимающихся разработкой, проектированием и эксплуатацией информационно-управляющих систем в энергетике, может быть полезна студентам вузов.

М $\frac{2202080000-585}{051(01)-90}$ 101-90

ББК 31.27-05

ISBN 5-283-01087-2

© Автор, 1990

ПРЕДИСЛОВИЕ

Телемеханика в энергетике является быстро развивающейся отраслью техники сбора, передачи, обработки и отображения информации, необходимой для оперативного централизованного контроля процесса производства и распределения электроэнергии. К настоящему времени произошли существенные изменения как в технических средствах, так и в методах передачи телемеханической информации. Завершено формирование автоматизированных систем диспетчерского управления (АСДУ) на высших уровнях диспетчерского управления (ЦДУ Единой энергосистемы СССР, ОДУ объединенных энергосистем, а также большинство районных энергетических управлений страны). Оперативно-информационные комплексы (ОИК) АСДУ базируются на средствах вычислительной техники с использованием современных систем обработки и представления оперативной информации на цифробуквенных и графических цветных дисплеях. Для передачи оперативной информации между диспетчерскими пунктами различного ранга управления широко используются микроЭВМ, которые наряду с традиционными видами телемеханической информации (ТИ, ТС, ТУ и т. п.) передают также цифро-буквенную информацию для межуровневого межмашинного обмена информацией при оперативных расчетах режимов энергосистем, для систем автоматического регулирования, противоаварийной автоматики, управления сверхдальними линиями электропередачи, в том числе линиями постоянного тока, и т. д.

В крупнейших диспетчерских центрах управления энергосистемами формируются оперативно-информационные управляющие комплексы (ОИУК) АСДУ на базе локальных вычислительных сетей с распределением задач между персональными компьютерами, микро- и мини-ЭВМ с использованием общей распределенной между различными уровнями управления базы данных.

Изменились также методы передачи информации для управления энергосистемами. На смену циклическим методам передачи приходят адаптивные методы со сжатием данных, позволяющие повысить точность и быстродействие передачи сигналов по каналам связи и эффективность использования ЭВМ, обрабатывающих телеинформацию. В связи с широким использованием микропроцессорных элементов и микроЭВМ в системах передачи и обработки данных существенно

изменились принципы их разработки, проектирования и эксплуатации. Переход от жесткосхемной логики, характерной для построения систем телемеханики предшествующих поколений, к программируемой логике микропроцессорных элементов требует от разработчиков, проектировщиков, наладчиков и эксплуатационного персонала в энергосистемах знания принципов архитектуры микроЭВМ и основ их программного обеспечения. Разработаны и начинают осваиваться промышленностью и эксплуатацией первые отечественные микропроцессорные телекомплексы (ГРАНИТ, АИСТ, УВТК-120 и др.). Следует отметить, что отечественная промышленность крайне медленно разворачивает производство и освоение микропроцессорных систем телемеханики и существенно отстает от передовых зарубежных стран (США, ФРГ, Франции и др.). Ввиду отсутствия отечественных специализированных микропроцессорных систем телемеханики в энергосистемах Советского Союза начали широко применяться универсальные микроЭВМ фирмы ВИДЕОТОН (ВНР), оборудованные специально разработанными телемеханическими канальными адаптерами, позволяющими использовать их в качестве центральных приемо-передающих станций (ЦППС) в системах передачи оперативных данных (СПОД). Дальнейшее развитие получили системы телемеханики для управления распределительными сетями 6–10 кВ, особенно сельскохозяйственного назначения. Начат промышленный выпуск телемеханических комплексов этого назначения на заводе "Электропульт" Минэлектротехпрома СССР.

Готовятся новые международные стандарты и рекомендации по системам телемеханики в рамках технического комитета ТК-57 МЭК.

Перечисленные выше вопросы разработки и применения новых систем телемеханики для телеконтроля и телеуправления в энергетике нашли отражение в предлагаемой книге.

Автор выражает искреннюю благодарность рецензенту доктору техн. наук, проф. Н. Д. Сухопрудскому за ценные замечания, сделанные им при чтении рукописи, а также научным сотрудникам лаборатории телемеханики и информатики ВНИИЭ А. Л. Вулису и Т. Е. Георгиевской за ценные советы при ее написании.

Все замечания и пожелания следует направлять по адресу: 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10, Энергоатомиздат.

Автор

ВВЕДЕНИЕ

В.1. ТЕРМИНОЛОГИЯ

Телемеханика — отрасль техники и техническая наука об управлении и контроле на расстоянии посредством преобразования управляющих воздействий и контролируемых параметров в сигналы, передаваемые по каналам связи. [1].

Телемеханика изучает проблемы, связанные с управлением объектами, удаленными от центра управления на значительные расстояния. Управление и контроль состояния удаленных объектов осуществляются из центра управления по протяженным каналам связи. Именно поэтому термин "телемеханика" включает слово "теле", что означает даль, удаленность (ср. "телевидение", "телефония", "телеграфия" и пр.). Слово "механика" (греч. *mechanike*) означает мастерство, умение, управление. В современном русском языке понятие "механика" однозначно предполагает механические перемещения предметов. На ранних стадиях развития телемеханика действительно была связана исключительно с механическим воздействием на объекты управления и контроля (включение на расстоянии электромеханических реле, контакторов, управление показаниями стрелочных измерительных приборов и т. п.). Однако с развитием электронной техники и особенно с введением в контуры управления и контроля ЭВМ термин "телемеханика" в его первоначальном смысле стал достаточно условным.

Международный электротехнический словарь использует в английском тексте обобщающий термин TELECONTROL, который удачно объединяет понятия "управление" на расстоянии и "контроль" независимо от характера воздействия на объект (механического, электронного или другого). В русском языке этому термину наиболее соответствует термин "телеуправление". Однако в отечественной литературе этот термин традиционно применяется лишь в отношении функции передачи команд (приказов) и не охватывает задачи наблюдения (контроля) за управляемым процессом. Поэтому в настоящем издании обобщающий термин TELECONTROL заменяется словосочетанием "телеуправление и телеконтроль", либо применяется тра-

диционный термин "телемеханика", если иметь в виду его условность в упомянутом выше смысле.

Согласно ГОСТ 26.005-82 термин "телемеханика" включает в себя более частные понятия, связанные с функциями телемеханических систем: телеизмерение (ТИ), телесигнализация (ТС), телеуправление (ТУ), телерегулирование (ТР) и т. п.

Термин "телеконтроль" объединяет функции ТИ, ТС, а также любые другие функции НАБЛЮДЕНИЯ состояния управляемого (контролируемого) процесса на расстоянии.

В последнее время в зарубежной литературе, особенно американской, появился сокращенный термин, удачно объединяющий функции телемеханических устройств в системах управления: SCADA (Supervisory Control and data acquisition), что в дословном переводе означает "управление на расстоянии и сбор данных". По существу системы телемеханики в АСДУ энергосистем выполняют функции систем, имеющих на западе SCADA.

В.2. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ТЕЛЕМЕХАНИКИ И ИХ ОСОБЕННОСТИ

Централизация управления. Телемеханика изучает и разрабатывает методы и средства технического и программного обеспечения централизованного управления и контроля производственными процессами сложных производственных комплексов, содержащих многочисленные территориально разобщенные, но связанные единым технологическим процессом объекты.

Эффективное управление такими сложными производствами возможно лишь из управляющих центров (пунктов управления – ПУ), куда должна поступать необходимая контрольная информация от всех объектов, участвующих в едином процессе производства. В результате обработки этой информации ПУ вырабатывают команды управления контролируемым процессом, учитывающие текущее состояние всех контролируемых объектов.

Процесс производства электроэнергии на электростанциях (тепловых, гидроэлектрических, атомных и др.) и распределения ее между потребителями, связанными с электрическими подстанциями высоковольтными линиями электропередачи, является классическим примером сложных технологических процессов, требующих применения телемеханических методов и средств централизованного управления и контроля.

Режим реального времени. Особенностью работы телемеханических систем является обеспечение управления и контроля в режиме реального времени. Контрольная и командная информация, доставляемая в центры и на объекты управления, должна поступать в темпе текущего управляемого технологического процесса. Это озна-

чает, что система телемеханики должна вносить минимальное запаздывание при передаче информации и управляющих воздействий. Обеспечением режима реального времени телемеханические системы отличаются от остальных систем передачи информации, таких, например, как системы передачи данных (АПД), телетайп, телеграф и т. п. В зависимости от скорости протекания контролируемых процессов допустимые запаздывания передачи информации, обеспечивающие режим реального времени, различны. Так, для систем автоматического регулирования частоты и активной мощности в энергосистемах запаздывание управляющих воздействий не должно быть больше 1 с, для систем телеуправления выключателями мощности — несколько секунд, для систем телеотключения — несколько десятков миллисекунд и т. д.

Высокая надежность и достоверность доставки информации. Системы телемеханики должны обеспечивать высокую надежность доставки информации и ее достоверность, поскольку ущерб от передачи неправильных команд или других оперативных сообщений и задержка в передаче этих сообщений могут привести к большим экономическим потерям, а в отдельных случаях — и к гибели людей, причем требуемая надежность доставки информации и ее достоверность должны обеспечиваться в условиях повышенных уровней помех, характерных для специальных каналов связи, используемых в энергетике (высокочастотная связь по высоковольтным линиям электропередачи, каналы тональной частоты по распределительным электрическим сетям, радиосвязь в условиях сильного влияния линий электропередачи и т. п.). Для этой цели в телемеханических системах широко используются различные методы помехозащищенного кодирования сообщений, обеспечивающие заданную вероятность необнаруживаемых ошибок, дублирование (резервирование) каналов связи и т. д.

Эффективное использование каналов связи. Каналы связи являются наиболее дорогостоящей составляющей системы передачи информации. Поэтому наряду с передачей телемеханической информации они используются для телефонной, телеграфной и других видов связи. В телефонных каналах частотная полоса каналов телемеханики обычно ограничена надтональным или подтональным диапазоном, вследствие чего скорость передачи телемеханической информации обычно не превышает 200 бит/с.

В этих условиях особенно важно обеспечить высокую эффективность телепередачи данных, которая характеризуется отношением числа правильно переданных бит информации к общему числу передаваемых бит в сообщении в единицу времени.

Использование каналов связи с ограниченной частотной полосой пропускания в условиях сильных помех требует применения методов сжатия данных, предотвращающих занятие канала неэффективной повторяющейся информацией.

Обеспечение "наблюдаемости" контролируемого процесса и опера-

тивности управления. Система телемеханики должна обеспечивать передачу в центр управления достоверной информации из стратегически важных пунктов энергосистем о реальном текущем состоянии процесса и выдавать диспетчеру эти данные в таком виде, чтобы он был в состоянии быстро и точно реагировать на отклонения режима от нормы. Обеспечение максимальной оперативности при ликвидации аварий в энергосистеме является одной из важнейших задач системы телемеханики.

Первичная обработка информации. Современные системы телемеханики, использующие встроенные микроЭВМ и микропроцессорную технику, решают задачу первичной обработки информации. Имеется в виду обработка информации как "на местах" с целью ее "сжатия" перед передачей по каналу связи, так и в центрах управления при вводе в ЭВМ. Тем самым решается задача повышения эффективности использования каналов связи и ЭВМ оперативно-информационных комплексов АСДУ. На нижних уровнях диспетчерского управления, где специальные мини- или микроЭВМ, как правило, не устанавливаются, микропроцессорные системы телемеханики должны выполнять определенный набор функций по обработке информации для местных ОИК.

Самоконтроль, ремонтпригодность, расширяемость и совместимость. Эксплуатация средств телемеханики в энергосистемах представляет весьма сложную и трудоемкую задачу для обслуживающего персонала, особенно с учетом того, что информационные объемы и функции систем телемеханики непрерывно возрастают. Поэтому первостепенное значение приобретают такие характеристики систем, как самоконтроль устройств с автоматической сигнализацией и локализацией неисправностей, ремонтпригодность отдельных плат и блоков.

Система ТМ также должна допускать относительно несложную перестройку при расширении информационного объема и обеспечивать совместимость с существующими системами ТМ, ЭВМ ОИК и аппаратурой каналов связи, находящимися в эксплуатации (желательно программным путем, без изменения электронных блоков устройств).

Условия окружающей среды. Условия окружающей среды, в которых эксплуатируются устройства ТМ (УТМ), могут быть весьма разнообразными: от помещений с кондиционированным воздухом и постоянным обслуживанием до установки на необслуживаемых объектах и открытом воздухе. Надежная работа устройств телемеханики в столь широком диапазоне внешних условий гарантируется различными исполнениями УТМ — классами, ограничивающими их применение конкретными условиями эксплуатации. По многообразию классов, допускающих использование УТМ в различных условиях окружающей среды, системы телемеханики родственны системам релейной защиты и автоматики, что существенно отличает их от средств универсальных ЭВМ.

В.3. ФУНКЦИИ СИСТЕМ ТЕЛЕМЕХАНИКИ

Как и для любой сложной системы передачи данных, функции систем телемеханики подразделяются на несколько определенных уровней, каждый из которых по существу не зависит от выше и ниже расположенных уровней. Ниже расположенный уровень выполняет обслуживающие функции, выше расположенный является главным, с которым данный уровень обменивается информацией и сообщает об ошибках. Обычно каждый функциональный уровень связан с соответствующим уровнем на другой стороне канала связи. На рис. В.1 представлены уровневые структуры моделей системы передачи информации об-

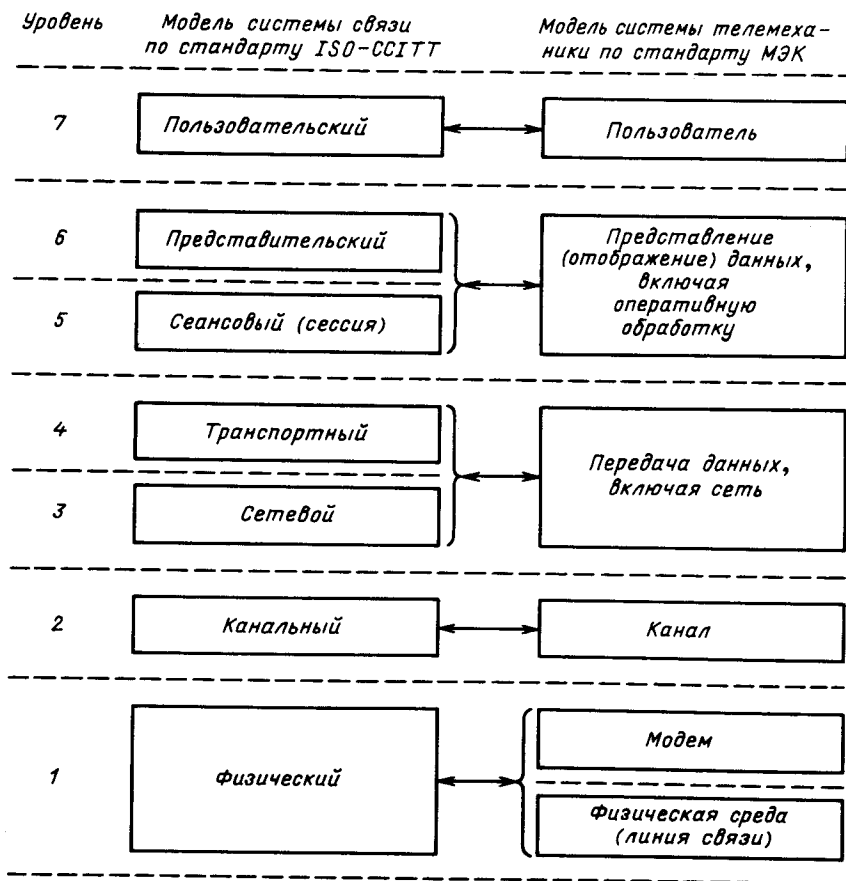


Рис. В.1. Сравнение уровневых структур моделей общей системы связи (по ISO-CCITT) и системы телемеханики по стандарту МЭК (для конфигурации "точка-точка")

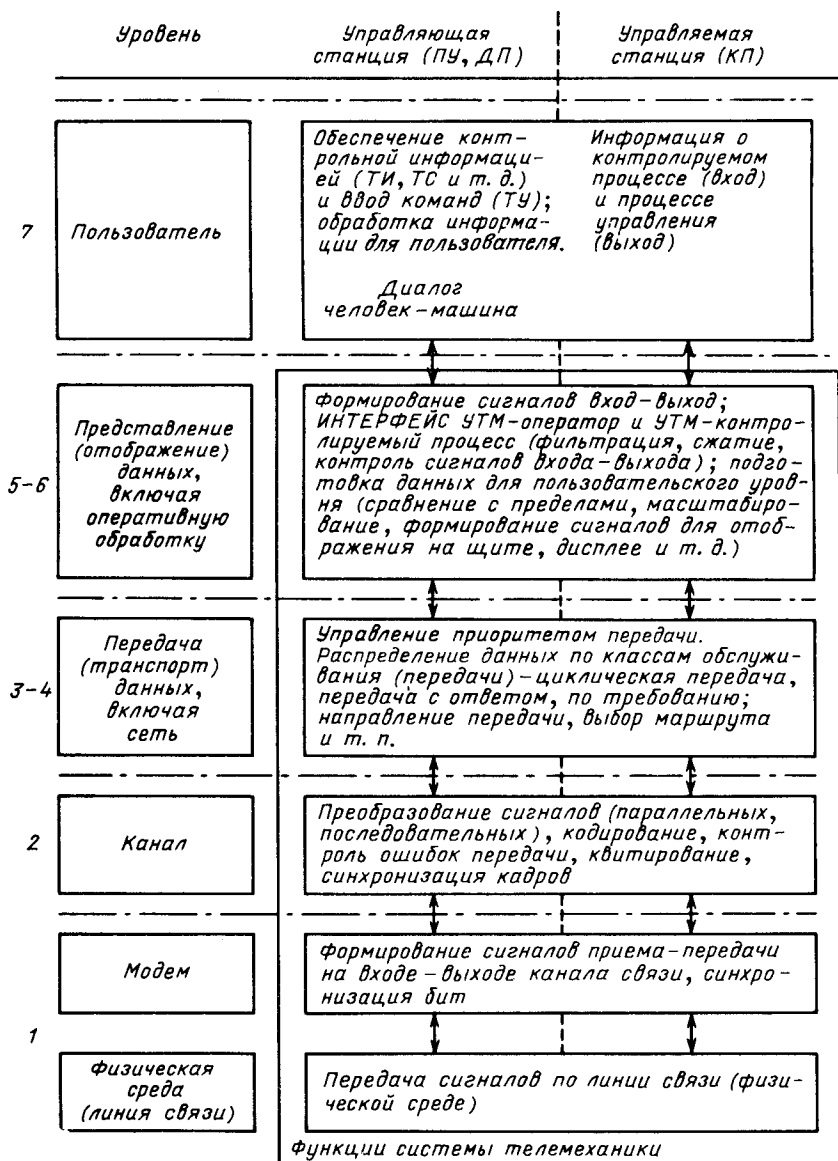


Рис. В.2. Уровневая структура функций системы телемеханики

щего назначения (согласно международному стандарту ISO-CCITT) и системы телемеханики (стандарт МЭК) [41].

Функции систем телемеханики подразделяются на следующие уровни (рис. В.2):

пользовательские функции (уровень 7);

функция оперативной обработки и отображения данных (уровни 5-6);

функции транспортировки данных, включая все уровни передачи — физический, канальный и сетевой (уровни 1-4).

Пользовательские функции подразделяются на основные (базисные) и вторичные. Основные — это функции основного назначения системы телемеханики — телеконтроль и телеуправление технологическими процессами. Вторичные функции — производные от основных — определяют возможности системы по обработке и представлению (отображению) информации пользователю. Объем вторичных пользовательских функций, выполняемых системами телемеханики, зависит от типов применяемых устройств. Для микропроцессорных систем, обладающих достаточным объемом памяти и соответствующим программным обеспечением, эти функции составляют основное содержание задач ОИК. Для тех диспетчерских пунктов (ДП), на которых наряду с микропроцессорными устройствами телемеханики имеются микро- или мини-ЭВМ ОИК, вторичные пользовательские функции распределяются между УТМ и этими ЭВМ.

Основные пользовательские функции УТМ в энергосистемах

ТЕЛЕКОНТРОЛЬ (telemonitoring)* — наблюдение за состоянием контролируемых процессов и оборудования. Составляющими телеконтроля являются:

а) телеизмерение (ТИ, telemetering) — передача по каналам связи значений непрерывно изменяющихся параметров контролируемых процессов (мощности, напряжения, токов и т. п.). Телеизмерения передаются либо непрерывно, либо по вызову диспетчера. Различают также передачу всех периодических отсчетов ТИ (циклическая передача) либо передачу только изменившихся значений (адаптивная, спорадическая передача). Контролируемый ТИ-параметр может характеризоваться либо текущими мгновенными, либо интегральными значениями за заданный интервал времени. Соответственно применяются термины: "телеизмерение текущих значений" (ТИТ) и "телеизмерение интегральных значений" (ТИИ). Последнее часто осуществляется число-импульсным методом. Поэтому функция ТИ таких систем часто именуется ТЕЛЕСЧЕТ (ТИ энергии, расхода жидкости, газа и т. п.);

* В скобках приводятся соответствующие термины, принятые в [1].

б) телесигнализация (ТС, teleindication) – передача дискретных сигналов о состоянии контролируемого оборудования (положение выключателей мощности, разъединителей, анцапф трансформаторов, уставок автоматики и т. п.). Передача ТС осуществляется либо спорадически – при изменении состояния контролируемого объекта, либо циклически – непрерывно с подтверждением переданного ранее состояния. Чаще всего при ТС осуществляется передача позиций двухпозиционных объектов (включено, отключено).

Телеуправления (ТУ, telecommand) – передача по каналам связи команд от диспетчера (оператора) к коммутационным аппаратам (выключателям мощности, разъединителям, контакторам и т. п.) для изменения положения оперативного оборудования. Если оперативное оборудование имеет более двух возможных состояний, то телеуправление состоянием этого оборудования называют телеустановкой (teleadjusting). Когда команды передаются с ПУ, а реализуются на КП оперативным персоналом, такая функция называется телекомандованием (teleinstruction); обычно телекоманды (телеинструкции) представляются в визуальной форме (например, на табло с обозначением команд и т. п.). Если передача команд осуществляется от автомата к автомату (например, от устройств релейной защиты, установленных на одном конце линии, к выключателям мощности, расположенным на другом ее конце), то такой вид телеуправления называется автотелеуправлением (АТУ).

Телерегулирование (ТР, teleregulation) – передача управляющих воздействий типа "больше–меньше", "прибавить–убавить" и других от диспетчера к регулятору, установленному на КП. Управляющее воздействие продолжается в течение времени посылки соответствующих команд диспетчером.

Телерегулирование может осуществляться и в замкнутом цикле – без участия человека. Тогда целесообразно употребить термин "автотелерегулирование" – АТР: передача телеизмерений от датчика к центральному регулятору, расположенному на ДП, и передача от него значений уставок местному регулятору на КП. АТР имеет место, например, в системе автоматического управления и регулирования частоты и мощности (САУРЧМ), где роль центрального регулятора выполняет мини-ЭВМ.

Большинство современных телемеханических систем выполняет некоторый комплекс перечисленных функций, например ТИ–ТС, ТУ–ТИ–ТС и т. п. В соответствии с выполняемыми функциями системы ТМ часто так и именуются: системы ТИ–ТС, ТУ–ТС–ТИ и т. п.

Вторичные пользовательские функции

Вторичные пользовательские функции предназначены для обеспечения оператора (диспетчера) информацией, удобной для использования. Эти функции не всегда четко определены, так как их состав за-

висит от возможностей приемных устройств ТМ по обработке данных основной информации (ТИ, ТС и т. п.). Вторичные пользовательские функции могут выполняться как собственно микропроцессорными УТМ, так и отдельной поствключенной мини- или микроЭВМ. Объем функций, выполняемых УТМ, зависит от объема памяти и наличия соответствующего программного обеспечения.

Типовые вторичные пользовательские функции:

суммирование ТИ и образование обобщенных сигналов ТС автоматически или по заданию диспетчера;

указание пределов контролируемых параметров;

автоматическая регистрация событий с указанием времени;

контроль каналов связи и устройств ТМ с регистрацией ошибок и неисправностей;

оценка состояния контролируемого процесса в реальном времени;

формирование графиков плановых и текущих значений контролируемых параметров;

формирование оперативных схем и форм представления информации на экранах дисплея с указанием текущих значений информации ТИ и ТС; обеспечение диалога оператор—система ТМ.

Функции оперативной обработки сигналов

Эта группа функций охватывает обработку сигналов входа — выхода на КП и ПУ с целью повышения эффективности и надежности выполнения пользовательских функций. К типовым функциям оперативной обработки относятся:

обеспечение заданного интерфейса сигналов входа—выхода между УТМ и контролируемым процессом на КП и УТМ и человеком-оператором на ПУ (ДП), включая фильтрацию входных сигналов от действия помех, дребезга контактов реле и ключей датчиков информации;

формирование сигналов начала передачи (например, при изменении состояния контролируемых объектов);

защита от ошибок датчиков и от помех во входных и выходных цепях УТМ;

сжатие данных на входе и выходе УТМ;

представление сигналов выхода в форме, удобной для отображения на пользовательском уровне (на щите, дисплее, пульте и т. п.).

Применение микропроцессорных систем ТМ предоставляет широкие возможности по выполнению оперативной обработки информации на энергообъектах и по рациональному распределению функций обработки между ПУ и КП с целью разгрузки центральных станций ТМ и ЭВМ ОИК на диспетчерских пунктах, повышения достоверности передаваемой от энергообъектов информации и повышения эффективности использования каналов связи.

Функции передачи (транспортировки) сообщений

В соответствии с основным назначением систем телемеханики в энергетике — контроль и управление процессами производства и распределения электроэнергии на расстоянии — функции передачи сообщений между контролируемыми и контролирующими станциями являются определяющими во всей системе телемеханики.

Типовые функции передачи сообщений, которые выполняются на транспортном (включая сеть) и более низких уровнях передачи (уровни 4–1 на рис. В.2), должны обеспечивать:

высокую достоверность (целостность) доставки сообщений по каналам связи в условиях высокого уровня помех, вызываемых электромагнитным влиянием высоковольтных линий электропередачи, коммутационными явлениями в силовых цепях и пр.;

малое время телепередачи для обеспечения режима реального времени при контроле технического процесса и управлении им;

высокую эффективность использования каналов связи в условиях ограниченной частотной полосы пропускания каналов.

Главное препятствие для удовлетворения этих требований — их противоречивость: обеспечение высокой достоверности передачи данных связано с увеличением времени и снижением эффективности телепередачи, повышение эффективности путем удлинения кодовых блоков приводит к потере большого объема информации в условиях повышенного уровня помех и как следствие — к увеличению времени доставки сообщений и т. п. Поэтому функции передачи сообщений должны обеспечивать разумный компромисс между этими противоречивыми требованиями.

Для выполнения этих требований на каждом уровне передачи сообщений решается свой круг задач:

на транспортном уровне (включая сеть):

разделение сообщений на блоки, введение короткоформатных блоков для передачи экстренных сообщений;

введение приоритетов передачи и управление этими приоритетами, разделение передаваемых данных по классам обслуживания (классы диалоговых процедур);

обеспечение резервного пути доставки сообщения при повреждении основного канала (маршрутизация сообщений);

на канальном уровне:

преобразование входных сигналов от датчиков в последовательность дискретных сигналов, кодирование выходных сигналов по определенному закону с целью обеспечения необходимой помехозащищенности при передаче по каналу связи;

декодирование сигналов, принятых из канала связи, контроль правильности приема, обнаружение (а иногда и исправление) ошибок, квитирование принятых сообщений, синхронизация кадров;

согласование полосы частот и уровней сигналов УТМ и канала связи с помощью модема, формирование сигналов передачи и приема (в канал и из канала связи), контроль качества сигнала и синхронизация приемника и передатчика УТМ.

Функции физического уровня определяются видом физической среды, которая служит для передачи сигналов между передающим и приемным устройствами ТМ.

Основные виды каналов связи, применяемые в энергетике для систем телемеханики, следующие:

собственные (Минэнерго СССР) подземные или подвесные кабели связи;

проводные воздушные линии связи;

арендованные телефонные (телеграфные) линии и каналы связи;

радиоканалы УКВ;

ВЧ каналы по высоковольтным линиям электропередачи (35 кВ и выше) и каналы тональной частоты по силовым распределительным электрическим сетям 10 кВ и ниже;

оптико-волоконные линии и т. д.

Физические параметры сигналов, передаваемых по этим каналам, допустимые уровни отношения сигнал/помеха и другие характеристики регламентируются стандартами.

В.4. ТИПОВЫЕ СТРУКТУРЫ СИСТЕМ ТМ

Телемеханическая система состоит из устройств ТМ, расположенных на диспетчерских и контролируемых пунктах, связанных между собой каналами связи. Структура системы ТМ определяется структурой диспетчерского управления, взаимным географическим расположением контролируемых энергообъектов и пунктов контроля и управления и структурой каналов связи.

Если система ТМ содержит один или несколько диспетчерских пунктов одного уровня управления, то она является одноуровневой, если же в системе ТМ имеются диспетчерские пункты двух или более уровней ДУ, то это двух- или многоуровневая система.

Типовые структуры систем ТМ относятся к одноуровневым системам. В стандарте МЭК "Устройства и системы телемеханики" [41, публикация 870.1.1] выделяются следующие типовые структуры систем ТМ (рис. В.3):

а) "пункт-пункт" ("точка-точка"); структура, при которой один ПУ соединен с одним КП выделенным каналом связи;

б) многоточечная радиальная "один-один"; устройство ПУ, имеющее N линейных терминалов, связано с N КП. Возможен одновременный независимый обмен информацией между ПУ и каждым КП;

в) многоточечная радиальная (звездная) "один - N "; устройство ПУ связано с N устройствами КП через общий линейный терминал, обслу-

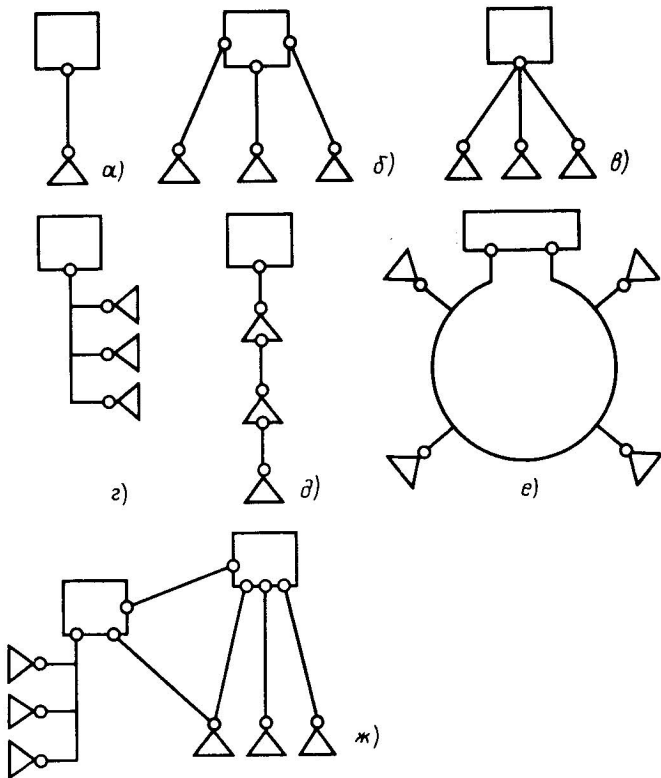


Рис. В.3. Структуры телемеханических систем:

a – "точка-точка"; *б* – многоточечная радиальная "один-один"; *в* – многоточечная радиальная "один- N "; *г* – многоточечная магистральная; *д* – цепочечная (транзитная); *е* – кольцевая; *ж* – смешанная иерархическая

живающий N радиальных каналов связи. Одновременно только один КП может передавать информацию на ПУ. Передача общих команд с ПУ может производиться на все КП одновременно, передача индивидуальных команд – по адресу КП;

г) многоточечная магистральная; устройство ПУ связано общим каналом связи с N устройствами КП, расположенными вдоль этого канала. Организация связи между ПУ и КП такая же, как для многоточечной радиальной структуры;

д) цепочечная (транзитная) структура; устройство ПУ связано цепочечным каналом связи с устройствами КП. На КП производится ретрансляция сигналов;

е) многоточечная кольцевая; общий канал связи образует "кольцо", к которому подключены все устройства КП. Кольцо замыкается

устройством ПУ. При повреждении на одном из участков канала работоспособность КП сохраняется, так как связь с каждым из них может быть организована с двух сторон.

Кроме отмеченных типовых структур встречаются разнообразные их комбинации, образующие так называемые гибридные смешанные структуры. Гибридные структуры особенно характерны для многоуровневых иерархических систем ТМ, когда на разных уровнях диспетчерского управления могут встречаться структуры разных типов (рис. В.3, ж).

В.5. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА И ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ БЛОКИ СИСТЕМЫ ТМ

На рис. В.4 представлена обобщенная схема системы ТМ простейшей структуры "пункт—пункт". Система ТМ в узком смысле состоит из устройств телемеханики ПУ и КП, соединенных каналом связи. Оконечная аппаратура канала "модем" связана с УТМ посредством стандартного или специализированного интерфейса (в зависимости от типа используемого модема). Стандартные модемы ССИТТ связаны с УТМ по стыку V.24. Специализированные простейшие модемы, применяемые в каналах телемеханики для энергосистем (например, типа АПСТ завода "Нептун"), имеют четырехпроводную связь с УТМ, регламентируемую техническими условиями на аппаратуру телемеханики.

Система ТМ в "широком смысле" дополнительно включает устройства ввода—вывода информации (УВВ ТМ). На ПУ — это устройство отображения и ввода оперативной информации — диспетчерский щит *ДЩ* и пульт управления *ПЛУ*, контрольный дисплей и регистрирующее печатающее устройство *РПУ*. Последние устанавливаются в зависимости от возможностей УТМ управлять стандартными средствами ввода—вывода и служат как для отображения и регистрации оперативной информации, так и для расширения сервисных функций при обслуживании УТМ. На диспетчерском щите располагаются основные средства отображения общего пользования: мнемонические схемы контролируемых объектов с сигнальными лампами, стрелочными и цифровыми приборами и т. п. На пульте управления расположены ключи управления, мнемосхема управляемого объекта с сигнальными лампами, табло и другими указывающими приборами. Интерфейс *УТМ ПУ—ДЩ* может включать в себя ряд промежуточных вспомогательных устройств, входящих в комплекс УТМ ПУ, и задается техническими условиями на этот комплекс.

Для оказания помощи диспетчеру в ведении оперативного режима энергосистем на всех крупных диспетчерских пунктах созданы оперативно-информационные комплексы АСДУ с соответствующими

устройствами ввода-вывода информации *УВВ ОИК*. В состав *ОИК* входят *ЭВМ*, получающие телеинформацию непосредственно от *УТМ* и обрабатывающие ее в темпе поступления, т. е. в режиме реального времени, *ЭВМ ОИК* управляет средствами отображения индивидуального пользования (дисплей *Д*) и коллективного пользования (табло *ТБ*, печатающие устройства *АЦПУ*, обобщенные символы *ДЩ* и т.п.). Оперативная информация от диспетчера вводится в *ЭВМ* через функциональную клавиатуру *ФК*.

Интерфейс сопряжения *УТМ-ЭВК ОИК* зависит от многих факторов и в частности от наличия промежуточных устройств сопряжения типа модулей ввода-вывода *ЭВМ*. Как правило, этот интерфейс схемно или программно реализуется в *УТМ ПУ* и должен оговариваться в техниче-

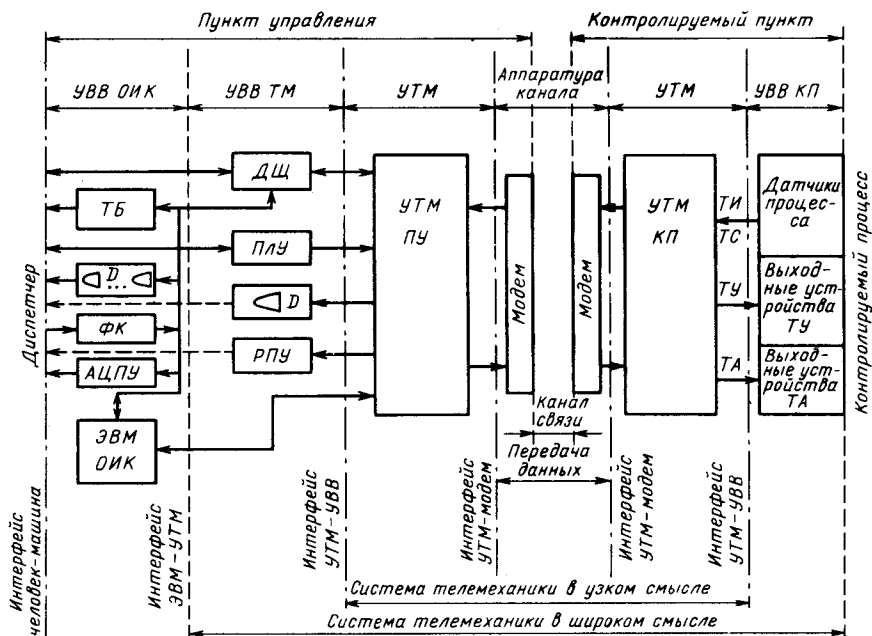


Рис. В.4. Обобщенная схема системы телемеханики "пункт-пункт":

УВВ ОИК - устройства ввода-вывода оперативно-информационного комплекса; *УВВ ТМ* - устройства ввода-вывода системы телемеханики; *УТМ* - устройство телемеханики; *ПУ* - пункт управления; *КП* - контролируемый пункт; *УВВ КП* - устройства ввода-вывода контролируемого пункта; *ТБ* - табло диспетчера; *Д* - дисплеи; *ФК* - функциональная клавиатура; *АЦПУ* - аналого-цифровое печатающее устройство; *ДЩ* - диспетчерский щит; *ПЛУ* - пульт управления; *РПУ* - регистрирующе-печатающее устройство; *ТИ, ТС, ТУ, ТА* - входные и выходные сигналы устройства телемеханики

ских условиях на сопряжение с ЭВМ. Единого международного стандарта на интерфейс УТМ–ЭВМ ОИК не существует. Объясняется это, в частности, и тем, что программируемые микропроцессорные устройства телемеханики способны сами выполнять многие функции по опе-

Таблица В.1. Основные функциональные блоки УТМ

Наименование блоков	Функциональное назначение	Аппаратура
Блоки входа–выхода на КП (сторона контролируемого процесса), устройства ввода–вывода	Преобразование контролируемого физического процесса в электрические сигналы на входе УТМ	Аналоговые цифровые датчики ТК, входные датчики ТК, входные реле ТС
	Преобразование сигналов на выходе УТМ в команды оперативного управления	Выходные реле ТУ
Блоки обработки входных и выходных сигналов на КП	Фильтрация входных сигналов от помех	Входные фильтры
	Обработка входных сигналов с целью повышения информативности (усреднение, интегрирование, суммирование ТИ; формирование обобщенной ТС)	Логические схемы (программа)
	Преобразование аналог–код	АЦП
	Запоминание входных и выходных сигналов	Оперативная память
Блоки кодирования и декодирования на КП и ПУ	Анализ изменения контрольной информации и формирование сигнала запуска	Логические схемы (программа)
	Контроль правильности ТУ	То же
	Преобразование параллельно-последовательное (и наоборот)	Регистры (программа)
	Формирование помехозащищенных кодов	Кодер (программа)
	Приоритеты передачи	Логические схемы (программа)
Блоки передачи–приема сигналов	Алгоритм отбора сообщений, сжатие сигналов	
	Распознавание и защита от ошибок	Декодер (программа)
	Обеспечение надежной и помехозащищенной передачи по каналу связи	Модем, стандарт ССИТ; специальный модем
	Контроль качества сигнала	То же
	Синхронизация бит приема–передачи	” ”
Контроль исправности канала связи	” ”	

Наименование блоков	Функциональное назначение	Аппаратура
Блоки обработки данных на ПУ	Вычислительные функции: усреднение, интегрирование, масштабирование, суммирование и т. п.	Программа
	Логические функции: формирование обобщенных ТС, контроль пределов, сортировка данных	То же
	Преобразование код-аналог Запоминание сигналов Оценка состояния	ЦАП Оперативная память Программа
Блоки входа-выхода на ПУ (сторона диспетчера, оператора)	Преобразование сигналов выхода в информацию, понятную оперативному персоналу, и преобразование действий персонала в сигналы управления Отображение и регистрация данных диалог человек-машина	Диспетчерский щит, дисплей, пульт (консоль) управления, ключи управления (программа)

ративной обработке и управлению средствами отображения информации, в связи с чем ЭВМ ОИК все больше разгружаются от непосредственного выполнения функций ввода и рутинной обработки телеинформации, отчего требования к интерфейсу УТМ-ЭВМ, естественно, меняются.

На КП устройствами ввода-вывода *УВВ* являются датчики *ТИ*, *ТС*, аварийных сигналов и других видов контрольной информации, а также выходные устройства *ТУ* двухпозиционными или многопозиционными объектами, устройства телеавтоматики *ТА*, телекомандирования и т.д.

Интерфейс УТМ-УВВ регламентируется стандартом МЭК "Устройства и системы телемеханики" [41, публикация 870.3].

Основные функциональные блоки устройства телемеханики приведены в табл. В.1. Их функции в УТМ могут выполняться либо благодаря фиксированным соединениям между логическими элементами (принцип жесткой логики), либо программным путем (принцип программируемой логики). В последнем случае УТМ имеет структуру специализированной микроЭВМ и ее функции задаются программой.

Классификация основных программных модулей программируемых УТМ приведена на рис. В.5.

Программное обеспечение систем ТМ может быть подразделено на два типа. Первый тип — основные программы, не зависящие от конкретных условий применения и обеспечивающие выполнение заданного



Рис. В.5. Программное обеспечение систем телемеханики

набора функций; они записываются постоянным запоминающим устройством (ПЗУ) и поставляются заводом-изготовителем совместно с аппаратурой ТМ. Второй тип – программы, определяемые конкретными условиями пользователя и зависящие от проектных данных. Эти программы в основном записываются пользователем в оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) либо в ПЗУ с помощью специального блока-программатора в составе УТМ.

Глава первая

СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕХАНИКИ В ДИСПЕТЧЕРСКОМ УПРАВЛЕНИИ ЭНЕРГОСИСТЕМАМИ

1.1. СТРУКТУРА ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Системы телемеханики играют важную роль в диспетчерском управлении производством и распределением электроэнергии, снабжая диспетчерские пункты различного уровня иерархии оперативной контрольной информацией о режимах работы энергосистем и обеспечивая передачу команд по управлению этими режимами. Надежность и экономичность работы энергосистем во многом зависят от надежной работы систем ТМ.

Структура систем телемеханики во многом определяется структурой диспетчерского управления, сложившейся в энергетике.

Как известно, диспетчерское управление в энергосистемах имеет многоуровневую иерархическую структуру со строгим подчинением низшего звена высшему (рис. 1.1). Высшей ступенью диспетчерского управления является Центральное диспетчерское управление Единой энергетической системой СССР (ЦДУ ЕЭС).

В настоящее время ЕЭС СССР объединяет более 80% энергосистем страны, в них производится более 92% всей вырабатываемой в стране электроэнергии.

Оперативным центром ЦДУ, из которого осуществляется диспетчерское управление работой объединенных энергосистем (ОЭС), является диспетчерский пункт ЦДУ ЕЭС. ОЭС формируются по территориально-экономическому принципу, объединяя энергосистемы соседних административных областей и промышленно-экономических районов. В состав ЕЭС СССР входят девять ОЭС: Центра, Северо-Запада, Юга, Северного Кавказа, Закавказья, Средней Волги, Урала, Казахстана и Сибири. Еще два энергообъединения работают изолированно от ЕЭС СССР — ОЭС Средней Азии и ОЭС Дальнего Востока, в дальнейшем планируется подсоединение этих ОЭС к ЕЭС. Тем самым будет завершено создание Единой Энергосистемы Советского Союза.

Оперативными центрами ОЭС являются ДП ОДУ ОЭС. В состав ОЭС входят районные энергосистемы (РЭУ) — в среднем по 10 РЭУ в каждой ОЭС. Каждая районная энергосистема, входящая в ОЭС, имеет соб-

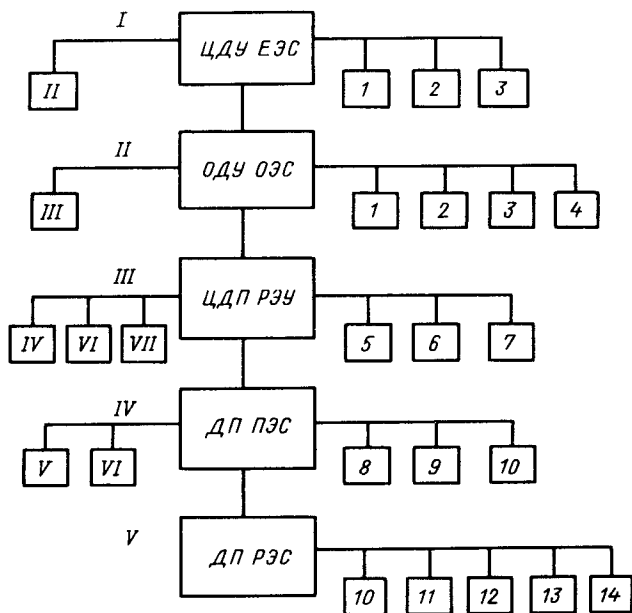


Рис. 1.1. Многоуровневая структура диспетчерского управления в энергетике:

I – ДП ЦДУ ЕЭС СССР; *II* – ДП ОДУ ОЭС; *III* – ЦДП энергосистем; *IV* – ДП предприятия электросетей; *V* – ДП района электросетей; *VI* – ДП городских электросетей; *VII* – ДП тепловых сетей; 1 – крупнейшие электростанции; 2 – магистральные ВЛ 400–750 кВ; 3 – крупные узловые ПС 400–750 кВ; 4 – ВЛ и ПС межсистемного значения; 5 – электростанции системного значения; 6 – межсистемные и основные ВЛ 110–400 кВ; 7 – ПС системного значения; 8 – электростанции местного значения; 9 – основные ВЛ предприятия 35–220 кВ; 10 – транзитные ПС 35–220 кВ; 11 – оперативные дежурные участки электросетей; 12 – распределительная сеть 35–110 кВ и местная сеть 0,4–10 кВ; 13 – распределительные ПС 35–110 кВ; 14 – участки местной сети 0,4–10 кВ

ственный оперативный центр – Центральный диспетчерский пункт (ЦДП) энергосистемы.

На 1 января 1986 г. общее количество ЦДП энергосистем составило 101. Управление высоковольтными распределительными электросетями осуществляется специально предназначенными для этой цели диспетчерскими пунктами предприятий электросетей (ДП ПЭС) и районов электросетей (ДП РЭС), входящих в энергосистему.

Нижним (базисным) уровнем системы диспетчерского управления являются энергообъекты – электростанции, высоковольтные подстанции, линии электропередачи с соответствующим энергооборудованием, коммутационной и измерительной аппаратурой.

Электростанции, подстанции или часть их оборудования, на которых оперативные переключения или изменения режима работы могут производиться по прямому указанию оперативного персонала ДП, в зону действия которого входит данный энергообъект, называются энергообъектами, находящимися в непосредственном оперативном управлении данного диспетчерского пункта. Если же переключения и изменения режима работы энергообъектов производятся персоналом данного ДП только по указанию или с разрешения вышестоящего ДП, то такие энергообъекты называются энергообъектами, находящимися в оперативном ведении вышестоящего ДП.

Так, в оперативном управлении или оперативном ведении ДП ОДУ находятся электростанции, подстанции и часть их оборудования и линии электропередачи, на которых изменение режима работы или коммутационные переключения существенно влияют на надежность и экономичность работы объединенной энергосистемы. Такие энергообъекты называются энергообъектами межсистемного значения. К ним, в частности, относятся межсистемные линии электропередачи, обеспечивающие параллельную работу и обмен мощностями между энергосистемами, а также так называемые регулирующие станции, принимающие участие в регулировании частоты и покрытии пиковых нагрузок в объединенных энергосистемах.

В оперативном управлении или ведении (через ДП ПЭС, например) ЦДП энергосистемы находятся энергообъекты системного значения, т. е. те, работа которых существенно влияет на надежность и экономичность работы данной энергосистемы. К таким энергообъектам, в частности, относятся электростанции, мощность которых превышает 3–5% суммарной установленной мощности энергосистемы, называемые основными электростанциями энергетической системы.

Характер подчиненности энергообъектов тем или иным диспетчерским пунктам определяет объемы и пути оперативной информации, передаваемой на диспетчерские пункты средствами телемеханики.

Передача телемеханической информации на диспетчерский пункт верхней ступени управления от энергообъектов, находящихся в оперативном ведении данного ДП, как правило, осуществляется методом ретрансляции с ДП нижней ступени. Однако при оперативном управлении отдельными энергообъектами передача телеинформации желательна непосредственно с этих энергообъектов на данный ДП. Число пунктов ретрансляции, как правило, не должно превышать двух, так как при увеличении этого числа ухудшается качество информации на верхнем уровне управления — повышается погрешность ТИ вследствие увеличения запаздывания, увеличивается запаздывание ТС, ухудшается надежность доставки информации и т. п.

Диспетчерская связь ДП данного ранга с подчиненными ему ДП низшего ранга, а также с энергообъектами, находящимися в непосредственном оперативном управлении данного ДП, осуществляется

по прямым каналам связи. Эти каналы связи должны резервироваться с автоматическим переходом на исправный канал. Для устройств телемеханики, работающих в системах противоаварийной автоматики или автоматического регулирования, это требование является обязательным. При этом резервирование должно производиться по независимым каналам связи.

Передача телеинформации на верхних уровнях диспетчерского управления осуществляется по арендованным каналам Министерства связи либо по ведомственным высокочастотным каналам по линиям электропередачи. При этом для систем телемеханики выделяется узкий надтоновый частотный диапазон в телефонном канале, ограничивающий скорость передачи сигналов телемеханики скоростью 50–300 бит/с. Лишь в отдельных случаях под телемеханическую передачу может быть задействован весь телефонный канал (при передаче со скоростью 1200 бит/с).

Для передачи информации на уровне энергообъект–энергосистема и в распределительных электрических сетях используются ВЧ каналы по ВЛ, низкочастотные каналы по воздушным и кабельным линиям связи, ультракоротковолновая радиосвязь и каналы наложенной тональной частоты по ВЛ 6 (10) кВ.

Допустимая скорость передачи сигналов телемеханики по этим каналам связи не превосходит 50–200 бит/с.

Телемеханизация диспетчерских пунктов энергосистем и понижительных подстанций (ПС) 20 кВ и выше по данным Союзтехэнерго на 1 января 1986 г. характеризуется следующими цифрами [40]:

из общего числа ЦДП энергосистем телемеханизированы 96 ЦДП, т. е. 94% общего числа энергосистем. Общее число ДП ПЭС и ДП РЭС равно 2804, из них телемеханизировано 684, т. е. 24,4% общего их числа;

из общего числа 28 540 понизительных ПС 20 кВ и выше обслуживаются без постоянного дежурного персонала на щите управления 25 169, т. е. 88,2% подстанций, в том числе с телеуправлением 2312 (8,1%) подстанций; только с телеконтролем 2382 (8,3%); только с аварийно-предупредительной телесигнализацией 5741 (20,1%). Остальные ПС без постоянного обслуживания оснащены различной местной сигнализацией.

Устройства телемеханики, так же как и вычислительные машины, в соответствии с их аппаратной базой подразделяются на несколько поколений:

1-е поколение — на релейно-контактных электромеханических и электронно-ламповых элементах;

2-е поколение — на бесконтактных магнитных и полупроводниковых элементах;

3-е поколение — на интегральных логических микросхемах малого и среднего уровня интеграции;

Таблица 1.1.

Основные характе

№ п.п.	Тип УТМ	По- коле- ние	Количество ДП (ПУ), КП (ПСТ)	Максимальная ин- формационная емкость одного КП	Структура си- стемы, канал связи
1	МКТ-1	2	До 2 ДП, 1 КП	5 ТИ или 35 ТС, 10 ТИ или 70 ТС	Пункт-пункт; симплекс
2	МКТ-2	2	До 2 ДП, 1 КП	10 ТИ или 70 ТС, 20 ТИ или 160 ТС, 30 ТИ или 240 ТС	То же
3	ВРГФ-3	2	До 2 ДП, 1 КП	80 ТС, 40 ТУ, 16 ВТИ, 16-ТР-ВТИ	Пункт-пункт; дуплекс
4	МКТ-3	3	До 3 ДП, 1 КП	60 ТИ, 4 ЦТИ, 256 ТС, 64 ТУ	То же
5	ТРС-1	3	1 ПУ, до 15 КП	3 ТС, 1 ТУ	Многоточечная; полудуплекс
6	ТМ-512	3	1 ДП, 1 КП	60 ТИ, 480 ТС	Пункт-пункт; дуплекс
7	ТМ-800	3	1 ДП, 1 КП	64 ТИ, 256 ТС	Пункт-пункт; симплекс
8	ТМ-800 В	3	1 ДП, 1 КП	20 ТС, 20 ТУ, 15 ВТИ	Пункт-пункт
9	ТМ-120 М	3	1 ДП, до 30 КП	16 ТИ, 48 ТС, 16 ТУ	Многоточечная магистральная, дуплекс
10	КУСТ-Б	3	1 ДП, до 10 КП	1 ТИ, 24 ТС, 10 ТУ, 4 ВТЧ	То же
11	УТС-8	2	1 ДП, до 4 КП	8 ТС	Многоточечная радиальная; симплекс
12	УТК-1	2	1 ПУ, 1 КП	1 ТИ, 4 ТС	Пункт-пункт; симплекс
13	УТМ-7	3	1 ПУ, 1 КП	7 ТИ, 8 ТС	То же
14	ЦППС РПТ-70	4	1 ПУ, до 32 ПСТ	До 256 ТИ, до 2048 ТС, ЦБИ до 250 зна- ков в блоке	Многоточечная радиальная; дуплекс
15	ЦППС РПТ-80	4	1 ПУ, до 64 ПСТ	То же	То же
16	АИСТ	4	1 ПУ, до 32 КП	До 128 ТИ, до 1024 ТС, ЦБИ до 250 зна- ков в блоке	" "

ристики УТМ в энергосистемах

Скорость пере- дачи, бит/с	Элементная база	Основной уро- вень использо- вания	Завод-изготовитель; год начала промышленного выпуска
40, 60, 80	Полупроводниковые элементы	ЦДП РЭУ, ДП ПЭС	"Электропульта", г. Ленин- град, 1968 г.
40, 80, 160	То же	То же	"Электропульта", г. Ленин- град, 1972 г.
40	Ферритовые элементы с ППГ, полупроводни- ковые элементы	ЦДП РЭУ, ДП ПЭС, ДП РЭС	То же
50, 100, 200, 300, 600, 1200	Интегральные микро- схемы (ИМС)	То же	"Электропульта", г. Ленин- град, 1987 г.
6, 25, 100	ИМС	ДП РЭС, ОП 6-10 кВ	"Электропульта", г. Ленин- град, 1986 г.
25, 37,5 50, 100, 200, 300, 600	ИМС	ЦДП РЭУ	"Промавтоматика", г. Жи- томир, 1970 г.
25, 50, 75, 100, 200	То же	То же	ЗТА, г. Нальчик, 1975 г.
50, 75, 100, 200	" "	ДП ПЭС, ДП РЭС	То же
100	" "	ДП ПЭС, ДП РЭС	КИП, г. Краснодар, 1980 г.
40	ИМС	ДП ПЭС, ДП РЭС	"Нептун", г. Одесса
25, 50	Полупроводнико- вые элементы	ДП ПЭС, ДП РЭС	"Союзэнергоавтоматика", г. Киев, 1980 г.
50	Полупроводнико- вые элементы	САУР ЧМ	"Союзэнергоавтоматика", г. Киев, 1980 г.
50, 100, 200, 300, 600	Интегральные микро- схемы	То же	"Союзэнергоавтоматика", г. Киев, 1984 г.
50, 100, 200, 300, 600, 1200	Микропроцессорные элементы	ЦДУ ЕЭС, ОДУ ОЭС	"Видеотон", ВНР, 1975 г.
50, 100, 200, 300, 600, 1200	То же	ЦДУ ЕЭС, ОДУ ОЭС, ЦДП ЭС	"Видеотон", ВНР, 1983 г.
50, 100, 200, 300, 600, 1200	" "	ЦДП РЭУ, ДП ПЭС, ДП РЭС	"Нептун", г. Одесса, 1985 г.

№ п.п.	Тип УТМ	Поколение	Количество ДП (ПУ), КП (ПСТ)	Максимальная информационная емкость одного КП	Структура системы, канал связи
17	АИСТ-РС	4	1 ПУ, до 32 КП	До 16 ТИ, 32 ТС, 16 ТИЭ, 16 ТУ, 64 РТС, 16 РТУ	Многоточечная радиально-магистральная; полудуплекс
18	ГРАНИТ	4	Базовая модель: 1 ПУ до 16 КП; (ПУ + КП) до 128	Базовая модель: 96 ТИ, 192 ТС, 32 ТИИ, 48 ТУ	Многоточечная радиально-магистральная, полудуплекс
19	УВТК-120*	4	1 ПУ, до 60 КП	160 ТИ, 256 ТС, 16 ТИИ, 8 ТР, 128 ТУ	То же
20	ТК-113*	4	1 ПУ, до 30 КП	40 ТИ, 128 ТС, 32 ТУ, 32 ТИИ, 8 ТР	” ”

* Выпуск планируется на 1990 г.

Примечание. ПСТ – периферийная станция; ВТИ – вызов телеизмерения; ТИ; ЦТИ – цифровое ТИ; САУР – система автоматического управления и регулин; РТС, РТУ – ретрансляция ТС, ТУ.

4-е поколение – на микропроцессорах, БИС с программным управлением.

В настоящее время большинство УТМ, эксплуатирующихся в энергосистемах, относятся ко 2-му и 3-му поколениям.

Первые микропроцессорные системы телемеханики начали появляться в эксплуатации в энергосистемах лишь в 1987–1988 гг. (ГРАНИТ в ОДУ Урала, АИСТ в Литовэнерго и Витебскэнерго). Однако уже с середины 70-х годов функции микропроцессорных УТМ начали успешно выполнять универсальные микроЭВМ типов РПТ-70 и РПТ-80, укомплектованные специальными канальными адаптерами. На базе этих микроЭВМ были разработаны центральные приемопередающие станции (ЦПС), осуществляющие ретрансляцию телеинформации на уровнях ЦДУ ЕЭС и ОДУ ОЭС.

Основные типы УТМ, эксплуатируемых в энергосистемах, и их краткая характеристика приведены в табл. 1.1.

1.2. СИСТЕМА СБОРА И ПЕРЕДАЧИ ОПЕРАТИВНЫХ ДАННЫХ НА ВЫСШИХ УРОВНЯХ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Телемеханизация диспетчерских пунктов трех высших уровней диспетчерского управления практически была завершена в 60-е годы на

Скорость передачи, бит/с	Элементная база	Основной уровень использования	Завод-изготовитель; год начала промышленного выпуска
50, 100, 200, 300	" "	ДП ПЭС, ДП РЭС	"Нептун", г. Одесса, 1987 г.
50, 100, 200, 600, 1200	Микропроцессорные элементы	ЦДП РЭУ, ДП ПЭС	"Промавтоматика", г. Житомир, 1987 г.
50, 100, 200, 600, 1200	То же	ДП ПЭС, ДП РЭС	КИП, г. Краснодар
50, 100, 200, 600, 1200	" "	ДП ПЭС, ДП РЭС	ПО "Севкавэлектрон-маш", г. Нальчик

ППГ – прямоугольная петля гистерезиса; ТР–ВТИ – телерегулирование с вызовом лирирования; ОП – опорная подстанция; ТИИ – ТИ интегральное; ТИЭ – ТИ энер-

базе УТМ 2-го поколения. Новый этап развития систем сбора и передачи диспетчерской информации связан с созданием АСДУ. К середине 70-х годов АСДУ были созданы во всех объединенных и ряде крупных энергосистем. В этих условиях роль системы телемеханики еще более возросла в связи с необходимостью оперативного информационного обеспечения ЭВМ, входящих в состав АСДУ, включая межмашинный информационный обмен между ОИК АСДУ разных уровней диспетчерского управления. Резко возросли объем информации, передаваемой в режиме реального времени, и ее функциональное назначение, повысились требования к надежности, достоверности и быстродействию передаваемых сообщений. Удовлетворение этих требований в условиях низкоскоростных каналов передачи сигналов телемеханики привело к необходимости применения дополнительной обработки информации в местах ее передачи и приема, а именно: сжатия сигналов и введения приоритетов сообщений при передаче по каналам связи, дополнительной достоверизации информации, разгрузки ЭВМ ОИК от выполнения рутинных операций при вводе и первичной обработке телеинформации и т. д. В связи с новыми требованиями системы телемеханики 3-го поколения (системы на интегральных микросхемах с жестко-схемной структурой) были заменены на высших уровнях диспетчер-

ского управления (начиная с конца 70-х годов) программируемыми устройствами приема—передачи оперативной информации, выполняемыми на базе универсальных микроЭВМ.

В настоящее время на трех верхних уровнях диспетчерского управления функционирует система передачи оперативных данных (СПОД), выполненная на микроЭВМ РПТ-70 и РПТ-80 (производство завода "Видеотон", ВНР). Основными элементами СПОД являются центральные приемо-передающие станции, установленные на диспетчерских пунктах ЦДУ ЕЭС, на всех ОДУ ОЭС и многих ЦПД энергосистем; ЦППС выполнены на двух взаиморезервирующих микроЭВМ РПТ. В состав аппаратных модулей РПТ включены специально разработанные и поставляемые фирмой "Видеотон" платы сопряжения с каналами связи (программируемые канальные адаптеры).

Основные принципы СПОД

Программируемость основных функций. Благодаря применению микроЭВМ и микропроцессорных устройств основные функции и параметры системы — информационная емкость, число обслуживаемых каналов связи и др. — задаются программным путем. Это обеспечивает необходимую гибкость системы и универсальность ее применения в конкретных условиях эксплуатации, сравнительно незначительные расходы на перестройку системы при ее расширении и т. п. Все изменения в системе сводятся к изменению программ без вмешательства в электронную схему аппаратов. Программное обеспечение состоит из системных программ, обеспечивающих выполнение основных функций системы, и пользовательских программ, которые записываются пользователем в соответствии с конкретными условиями применения.

Централизация приема информации на диспетчерских пунктах. Вместо многочисленных приемников УТМ (по числу каналов связи) и ретранслирующего УТМ на ДП устанавливается единая централизованная приемо-передающая станция*, обеспечивающая независимый прием информации от множества (до 64) каналов связи и дальнейшую ретрансляцию ее на вышестоящий ДП. Централизация приема информации со всех каналов и ретрансляция ее в одном устройстве повышают экономичность системы за счет существенного сокращения площадей аппаратных помещений, числа кабельных связей и т. п. Одновременно обеспечивается возможность полного дублирования приема и передачи информации по всем направлениям одним резервным аппаратом ЦППС. Кроме того, ЦСТ облегчает ввод информации в ЭВМ оперативно-инфор-

* Далее по тексту, а также на рис. 1.2 централизованная приемо-передающая станция обозначается ЦППС либо ЦСТ (централизованная станция телемеханики).

мационного управляющего комплекса, являясь по существу концентратором информации, выполняющим функции предпроцессора. И, наконец, программируемая ЦППС выполняет функцию "коммутиции сообщений", комплектуя по заданному алгоритму сообщения, посылаемые к вышестоящему ДП.

Адаптивность и сжатие сообщений. Передающие станции системы работают по принципу "интеллектуальных терминалов", т. е. сами принимают решение о необходимости передачи в канал связи с ЦППС тех или иных сообщений и их приоритетности в зависимости от состояния контролируемых процессов в текущий момент времени. Система передачи, обладающая свойством приспособляемости к текущей ситуации, называется адаптивной, а метод передачи — адаптивным. При использовании адаптивного метода исключается передача необновленных сообщений, характерная для циклического метода передачи в УТМ. При этом передаваемые сообщения как бы сжимаются за счет исключения из передачи малоинформативных сообщений. Тем самым увеличивается пропускная способность каналов связи, т. е. повышается эффективность их использования. Коэффициент полезного действия мини-ЭВМ ОИУК также повышается за счет разгрузки ее от переработки неинформативных сообщений.

Реализация адаптивных методов передачи определяется соответствующей программой.

Многофункциональность передаваемой информации. Информация, циркулирующая в СПОД, предназначена для выполнения различных функций диспетчерского управления энергосистемами. Адаптивные алгоритмы передачи и развитая система приоритетов позволяют совместить в одной системе передачу информации для оперативно-диспетчерского контроля и управления (ТИ, ТС, ТУ), межмашинного межуровневого обмена цифро-буквенной информацией (ЦБИ) и сбора данных суточной ведомости, а также для систем автоматического телеуправления и противоаварийной автоматики. Система кодирования передаваемой информации в СПОД обеспечивает минимальные задержки передачи высокоприоритетных сообщений.

Совместимость и поэтапный ввод системы в эксплуатацию "сверху вниз". В СПОД предусмотрена возможность подключения к канальным входам ЦППС каналов от находящихся в эксплуатации УТМ. Для этой цели ЦППС имеют специальные программируемые канальные адаптеры, которые настраиваются на прием информации от передатчиков УТМ. На первом этапе внедрения СПОД ЦППС устанавливаются на верхнем уровне управления в ЦДУ ЕЭС СССР. Канальные входы ЦППС подключаются к каналам связи параллельно с существующими УТМ (для этого канальные входы ЦППС должны быть достаточно высокоомными). По мере отладки программ приема весь комплекс УТМ в ЦДУ ЕЭС заменяется одной ЦППС. На втором этапе ЦППС устанавливаются в ОДУ ОЭС, заменяя ретранслирующие и приемные УТМ. В кон-

це этого этапа СПОД эксплуатируется по схеме: ЦППС ЦДУ ЕЭС СССР — ЦППС на всех ОДУ ОЭС — передатчики УТМ на ДП энергосистем и энергообъектов, подчиненных ОДУ ОЭС. На последующих этапах внедрения осуществляется замена УТМ на ЦППС в энергосистемах и т. д. при движении "сверху вниз" до уровня энергообъектов. Принцип внедрения "сверху вниз" обеспечивает бесперебойную эксплуатацию телеинформационных систем на всех уровнях диспетчерского управления.

Разделение функций между микроЭВМ СПОД и мини-ЭВМ ОИУК. На верхних уровнях диспетчерского управления образуется сложный многомашинный комплекс, состоящий, как правило, из двух микроЭВМ СПОД и двух мини-ЭВМ ОИУК. При организации этого комплекса возникает задача рационального распределения функций приема и обработки телеинформации между микроЭВМ и мини-ЭВМ.

МикроЭВМ СПОД выполняет функцию предпроцессора мини-ЭВМ, обеспечивая ввод телеинформации со всех каналов связи в едином формате. При этом микроЭВМ СПОД заменяет периферийные модули ввода мини-ЭВМ или специализированные устройства ввода (типа УСТМ) и благодаря предварительной обработке вводимой телеинформации уменьшает загрузку мини-ЭВМ. Высвобождающееся машинное время (примерно 10—15% общего времени) позволяет полнее использовать логические и вычислительные возможности мини-ЭВМ для решения ряда оперативных задач. С другой стороны, при наличии мини-ЭВМ некоторые функции по обработке и отображению телеинформации целесообразно выполнять программами мини-ЭВМ. К таким функциям относятся, в частности:

- управление дисплеями при отображении телеинформации и в режиме диалога диспетчер—СПОД;
- масштабирование при цифровом воспроизведении ТИ;
- ввод и вывод цифро-буквенной информации;
- арбитраж по назначению одной из двух взаимно резервирующих микроЭВМ главной.

Вместе с тем с целью повышения надежности многомашинного комплекса часть наиболее важной оперативной информации должна выводиться на средства отображения напрямую из микроЭВМ.

На тех диспетчерских пунктах нижних уровней управления, где мини-ЭВМ ОИУК отсутствуют, программное обеспечение микроЭВМ СПОД должно предусматривать выполнение функций информационной системы ОИУК (в упрощенном варианте).

Конфигурация сети СПОД. Основная структура сети связи на верхних уровнях управления — радиальная (рис. 1.2). ЦППС СПОД связана со всеми нижестоящими ДП или энергообъектами независимыми дуплексными каналами связи. Число дуплексных каналов, обслуживаемых одной ЦППС, — до 64 (с учетом резервных каналов — 128), из них обычно два канала используются для передачи информации на

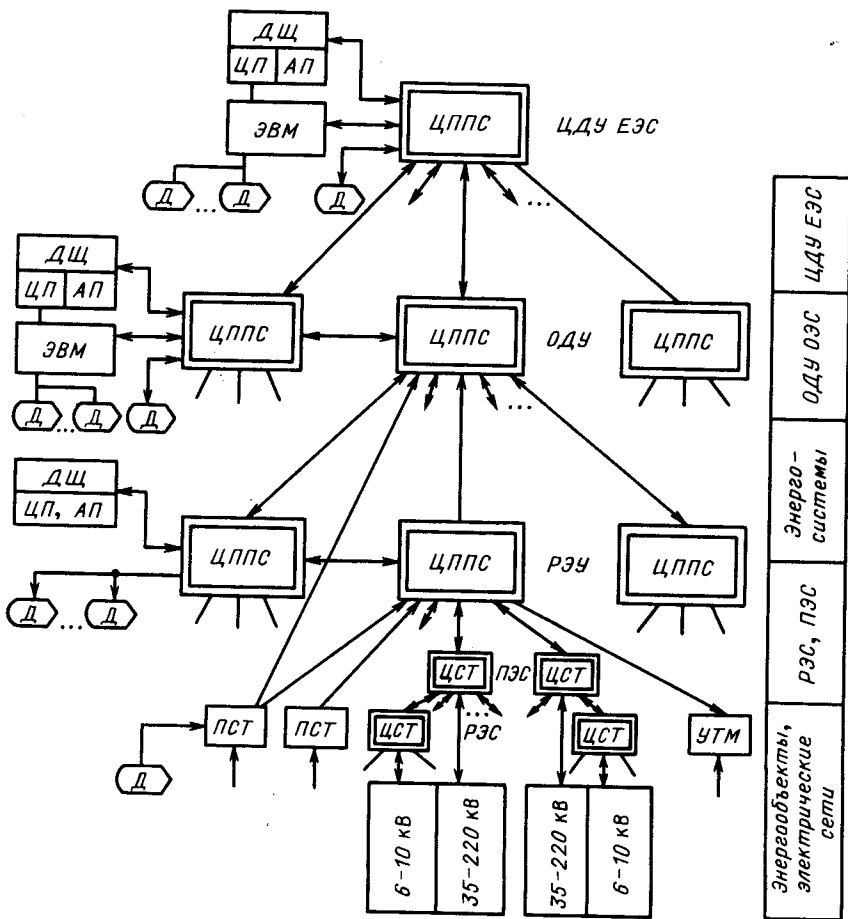


Рис. 1.2. Структура СПОД:

ЦППС, ЦСТ – центральные приемо-передающие станции; *ПСТ* – периферийная станция; *УТМ* – устройство телемеханики; *ДЩ* – диспетчерский щит; *ЦП* – цифровые приборы; *АП* – аналоговые приборы; *Д* – дисплей

вышестоящий ДП, а остальные – для приема информации с нижестоящих объектов. Такая структура сети (называемая радиальной многоканальной) дает возможность независимого приема информации со всех каналов связи и обеспечивает минимальные задержки сбора информации. ЦППС СПОД полностью использует эту возможность, обеспечивая одновременный независимый прием информации со всех каналов связи. Наряду с радиальными каналами на уровнях ОДУ энергосистем

организуются поперечные связи между смежными ЦППС одного и того же уровня. При этом образуется радиально-кольцевая структура связи, которая обеспечивает дополнительную живучесть системы, а также позволяет обмениваться информацией с "соседом". При наличии у данной ЦППС связей с верхней и смежной ЦППС информация на верхнюю ЦППС может поступать через смежную ЦППС в случае повреждения прямого канала. Аналогично при повреждении канала со смежной станцией информация на нее может поступать через ЦППС верхнего уровня.

Для большей надежности все каналы связи и ЦППС СПОД должны быть дублированы. Нормально информация от передающей ЦППС передается одновременно по основному и резервному каналам связи и с одного из них вводится в обе приемные ЦППС верхнего уровня.

СПОД на уровне ЦДУ ЕЭС СССР – ОДУ ОЭС [33]

Структура и основные функции системы. Все ЦППС СПОД, установленные в ЦДУ ЕЭС и ОДУ ОЭС, выполнены на микроЭВМ РПТ-70 и РПТ-80 (по две микроЭВМ на ЦППС). ЦППС ЦДУ ЕЭС и ОДУ ОЭС связаны радиальными дуплексными каналами связи – по два канала на каждый ОДУ (основной и резервный), общее число основных каналов связи для РПТ-70 равно 32. Между отдельными соседними ОДУ организованы поперечные каналы связи. Скорость передачи по каналам – 200 бит/с. В общем случае ЦППС верхнего уровня предусматривает выполнение следующих функций:

централизованный прием и передача телеинформации по каналам связи с аналогичными ЦППС и УТМ различных типов (МКТ-1, МКТ-2, ТМ-512, УТК, ТМ-800);

межуровневый обмен цифро-буквенной информацией между мини-ЭВМ ОИУК, в частности для передачи суточной ведомости;

сжатие ТИ при их ретрансляции на верхний уровень управления и при вводе в ЭВМ;

управление средствами отображения информации как автономно, так и от мини-ЭВМ.

Межмашинный межуровневый обмен позволяет организовать передачу между любыми связанными сетью мини-ЭВМ не только обычной телеинформации, но и псевдоизмерений (до рассчитанных в мини-ЭВМ параметров режима, обобщенных ТС, результатов расчета оценки состояния), цифро-буквенных сообщений (данных суточной ведомости, состояния оборудования и т. п.). Кроме того, появляется возможность организации запроса одной ЭВМ внерегламентных данных из банка другой ЭВМ.

Выполнение перечисленных функций централизованным приемопередатчиком позволяет полностью заменить все приемные и ретранслирующие УТМ на пункте управления более надежными, гибкими, компакт-

ными и удобными в эксплуатации микропроцессорными устройствами. Одновременно обеспечивается экономия ресурсов мини-ЭВМ, использовавшихся ранее для хранения и выполнения программ ввода информации от различных УТМ.

Сжатие телеинформации обеспечивает возможность увеличения в 3—5 раз объема ТИ, передаваемого по каналам из ОДУ в ЦДУ, и существенного снижения времени запаздывания при передаче ТИ. Соответственно снижается удельная загрузка мини-ЭВМ работой по приему ТИ.

Одной из важных функций ЦППС является управление средствами отображения информации для диспетчера. Предусматривается подключение к ЦППС: одного-двух алфавитно-цифровых или псевдографических дисплеев, устанавливаемых на пульте диспетчера (рядом с дисплеями, управляемыми мини-ЭВМ); мнемосхемы ДЩ и аналоговых приборов (показывающих и регистрирующих); группы цифровых приборов, размещаемых на ДЩ.

Возможность автономного (без связи с мини-ЭВМ) управления этими средствами отображения превращает ЦППС в высоконадежную подсистему оперативного контроля за текущим режимом сети, причем надежность ЦППС почти на порядок выше надежности мини-ЭВМ (за счет большей степени интеграции, простоты технических и программных средств).

Двухмашинный комплекс ЦППС. Структура двухмашинного комплекса ЦППС СПОД на базе микро-ЭВМ типа РПТ-70 для ОДУ приведена на рис. 1.3. В состав РПТ входят центральный процессор INTEL-8080 (К-580), оперативная память (ОЗУ и перепрограммируемое ПЗУ) общим объемом 40—64 Кбайт, платы последовательного и параллельного интерфейсов для подключения периферийных устройств и мини-ЭВМ, до восьми канальных микропроцессорных адаптеров. Каждый адаптер рассчитан на подключение четырех дулексных каналов связи (со скоростью от 50 до 1200 бит/с). На противоположных концах каналов могут быть подключены передатчики (приемники) УТМ или ЦППС. Настройка адаптера на тот или иной тип передатчика (приемника) осуществляется изменением программы в ППЗУ адаптера.

Средства отображения информации, предназначенные для диспетчера, подключаются к обеим РПТ через автоматический переключатель П1. Каждая микроЭВМ оснащается некоммутируемым сервисным дисплеем ДС, выполняющим функции пульта контроля и управления РПТ. Коммутация каналов между двумя РПТ, а также переключение с основного на резервный канал осуществляется вторым автоматическим переключателем П2.

В нормальном режиме (все элементы двухмашинного комплекса ЦППС исправны) администратор ОИУК назначает одну из мини-ЭВМ и одну из РПТ рабочими. Телеинформация из каналов поступает в обе РПТ одновременно и обрабатывается в них идентичным образом. Обработанная информация пересылается в мини-ЭВМ и в необходимом

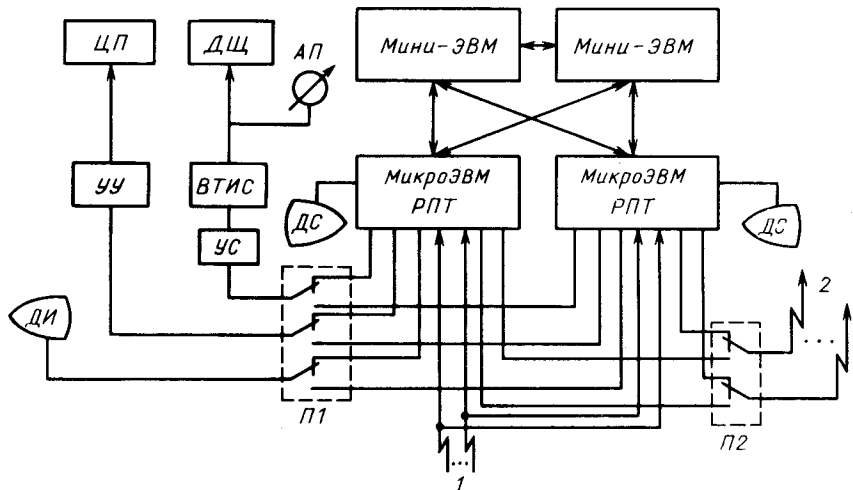


Рис. 1.3. Двухмашинный комплекс ЦППС на микроЭВМ РПТ:

ЦП – цифровые приборы; *АП* – аналоговые приборы; *УУ* – устройство управления; *УС* – устройство сопряжения РПТ и ВТИС; *ВТИС* – выходные узлы ТИ и ТС; *ДИ* – дисплей информационный; *1* – каналы связи от нижнего уровня; *2* – каналы связи с верхним уровнем и обратные каналы к нижнему уровню

объеме ретранслируется по каналам в ЦППС высшего уровня управления и в ЦППС соседних диспетчерских пунктов. Заданный объем ТИ, ТС через *УС* и *ВТИС* выводятся на мнемосхему и аналоговые приборы *ДЩ*. Часть ТИ (важнейшие параметры режима) масштабируется для автоматического вывода на цифровые приборы и по запросу на экран диспетчерского дисплея *ДИ*. Программы обработки предусматривают простейшую достоверизацию ТИ по сигналам неисправности тракта передачи с автоматической заменой на *ЦП* недостоверного ТИ дублирующим параметром. Управление всеми или отдельными *ЦП* возможно и от мини-ЭВМ через РПТ. РПТ может также осуществлять формирование нескольких суммарных показателей (суммирование ТИ). Все средства отображения переключателем *П1* подключены к рабочей РПТ. Псевдоизмерения и цифро-буквенная информация передаются из рабочей мини-ЭВМ в рабочую РПТ и далее в каналы межуровневого обмена.

При сбоях канальных адаптеров или всей РПТ производится автоматический перезапуск. При отказе рабочей РПТ рабочая мини-ЭВМ обнаруживает прекращение связи с ней и назначает резервную РПТ рабочей, производя следующие операции: активизирует с ней связь; переключает на нее с помощью *П1* средства отображения, а с помощью *П2* – обратные каналы. Квитанции передатчикам УТМ по обратным каналам посылаются только от рабочей РПТ.

Виды передаваемой информации. Информация, циркулирующая в СПОД, подразделяется на рабочую и служебную. К рабочей информации относятся следующие виды сообщений:

ТИ — телеизмерения текущих значений контролируемых параметров. Передача ТИ может идти в направлении "снизу вверх" (прямой канал) и "сверху вниз" (обратный канал);

ТС — телесигнализация положения коммутационной аппаратуры (передача по прямому и обратному каналам);

ТИР — телеизмерения для телерегулирования. Предназначены для ввода в ЭВМ, выполняющей функции центрального регулятора системы АРЧМ. Передача ведется по прямому каналу;

ТКР — телекоманды для телерегулирования. Передаются от центрального регулятора к регуляторам на энергообъектах по обратному каналу СПОД или по специально выделенным каналам;

ТИВ — телеизмерения по вызову. Передаются по прямому каналу в результате получения по обратному каналу команды вызова;

ТСВ — телесигнализация по вызову. Передается группа ТС по прямому каналу в результате получения по обратному каналу команды вызова;

ЦБИ — цифро-буквенная информация. Передается по прямому и (или) обратному каналу для составления суточной ведомости, межмашинного обмена данными.

Служебная информация объединяет сообщения о режимах передачи, состоянии каналов связи, маршрутизации информации, квитанции о приеме, переспросах забракованных слов и т. п.

Кодирование сообщений. Протокол обмена информацией в СПОД см. § 5.2.

Технические характеристики ЦППС СПОД верхнего уровня. В период с 1980 по 1983 г. все устройства телемеханики, передававшие информацию из ОДУ ОЭС в ЦДУ ЕЭС СССР, заменены двухмашинными комплексами ЦППС СПОД на микроЭВМ РПТ-70.

Объем телеинформации, принимаемой ЦППС по каналам и передаваемой в мини-ЭВМ, — до 2000 информационных байт (1 байт соответствует 1 ТИ или 8 ТС), объем телеинформации, ретранслируемой по одному направлению, — до 250 информационных байт; апертурное сжатие ретранслируемых ТИ — три группы с различным шагом апертурности (1, 2 и 3 кванта); количество ТИ, масштабируемых для отображения на дисплее или на цифровых приборах, — до 250; объем информации, выводимой на диспетчерский щит через устройство воспроизведения телесигналов (определяется возможностями устройства сопряжения УС), — до 1440 сигналов и до 180 аналоговых измерений (приборов).

Благодаря применению адаптивного метода передачи объем передаваемой оперативной информации (ТИ, ТС) в единицу времени увеличен в 3—4 раза при той же скорости передачи по каналам связи. Обес-

печен межмашинный межуровневый обмен путем посылки по тем же каналам связи цифро-буквенной информации.

В ЦДУ ЕЭС СССР внедрена ЦППС на микроЭВМ РПТ-70 (двухмашинный комплекс) также для системы автоматического регулирования частоты и мощности (АРЧМ). ЦППС обеспечивает прием параметров ТИР от передатчиков устройств телемеханики УТК и ТМ-512 и передачу команд ТКР к объектам телерегулирования через приемники УТК.

СПОД в энергосистемах

Основные отличия СПОД на уровне энергосистем от верхнего уровня состоят в следующем:

ЦППС СПОД дополнительно к функциям приема—передачи и ретрансляции информации выполняет функции ОИУК (микроОИУК АСДУ), обеспечивающего решение задач оперативного контроля режима энергосистем. Эти дополнительные функции необходимы для ЦДП энергосистем, на которых отсутствуют мини-ЭВМ;

число каналов связи ЦППС может достигать 50—60 (для крупных энергосистем), число направлений ретрансляции — до четырех;

в качестве периферийных станций телемеханики (ПСТ) на энергообъектах используются, как правило, устройства телемеханики различных типов. Однако на крупных энергообъектах в качестве ПСТ все в большей степени будут применяться микропроцессорные устройства, обеспечивающие более эффективное использование каналов связи и одновременно выполняющие некоторые дополнительные функции микроОИУК АСУ ТП;

предусматривается функция ТУ, особенно для энергосистем, в состав которых входят ГЭС (для ТУ пуском и остановом генераторов ГЭС).

Центральная приемо-передающая станция для энергосистем на базе РПТ-80. ЦППС для энергосистем выполняется на базе двух микроЭВМ РПТ-80, она заменяет все УТМ, установленные на ДП. Одновременно ЦППС выполняет функции микроОИУК АСДУ. Состав технических средств аналогичен ЦППС СПОД на базе РПТ-70 и отличается лишь типом микроЭВМ (РПТ-80), наличием гибких магнитных дисков (флопи-диски) НГМД, АЦПУ, а также использованием трех псевдографических дисплеев типа ВДТ.

Основными функциями ЦППС энергосистем являются: прием ТИ (до 1000), ТС (до 2000) по каналам от передатчиков УТМ типа ТМ-512, ТМ-800, МКТ-1 и МКТ-2, УТК-1, установленных на энергообъектах; ретрансляция ТИ (до 100), ТС (до 200) в ЦППС ОДУ и ЦППС соседних ЭЭС (до трех); автоматический вывод телеинформации на mnemonic-схему ДЩ (ТС) и на аналоговые приборы пульта (ТИ); масштабирование ТИ (до 100), сравнение ТИ с заданными пределами, формирование

суммарных параметров ТИ, отображение по запросу с клавиатуры на экране дисплеев таблиц или схем текущего режима (до 10), архивных наборов ТИ (до 10 наборов), таблиц для ввода данных суточной ведомости, таблиц для передачи цифро-буквенных сообщений в ОДУ; ввод с экрана дисплея и передача в ЦППС ОДУ данных суточной ведомости; автоматический ввод информации от цифровых частотомеров и электронных часов для отображения частоты и астрономического времени, автоматический обмен данными с мини-ЭВМ [ввод в мини-ЭВМ всех ТИ, ТС; вывод из мини-ЭВМ псевдоизмерений и данных суточной ведомости (СВ) для передачи их в РПТ ОДУ].

Для энергосистем, не оснащенных новыми мини-ЭВМ, предусмотрены дополнительные функции: ввод (ручной и автоматический), хранение в течение суток, распечатка и передача по каналу данных СВ; формирование, хранение в течение 24 ч (с дискретностью 10 мин), отображение и печать архива ТИ (до 100 параметров); обмен с помощью дисплея цифро-буквенной информацией между энергосистемой и ОДУ (режим "телетайп").

Основу комплекса составляют две микроЭВМ РПТ-80 с ОЗУ 12 Кбайт, ППЗУ 48 Кбайт, набором интерфейсных модулей для подключения внешних устройств, канальными адаптерами КА (до 16) для подключения УТМ или РПТ. В нормальном режиме работы обе микроЭВМ осуществляют прием телеинформации параллельно. Одна из них, назначенная оператором "рабочей", осуществляет управление средствами отображения информации, ретрансляцией ТИ, ТС и передачей данных СВ в ОДУ, обменом данными с мини-ЭВМ ОИУК энергосистемы. Вторая микроЭВМ находится в горячем резерве. Обе ЭВМ обмениваются сигналами состояния. При отказе рабочей резервная машина автоматически берет на себя ее функции (на первом этапе — вручную).

Надежность ЦППС обеспечивается: хранением программ и констант в ППЗУ; автоматическим перезапуском при сбоях как отдельных КА, так и всей микроЭВМ; взаимным резервированием двух ЭВМ; дублированием средств отображения информации (аналоговые приборы, дисплей). Для обмена с мини-ЭВМ ОИУК каждая РПТ подключается к дуплексным регистрам или синхронно-асинхронному интерфейсу мини-ЭВМ.

Два из трех дисплеев типа ВДТ (информационные) предназначены для установки на диспетчерском пульте. Эти дисплеи используются для отображения таблиц или схем с текущими значениями ТИ и текущим положением ТС. Одна из таблиц предназначена для ввода с клавиатуры данных СВ, передаваемой в ОДУ. Таблица СВ заполняется соответствующей цифровой информацией, которая вводится в РПТ и передается на ДП ОЭС. Третий дисплей — сервисный — устанавливается рядом с РПТ и используется для отладки и проверки системы. С помощью ручного переключателя дисплеи могут подключаться к любой из двух микроЭВМ.

К январю 1988 г. ЦППС на базе РПТ-80 внедрены на ЦДП 66 энергосистем: 21 — в ОЭС Центра, 10 — в ОЭС Юга, 8 — в ОЭС Северо-Запада, 8 — в ОЭС Казахстана, 8 — в ОЭС Сибири, 6 — в ОЭС Северного Кавказа, 3 — в ОЭС Закавказья, 2 — в ОЭС Урала. В ближайшие годы планируется оснащение аналогичными ЦППС еще 22 энергосистем.

1.3. МНОГОУРОВНЕВАЯ ТЕЛЕИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА

На базе ОИК двух верхних уровней АСДУ (ЦДУ ЕЭС, ОДУ ОЭС) во ВНИИЭ разработана структура многоуровневой телеинформационно-управляющей системы (МТИУС), охватывающей все уровни диспетчерского управления (ДУ) [28]. МТИУС состоит из двух систем: транспортной системы СПОД, объединяющей все уровни ДУ "по вертикали", и системы обработки и представления диспетчерской информации ДИУС (диспетчерская информационно-управляющая система) на каждом уровне ДУ.

Системы СПОД и ДИУС образуют оперативный информационно-управляющий комплекс АСДУ соответствующего диспетчерского центра.

Система СПОД является информационным стволom МТИУС. На каждом уровне ДУ устанавливаются центральные приемо-передающие станции СПОД, соединенные между собой каналами связи. Оперативная информация (ТИ, ТС) поступает на ЦППС по каналам связи от периферийных станций (ПСТ), расположенных на соответствующих энергообъектах (ЭО). На первом этапе в качестве ПСТ используются полуккомплекты КП существующих УТМ. Команды ТУ от ЦППС передаются на ЭО по каналам связи обратного направления. ДИУС соответствующих уровней ДУ являются абонентами СПОД. По каналам СПОД осуществляется также передача цифро-буквенной информации (ЦБИ), которая используется, например, для составления диспетчерских ведомостей (ДВ) и межмашинного межуровневого обмена данными (ММО).

Основные функции ЦППС — транспортировка информации:

прием телеинформации (ТИ, ТС, ЦБИ) из каналов связи через канальные адаптеры от телепередатчиков различных типов УТМ;

ретрансляция телеинформации на ЦППС вышестоящего или смежного уровня ДУ с предварительной обработкой данных с целью сжатия, выявления приоритетов при передаче и т. п.;

кодовый контроль достоверности телеинформации;

формирование и передача команд ТУ и телерегулирования (ТР);

вызов телеинформации по требованиям диспетчера или автоматически (при сбоях приема);

контроль состояния каналов связи и автоматический переход на исправный канал;

автоматический обмен данными с мини-(или микро)ЭВМ ДИУС (ввод в ЭВМ всех ТИ, ТС, псевдоизмерений и ЦБИ);

управление щитом и пультом (приборы, символы);

управление дисплеями (до четырех);

регистрация телеинформации на АЦПУ автоматически и по запросу;

автоматический ввод в ЦППС информации от цифровых частотомеров и электронных часов для отображения промышленной частоты и астрономического времени.

Дополнительные функции ЦППС — первичная обработка телеинформации:

масштабирование ТИ (перевод кодовых значений в абсолютные);
достоверизация ТИ и ТС;

контроль пределов ТИ, изменившихся ТС;

вычисление алгебраических сумм ТИ и обобщенных ТС;

усреднение, текущее сглаживание ТИ;

формирование таблиц данных;

ведение архивов данных;

ведение диспетчерских ведомостей.

По информационной емкости и выполняемым функциям ЦППС подразделяется на три типа: А, В, С.

Станция типа А предназначена для относительно небольших ДП, на которых другие ЭВМ для целей ДИУС отсутствуют. При этом микроЭВМ должны иметь в своем составе гибкие магнитные диски (НМД) для выполнения дополнительных функций (ведение диспетчерских ведомостей и архивов).

Станция типа В устанавливается на ДП, имеющих выделенные ЭВМ (обычно мини-ЭВМ) для задач ДИУС. При этом производится первичная обработка для части объема телеинформации (примерно 10–15%), и выполняются резервные функции микроОИУК на случай повреждения мини-ЭВМ ДИУС.

Станция типа С выполняется на современных мегабайтных микроЭВМ, например СМ-1810, и совмещает основные и дополнительные функции приема и обработки в полном объеме вводимой телеинформации без использования дополнительных мини-ЭВМ ДИУС. На мини-ЭВМ при этом возлагаются функции расширенной ДИУС, связанные с решением режимно-технологических задач (оценка состояния, расчет токов КЗ, потокораспределение и т. п.).

В табл. 1.2 приведены ориентировочные данные информационной емкости ЦППС.

Объем ретранслируемой на высший уровень ДУ информации составляет 10–15% суммарного объема вводимой в ЦППС телеинформации. Объем АЦИ — один блок (250 байт).

Каналы связи, связывающие ЦППС различных уровней ДУ, подклю-

Таблица 1.2. Информационная емкость ЦППС

Тип ЦППС	Суммарный максимальный объем вводимой телеинформации		Объем ТИ + ТС с первичной обработкой и отображением на дисплеи, байт
	ТИ, байт	ТС, байт	
A1	160	320	200
A2	512	1024	640
B	1024	2048	1280
C	2048	4096	2560

Таблица 1.3. МикроЭВМ ЦППС СПОД

Уровень ДП	Тип ЦППС		
	A	B	C
ЦДУ ЕЭС СССР	—	РПТ-80	ВТ-32
ОДУ ОЭС	—	РПТ-80	ВТ-32
ЦДП РЭУ	РПТ-80	РПТ-80, СМ-1800, АИСТ, ГРАНИТ	СМ-1810
ДП ПЭС	СМ-1800, ГРАНИТ	СМ-1800, АИСТ, ГРАНИТ	СМ-1810
ДП РЭС	СМ-1800, ГРАНИТ, АИСТ-РС	—	—

чаются через канальные адаптеры (КА), входящие в состав ЦППС по схеме точка—точка.

Каждый КА рассчитан на подключение до четырех основных и четырех резервных дуплексных каналов, передающих информацию от однотипных передающих устройств (в том числе устройств телемеханики). Переход с основного канала на резервный осуществляется автоматически.

Число канальных адаптеров: для ЦППС А — до 8; для ЦППС В и С — до 16.

Скорости передачи телеинформации по каналам связи выбираются из ряда: 50, 100, 200, 600, 1200 бит/с. Средняя скорость по всем каналам не должна превышать 200 бит/с.

ЦППС СПОД реализуются на микроЭВМ или микропроцессорных УТМ.

Распределение рекомендуемых типов микроЭВМ и микропроцессорных УТМ по уровням ДУ приведено в табл. 1.3.

На энергообъектах в качестве периферийных станций СПОД (ПСТ) могут устанавливаться УТМ (полукомплекты КП), выпускаемые отечественной промышленностью (МКТ, УТК, ТМ-512, ТМ-120М и др.), программируемые микропроцессорные устройства телемеханики типа АИСТ-КП, АИСТ-КП-РС, а также непрограммируемый (неинтеллектуальный) аппарат КП ГРАНИТ.

Требования надежности функционирования ЦППС СПОД обеспечиваются:

резервированием функций ЦППС в двухмашинном комплексе микроЭВМ с автоматическим переключением на исправно работающую микроЭВМ;

резервированием каналов связи приема и передачи телеинформации с автоматическим выбором исправного канала;

перераспределением функций обработки телеинформации: при выходе из строя мини-ЭВМ ДИУС функцию обработки для основных параметров ТИ-ТС (10–15% полного объема обработки телеинформации) берет на себя ЦППС В;

тестированием всех основных элементов комплекса СПОД и протоколированием результатов.

Система ДИУС представляет собой комплекс технических средств и программного обеспечения, предназначенных для оказания информационной и вычислительной помощи и выдачи рекомендаций (советов) диспетчерскому персоналу по оперативному ведению режима, а также решения ряда технологических задач, связанных с оперативным ведением режима в нормальных и аварийных условиях.

Основными функциями ДИУС, общими для всех уровней ДУ, являются:

оперативная обработка телеинформации и данных диспетчерской ведомости*;

ведение архивов оперативной информации, данных ДВ и нормативно-справочной информации;

организация диалога пользователя с ЭВМ, в том числе редактирование данных;

отображение информации автоматически и по запросам на терминалах различного вида (дисплеи, табло, АЦПУ и т. д.);

решение комплекса технологических задач, состав которых определяется уровнем ДУ и характеристиками контролируемых процессов;

построение экспертных систем и тренажеров.

* Функция оперативной обработки телеинформации распределяется между микроЭВМ СПОД и мини-ЭВМ ДИУС. С увеличением производительности микроЭВМ задачи оперативной обработки телеинформации все в большей степени переходят на средства СПОД.

На верхних уровнях ДУ (РЭУ и выше) в состав режимно-технологических задач включаются:

комплекс задач оценивания состояния;

прогнозирование нагрузки;

выработка советов диспетчеру в текущем и перспективном режимах;

автоматическое регулирование частоты и активной мощности;

контроль за потреблением мощности и электроэнергии;

экспресс-расчеты режимов работы энергосистем;

задачи режимных тренажеров;

обмен информацией с "большими" ЭВМ вычислительного комплекса АСДУ.

На нижних уровнях ДУ (РЭС, ПЭС) в состав режимно-технологических задач ДИУС включаются задачи оперативного регулирования напряжения в узловых точках сети, управление нагрузкой, определение мест повреждения в электрических сетях и др.

Технической базой ДИУС являются, как правило, мини-ЭВМ типов ЕС-1011, СМ-1420 либо (на нижних уровнях ДУ) мощные микроЭВМ (СМ-1810, ВТ-32 и т. п.).

Увеличение режимно-технологических задач и переход от только информационных к информационно-вычислительным функциям требует расширения базы данных и привлечения дополнительных вычислительных мощностей для повышения общей производительности системы. Отсюда возникает необходимость использования распределенного банка данных (РБД) и межмашинного обмена данными между ЭВМ, входящими в ОИУК одного уровня ДУ, а также межуровневого обмена данными между ЭВМ смежных уровней.

Наиболее полно отвечает требованиям межмашинного обмена между ЭВМ, входящими в ОИУК одного уровня, принцип построения многомашинных комплексов на базе локальной вычислительной сети (ЛВС) с использованием моноканала, объединяющего все ЭВМ, входящие в ЛВС. ЛВС является наиболее распространенной современной системой, позволяющей сравнительно простыми средствами обеспечить:

высокую надежность обработки информации за счет децентрализации функций и резервирования;

возможность расширения вычислительных мощностей за счет подключения к моноканалу дополнительных микро (мини) ЭВМ, дисплеев персональных ЭВМ и т. п.;

возможность использования ЭВМ различных типов, этапность развития. Дальнейшее расширение вычислительных мощностей достигается межуровневым обменом данными между ЭВМ смежным уровнем.

ЭВМ, входящие в ДИУС смежных уровней ДУ, попарно связываются друг с другом каналами связи прямого обмена (КПО). Обмен информацией между ДИУС осуществляется по структуре точка-точка, вы-

ход на канал КПО имеет только одна из ЭВМ ДИУС данного уровня (не обязательно одна и та же).

Каналы КПО должны быть достаточно высокоскоростными для обеспечения эффективного функционирования многоуровневой ДИУС (несколько килобит в секунду).

Типовые конфигурации технических средств в составе МТИУС

В зависимости от уровня ДУ и объемов обрабатываемой телеинформации можно выделить ряд типовых структур ОИУК АСДУ: А, В и С.

Комплексы типа ОИУК—А построены на базе двух микроЭВМ (типов РПТ-80, СМ-1810 или УТМ ГРАНИТ) и предназначены в основном для применения на нижних уровнях управления (малые и средние ПЭС, РЭС).

Для микроЭВМ комплексов ОИУК—А обязательно наличие НМД. В зависимости от типа используемой ЭВМ поддерживается от двух до шести дисплеев, количество обрабатываемых ТИ — до 500, количество ТС — до 1000.

Комплексы типа ОИУК—В построены на базе одной или двух мини-ЭВМ типа СМ-1420 и двух предвключенных микроЭВМ типа РПТ-80 или СМ-1800 или УТМ типа ГРАНИТ или АИСТ. Эти комплексы предназначены для использования в крупных ПЭС, малых и средних РЭУ.

Для комплексов ОИУК—В необходимо наличие внешней памяти не менее 30 Мбайт; поддерживается до 16 дисплеев, количество обрабатываемых ТИ — до 1000, сигналов ТС — до 2000. Объем оперативной памяти в ЭВМ СМ-1420 — до 2 Мбайт, в микроЭВМ — не менее 64 Кбайт.

Для обеспечения функций управления средствами коллективного отображения, а также резервирования мини-ЭВМ микроЭВМ в составе ОИУК—В должна выполнять полную обработку части телемеханических параметров (примерно до 10% общего числа ТИ).

Комплексы типа ОИУК—С построены на базе одной или двух мини-ЭВМ типа СМ-1420 или ЕС-1011 и двух микроЭВМ типа СМ-1810 или ВТ-32. Эти комплексы предназначены для использования в крупных РЭС и ОДУ. Отличительной особенностью комплексов является возможность построения моноканальной ЛВС для расширения функциональных возможностей системы.

Для комплексов ОИУК—С необходимо наличие внешней памяти до 50 Мбайт; поддерживается до 24 дисплеев, количество обрабатываемых ТИ — до 2000, ТС — до 4000. Объем оперативной памяти мини-ЭВМ — не менее 2 Мбайт.

Для всех трех основных конфигураций комплекса должны быть обеспечены как возможность подключения резервных устройств, так и несколько уровней деградации — программное обеспечение должно продолжать функционировать, выполняя меньший объем функций. При деградации комплекса допускается ручной переход с одного уровня на другой.

Во всех комплексах должна предусматриваться возможность тестирования всех основных элементов комплексов как в целом, так и автономно.

1.4. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ (АСДУ РС)

Создание АСДУ РС является одной из важнейших задач автоматизации управления электроснабжения потребителей электроэнергетики.

Основная цель АСДУ РС — повышение надежности и качества электроснабжения потребителей и снижение потерь при транспортировке электроэнергии. Если на верхних уровнях ДУ (ЦДУ ЕЭС СССР, ОДУ ОЭС, ЦДП РЭУ) проблема создания АСДУ в основном решена, то автоматизация управления распределительными электросетями 220–10 кВ практически находится в зачаточном состоянии.

Основная специфика АСДУ РС:

1) массовый характер объектов АСДУ (общее число ДП ПЭС и ДП РЭС на 1.01.86 г. составило 2804, понизительных ПС 20 кВ и выше — свыше 28 540); в этих условиях первостепенное значение при выборе аппаратуры для АСДУ приобретают экономические факторы;

2) отличие режимно-технологических задач в АСДУ РС от задач верхнего уровня. К специфическим задачам АСДУ РС, в частности, относятся: контроль и управление электропотреблением в соответствии с установленными лимитами; автоматическое управление и телеуправление режимами работы РС с целью поддержания необходимого уровня напряжения, обеспечения бесперебойности питания потребителей, отыскания и ликвидации повреждений и т. п.;

3) разнообразие типов и конфигураций каналов связи для передачи телеинформации: каналы по ВЛ при многоточечной радиально-магистральной структуре в распределительных сетях 35–220 кВ, каналы тональной частоты, наложенной на сеть 6–10 кВ, радиоканалы УКВ при многоточечной радиальной структуре и т. п.;

4) низкий уровень эксплуатации средств управления и как следствие — повышенные требования к надежности аппаратуры, большой процент управляемых и контролируемых объектов без обслуживающего персонала;

5) тяжелые климатические условия на энергообъектах (неотапливаемые помещения, установка на открытом воздухе, например в сетях 6–10 кВ).

Организация АСДУ РС планируется в рамках концентрации МТИУС (см. § 1.3). Диспетчерское управление распределительными электросетями (220–10 кВ) осуществляется с ДП ПЭС и ДП РЭС.

В ДП ПЭС входят шесть–восемь подчиненных ему ДП РЭС.

На ДП ПЭС и ДП РЭС устанавливаются центральные приемо-передающие ЦППС типов А, В или С в зависимости от объема обрабатываемой информации и наличия выделенной ЭВМ (микро или мини) для решения режимно-технологических задач. В качестве ЦППС используются универсальные микроЭВМ с программируемыми канальными адаптерами, например типа РПТ-80, СМ-1800, СМ-1810 и др., а также пункты управления микропроцессорных УТМ: АИСТ-РС, ГРАНИТ и др. На энергообъектах 35 кВ и выше устанавливаются устройства телемеханики КП-РС: АИСТ КП-РС, КП ГРАНИТ и др.; в сетях 10(6) кВ – УТМ ТРС телекомплексов ТМРС-10 при использовании тональных каналов, наложенных на распределительную сеть 10(6) кВ, и РТС-80 при использовании УКВ радиостанций.

На рис. 1.4 представлена примерная структурная схема организации АСДУ РС. ДП РЭС через микроЭВМ ЦППС и УТМ КП-РС управляет объектами подстанций ПС 35/10 (ТУ) и получает от них информацию телеконтроля ТК (ТИ и ТС). Кроме того, через КП-РС осуществляется ретрансляция команд телеуправления (РТУ) и сигналов телеконтроля (РСТ и РТИ).

В качестве каналов связи на участке ДП РЭС-ПС 35/10 используется ВЧ связь по ВЛ 35 кВ (К-35 на рис. 1.4), на участке ПС 35/10 – сеть 10 (6) кВ – канал тональной частоты (К-10).

Возможна также непосредственная связь между ЦППС ДП РЭС и объектами сети 10 (6) кВ по радиоканалу УКВ.

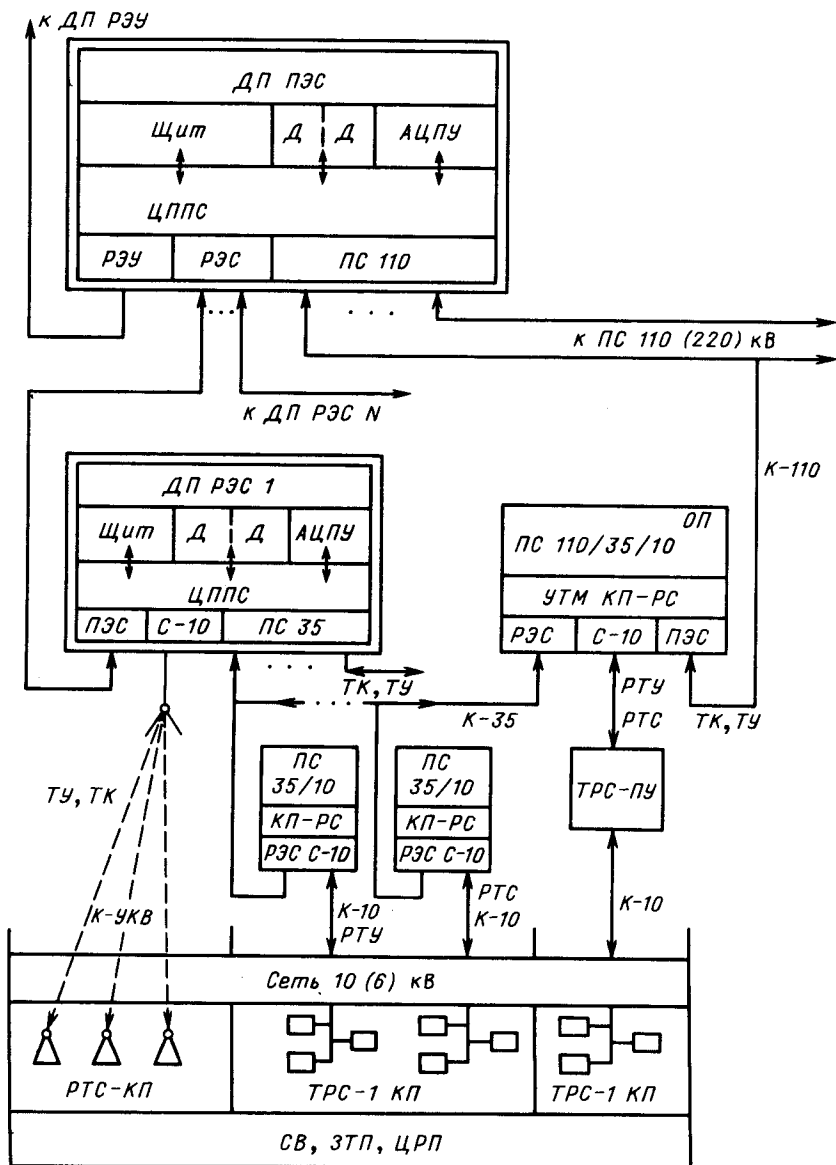
ДП ПЭС контролирует крупные ПС с высшим напряжением 110 (220) кВ, которые связаны с ним каналами ВЧ связи. Как правило, эти подстанции являются опорными подстанциями (ОП) для управления сетями 10 (6) кВ. ОП тоже связаны с ДП РЭС, и через них осуществляется управление объектами 10 (6) кВ – РТУ, РТС, РТИ.

В качестве каналов связи для передачи телеинформации между ДП РЭС и ДП ПЭС используется, как правило, ВЧ канал по ВЛ 110 (220) или 35 кВ, если ДП ПЭС и ДП РЭС располагаются вблизи (а часто и на территории) высоковольтных подстанций. В противном случае используются проводные телефонные каналы с уплотнением.

ЦППС на ДП ПЭС и ДП РЭС выполняют функции приема – передачи информации со всех каналов связи и ретрансляцию необходимой информации на вышестоящий уровень ДУ. Кроме того, ЦППС осуществляют обработку телеинформации (в необходимом объеме), управление средствами отображения коллективного (щиты) и индивидуального (дисплей) пользования, осуществляют регистрацию событий на АЦПУ и в зависимости от типа ЦППС решают некоторые режимно-технологические задачи АСУ ТП, например задачу секционирования с целью уменьшения потерь в сетях, определения места повреждения, регистрации срабатывания защит и т. п.

Программируемые КА обеспечивают сопряжение ЦППС с разнотипными каналами связи и УТМ (рис. 1.5). Число обслуживаемых каналов

связи, их конфигурация и типы используемых УТМ на КП определяют числом КА в данной ЦППС и их программным обеспечением. Так, для ЦППС на базе СМ-1800 располагается до 16 КА типа МСКТ (см.



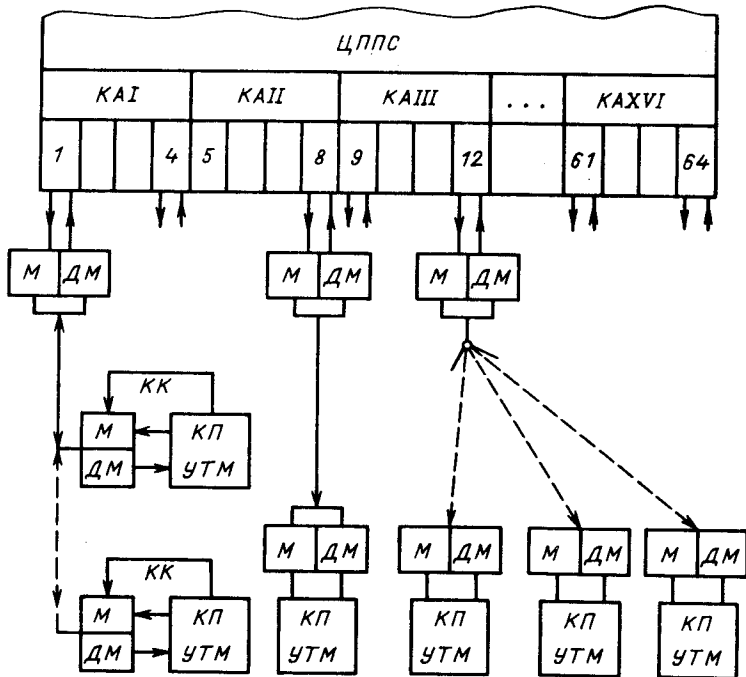


Рис. 1.5. Канальные адаптеры ЦППС РЭС:

KA I . . . KA XVI – платы канальных адаптеров; 1 . . . 64 – номера дуплексных каналов связи; *М, ДМ* – модуляторы и демодуляторы модемов; *КК* – канальные ключи

Рис. 1.4. Структурная схема АСДУ РС:

ЦППС – центральная приемно-передающая станция (микроЭВМ); *Д* – дисклей; *АСПУ* – аналого-цифровое печатающее устройство; *КП-РС* – периферийные микропроцессорные УТМ ПС 110/35/10 кВ; *ОП* – опорная подстанция; *С-10* – распределительная сеть 10(6) кВ; *РТУ, РТС* – ретрансляция команд ТУ и сигналов ТС в распределительную сеть или из нее; *ТУ, ТК* – команды ТУ, сообщение телеконтроля ТК; *ТРС-ПУ* – полукомплект ПУ УТМ ТРС; *ТРС-1 КП* – полукомплект КП УТМ ТРС; *РТС-КП* – полукомплекты КП УТМ, работающие по радиоканалу; *СВ* – секционирующие выключатели; *ЗТП* – закрытые трансформаторные пункты; *ЦРП* – распределительные переключательные пункты; *К-110* – ВЧ канал связи по ВЛ 110 кВ; *К-35* – ВЧ канал связи по ВЛ 35 кВ; *К-10* – тональный канал связи по распределительной сети 10(6) кВ; *К-УКВ* – радиоканал УКВ

§ 5.5). Каждый КА рассчитан на подключение до четырех дуплексных каналов связи с одинаковым канальным протоколом. Это означает, что все четыре канала данного КА имеют одинаковую программу приема—передачи и могут обслуживать однотипные периферийные УТМ, например КП—РС АИСТ, КП МКТ, КП ТМ-512 и т. п.

Каждый канал КА может обслуживать структуру "точка—точка", "многоточечную радиальную" либо "многоточечную магистральную" структуры телекомплекса. На одном КА может быть реализована лишь одна структура: либо радиальная, либо магистральная. К каждой магистрали может быть подключено до восьми КП. При этом КП, подключаемые к общей магистрали, т. е. использующие общий для всех КП канал связи, должны обеспечивать возможность коммутации несущей частоты в общем канале (КАI на рис. 1.5). Для этой цели служат канальные ключи (КК), которые по командам, полученным от КП, подключают соответствующий модулятор (М) к общему каналу связи.

Канальный адаптер (КАIII на рис. 1.5) при наличии соответствующей программы может обеспечивать связь ЦППС с КП устройств ТМ типа ТРС, располагаемых на энергообъектах сети 10 (6) кВ по тональному каналу ВЛ 10 кВ либо по радиоканалу УКВ. Программа обеспечивает поочередную посылку запросов и прием телеинформации со всех КП в сети 10 (6) кВ, имеющих связь с данным ДП. Предусматривается также посылка команд ТУ на выбранные КП. Всего возможно подключение до 15 КП ТРС-1 к одному двустороннему каналу КАIII.

Канальный адаптер КАII обеспечивает подключение четырех КП УТМ по структуре "точка—точка".

Глава вторая

ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКИЕ СООБЩЕНИЯ И ИХ ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

2.1. ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБСЛУЖИВАНИЕ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

Телемеханические сообщения — это содержание передачи телемеханических систем: сведения о значениях контролируемых параметров (телеизмерения), о состоянии коммутационной аппаратуры (телесигнализация), приказы на включение или отключение выключательной мощности (телеуправление), сведения о величине уставок для регуляторов мощности, напряжения и т. п.

Сообщения от автоматических датчиков или от человека-оператора поступают в передающее устройство телемеханики, преобразующее сообщение в сигнал, передаваемый по каналу связи. Сигнал — это физический процесс (например, последовательность электрических импульсов), однозначно соответствующий данному сообщению.

Сообщение — это объект передачи, а сигнал — средство передачи данного сообщения. Выбор вида сигнала определяется типом канала связи, по которому должно передаваться сообщение. Так, при электрической связи сообщение передается с помощью электрических сигналов, при радиосвязи — с помощью радиосигналов, при световой связи — световыми сигналами и т. п.

В телемеханических системах в энергетике используются, как правило, электрические и радиоканалы связи. В последнее время стали применяться световодные каналы, которые по своим параметрам, особенно в части обеспечения высокой помехоустойчивости, превосходят все применявшиеся ранее типы каналов связи.

Основными характеристиками телемеханических сообщений являются:

высокая достоверность сообщений. Передача ложных сообщений должна быть практически исключена, поскольку при этом, особенно при телеуправлении, возможны катастрофические последствия, вплоть до человеческих жертв. Достоверность сообщений оценивается вероятностью обнаружения ошибок при приеме сообщений, вероятностью исправления ошибок, вероятностью приема ложных сообщений и т. п.;

оперативность передачи сообщений. Телемеханические сообщения должны передаваться в темпе контролируемого и управляемого процесса. Режим реального времени определяет допустимые задержки и запаздывания при передаче телемеханических сообщений;

высокая эффективность использования канала связи. Телемеханические сообщения должны занимать минимальный объем канала связи, с тем чтобы по данному каналу передавать максимум сообщений. (Как известно, объем канала связи V_k определяется произведением ширины частотной полосы канала ΔF_k , времени занятости канала T_k и отношения мощностей уровней сигнал/помеха: $V_k = \Delta F_k T_k \times \lg \frac{P_c}{P_n}$;

высокая информативность сообщения. Каждое сообщение должно содержать новые сведения, неизвестные получателю до получения данного сообщения. Именно эти сведения и являются информационным содержанием сообщения. Информация о контролируемом процессе необходима для целенаправленного управления этим процессом.

Обслуживание случайных процессов в телеинформационных системах

Контролируемые процессы, информация о которых передается телеинформационными системами в пункты управления, являются случайными. Процесс получения информации можно рассматривать как обслуживание случайных процессов с целью извлечения из них сведений, наиболее полно отражающих контролируемый процесс. С этой точки зрения передающее устройство телеконтроля является обслуживающим устройством телеконтроля, качество обслуживания которого может характеризоваться понятиями теории массового обслуживания. Контролируемые процессы могут быть условно подразделены на дискретные и непрерывные. Дискретные процессы (например, двухпозиционная телесигнализация) характеризуются моментами появления заявок (изменение состояния объекта ТС), интенсивностью заявок, времени обслуживания заявки, длиной очереди обслуживания, потерей заявок и т. п.

Рассмотрение обслуживания непрерывных процессов (например, телеизмерение текущих значений контролируемых параметров в код-импульсных устройствах ТИ) может быть сведено к обслуживанию дискретных процессов.

Под обслуживанием в данном случае понимается квантование по уровню и дискретизация во времени с интервалом T_0 случайного процесса $y(t)$, в результате чего он представляется аппроксимирующей функцией $U(t)$, преобразование значений функции $U(t)$ в кодированные сигналы и передача соответствующих кодовых слов в канал связи (на рис. 2.1 в качестве $U(t)$ изображена цифровая ступенчатая функция). В моменты ν_j пересечения кривой $y(t)$ соответствующего уровня квантования образуются заявки на обслуживание. Моменты начала обслуживания заявок (передача значений параметра) определяются моментом временной дискретизации процесса на соответствующем уровне квантования. Моменты возникновения и обслуживания заявок в общем случае не совпадают друг с другом, в результате чего имеют место задержки обслуживания, потери и пропуски заявок. На рис. 2.1 отмечены: отрезки s_i , пропорциональные длительности задержки обслуживания, вызванной периодичностью опросов T_0 ; потерянные заявки (в предположении, что обслуживается только одна заявка, возникшая последней перед очередным моментом обслуживания); избыточные обслуживания, т. е. передача неизменившихся значений параметра; t_0 — время обслуживания, т. е. время передачи кодовых сигналов, соответствующих измеряемому параметру ТИ. При обслуживании нескольких случайных процессов одним устройством возникают дополнительные задержки и потери из-за очереди на обслуживание. Таким образом, традиционные параметры систем массового обслуживания, такие как средняя длина очереди, среднее время задержки об-

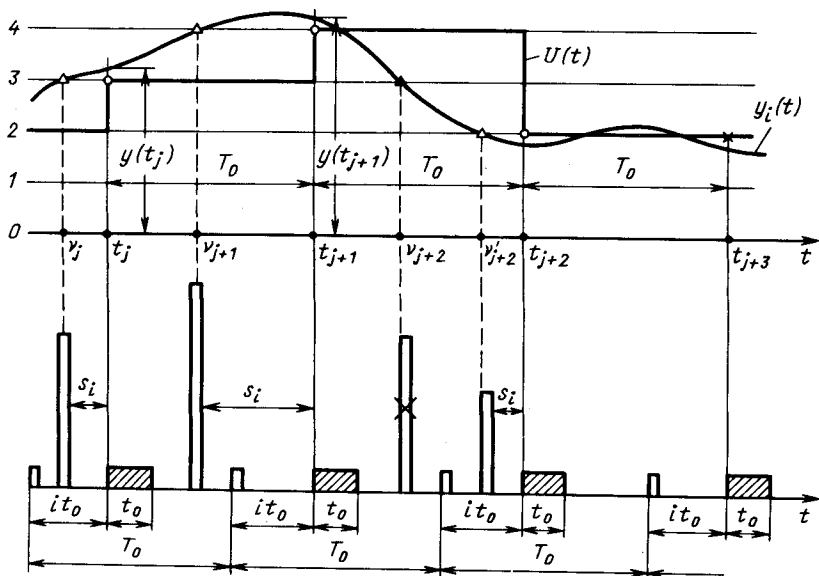


Рис. 2.1. Аппроксимация и обслуживание случайных процессов:

Δ — моменты возникновения заявок v_j, v_{j+1}, \dots ; \circ — моменты начала обслуживания t_j, t_{j+1}, \dots ; \blacktriangle — потерянные заявки; \times — избыточное обслуживание; t_0 — длительность обслуживания; s — задержка обслуживания; T_0 — цикл обслуживания; i — номер канала (параметра); j — номер заявки

служивания, вероятность потерь заявок и др. могут характеризовать и процессы обслуживания в телеизмерительных системах. Однако для более полной их характеристики следует дополнительно к традиционным параметрам обслуживания ввести также точностные показатели, характеризующие качество обслуживания как отдельных заявок, так и всего контролируемого процесса в целом. Так, в момент t_j будет передано значение параметра, равное 3 квантам,

вместо реального значения $y(t_j)$, в момент t_{j+1} передается параметр $U(t_{j+1})$, равный 4 квантам, вместо реального значения $y(t_{j+1})$ и т. д.

Показателем точности (качества) обслуживания отдельных заявок (отсчетов) может служить среднеквадратичная ошибка (СКО) ϵ в точке t . Квадрат СКО определяет близость случайных функций в некоторый момент времени t , например в момент начала обслуживания t_j или конца обслуживания $(t_j + t_0)$:

$$\epsilon_t^2 = M \{ [y(t) - U(t)]^2 \} . \quad (2.1)$$

Для характеристики близости случайных процессов на участке дли-

тельностью T необходимо проинтегрировать показатель точности "в точке" (2.1) в пределах T , т. е. перейти к интегральному показателю точности

$$\epsilon^2 = \frac{1}{T} \int_0^T M \{ [y(t) - U(t)]^2 dt \}, \quad (2.2)$$

где ϵ^2 — квадрат интегральной среднеквадратичной ошибки аппроксимации (СКО).

В дальнейшем изложении выражение (2.2) положено в основу определения СКО аналого-цифрового преобразования в кодоимпульсных системах телеизмерения.

2.2. МЕТОДЫ ПЕРЕДАЧИ ОПЕРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИИ В ТЕЛЕИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ АСДУ

Передача ТИ—ТС

В телеинформационных системах (ТИС) используется принцип временного разделения канала связи для передачи информации от множества датчиков ТИ и ТС, сосредоточенных на данном контролируемом пункте.

Телеизмерительная информация передается кодоимпульсным методом, причем датчики ТИ опрашиваются либо поочередно, либо по определенной программе. Каждая величина ТИ передается n -разрядным кодовым словом, содержащим, как правило, 8 информационных разрядов (информационный байт). Контрольные разряды могут передаваться в составе каждого слова или в конце группы слов (кодového блока).

Кодовое слово вместо информации ТИ может нести информацию ТС. В простейшем случае каждый информационный разряд ставится в соответствие положению одного двухпозиционного объекта ТС, т. е. одно кодовое слово обычно содержит до 8 двухпозиционных сигналов ТС, образующих одну группу ТС.

Различают следующие способы передачи информации ТИ—ТС в ТИС.

а) *Циклическая передача ТИ—ТС.* В каждом цикле производится опрос всех датчиков ТИ и ТС и передача результатов опроса в виде последовательности кодовых слов. Информация ТИ и ТС передается в канал связи непрерывно циклически. Цикл передачи отделяется от предыдущего так называемым маркерным сигналом (или сигналом начала цикла). Как правило, любое кодовое слово может содержать информацию об одном ТИ или группе ТС. Устройства ТИС могут быть использованы и как устройства чистого ТИ (без ТС), и как устройства ТС (без ТИ).

Для передачи информации циклическим методом требуется лишь однонаправленный (симплексный) канал связи, поскольку информация непрерывно посылается с КП на ДП, осуществляя постоянную проверку канала связи и всего устройства в целом. Метод циклической передачи допускает опрос и передачу информации от датчиков с разной частотой в пределах одного цикла (так называемые ТИС с индивидуальными циклами).

б) *Циклическая передача ТИ и спорадическая передача ТС.* При отсутствии изменения состояния объектов ТС цикл передачи включает только информацию ТИ.

При изменении положения одного или нескольких объектов ТС цикл ТИ дополняется циклом ТС, в течение которого передается состояние либо всех объектов, либо только той группы, в которой произошло изменение состояния. При этом циклы ТИ и ТС передаются до тех пор, пока с ДП на КП не придет квитирующий сигнал, подтверждающий прием ТС на ДП. Для реализации данного метода необходим двусторонний канал связи, по которому осуществляется диалог между ДП и КП. Кроме посылки квитирующих сигналов этот диалог включает в себя запросы по желанию диспетчера о состоянии ТС, а также автоматические запросы при сбоях приема информации. Спорадическая передача ТС требует введения дополнительных адресных слов, указывающих на состав передаваемой информации: адрес ТИ, адрес ТС (целиком или по группам).

в) *Адаптивная передача ТИ–ТС.* Передача информации по каналу связи зависит от самого контролируемого процесса: в результате анализа поведения контролируемого процесса принимается решение о необходимости его передачи в соответствующий момент времени. Существуют различные алгоритмы адаптивной передачи ТИ. Наиболее простой алгоритм – контроль выхода параметра на заданные пределы (апертуру), устанавливаемые вокруг последнего переданного значения параметра, и поочередная передача значений параметров ТИ, нарушивших апертуру. Широко распространены также алгоритм передачи наиболее отклонившегося от ранее переданного значения параметра ТИ, алгоритм с автоматическим изменением границ апертуры в зависимости от абсолютного значения ТИ и т. п.

Информация ТС передается только при изменении состояния контролируемого объекта, т. е. спорадически. При этом широко используются различные приоритеты передачи сообщений в зависимости от их важности в данной ситуации.

Адаптивные методы передачи требуют наличия адресов у каждого ТИ или группы ТС и двусторонней (дуплексной) связи между КП и ДП. Для реализации адаптивных ТИС используются микропроцессорные программируемые системы телемеханики или микроЭВМ.

Адаптивные методы передачи снижают избыточность передаваемых сообщений и тем самым повышают эффективность использования ка-

налов связи и мини-ЭВМ ОИК АСДУ, обрабатывающих телеинформацию.

г) *Передача по методу "запрос-ответ"*. Информация ТИ-ТС передается с КП по запросу, посылаемому с ДП. Запросы посылаются непрерывно циклически и содержат адреса КП и характер запрашиваемой информации. Естественно, метод "запрос-ответ" требует двустороннего канала связи. Ответная информация может передаваться с использованием любого из перечисленных выше методов: циклически от всех датчиков ТИ и ТС; циклически только от датчиков ТИ, а от датчиков ТС — только при изменении состояния объектов; спорадически от датчиков ТИ и ТС в соответствии с принятыми адаптивными алгоритмами передачи. В последнем случае при отсутствии на КП новой информации формируется короткий ответ — квитанция запроса.

Диалог между КП и ДП обеспечивается обменом сигналов, фиксирующих начало и окончание передачи информации с данного КП. Инициатива диалога может принадлежать как КП, так и ДП: при наличии изменения информации на КП он сам может потребовать посылки запроса со стороны ДП, в результате которого новая информация будет передана на ДП.

Передача цифро-буквенной информации

Цифро-буквенная информация передается методом "запрос-ответ". При наличии ЦБИ на стороне передачи (на КП или ДП) передатчик посылает кодовое слово "заявка ЦБИ", означающее, что передатчик готов передать блок ЦБИ. При готовности приемника он отвечает словом готовности принять ЦБИ, в результате чего передатчик посылает блок ЦБИ. Блок ЦБИ содержит кодовые слова: "начало" ЦБИ, число кодовых слов в блоке, кодовые слова ЦБИ, контрольную сумму ЦБИ в блоке и "конец" ЦБИ. Все кодовые слова блока ЦБИ передаются, как правило, в формате кодовых слов ТИ-ТС, т. е. содержат по 8 информационных бит, которыми передаются все множества цифр, знаков и букв алфавита. Блок ЦБИ может временно прерываться кодовыми словами ТИ-ТС, имеющими более высокий приоритет. После передачи информации ТС-ТС возобновляется передача блока ЦБИ на прерванном месте.

Критерии сравнительной оценки методов передач ТИ-ТС

Критерии сравнительной оценки предназначаются для сравнения адаптивных методов передач ТИ-ТС с простейшим циклическим методом. Эти критерии представляют собой коэффициенты, равные отношению соответствующих показателей качества циклического и адаптивных методов передачи. Превышение коэффициента над единицей отражает выигрыш адаптивной системы по сравнению с циклической

по соответствующему параметру сравнения. Совокупность коэффициентов образует многокритериальную систему оценок методов передачи.

Критерии сравнительной оценки подразделяются на основные и вспомогательные. Вспомогательные критерии могут быть выражены через основные.

Основные критерии. а) Коэффициент координатного сжатия

$$K_{сж\delta} = \frac{N_{ц}}{N_a} \quad \text{при} \quad \delta_{ц} = \delta_a, \quad (2.3)$$

где $N_{ц}$, N_a — числа отсчетов непрерывного случайного процесса при циклической и адаптивной передачах, обеспечивающих заданную СКО аппроксимации δ . Поскольку при циклическом методе число отсчетов $N_{ц}$ определяется лишь постоянной частотой опросов независимо от величины контролируемого параметра, а при адаптивном методе число отсчетов N_a при прочих равных условиях учитывает изменчивость контролируемого параметра, то $N_a < N_{ц}$. Однако для правомерности сравнения методов следует учитывать, что при этом должно обеспечиваться равенство СКО аппроксимации δ . Как показывают расчеты [29], коэффициент $K_{сж\delta}$ зависит от отношения ширины апертуры H при адаптивном методе передачи к шагу квантования h при циклическом методе передачи $\left(c = \frac{H}{h}\right)$. При любом значении $c = 1 \div \infty$ $K_{сж\delta}$ оказывается больше единицы. Поэтому коэффициент $K_{сж\delta}$ характеризует уменьшение загрузки канала связи, передающих и приемных устройств при передаче и восстановлении ТИ параметра с заданной точностью.

б) Коэффициенты сравнения СКО передачи ТИ и запаздывания дискретных сообщений при заданной полосе пропускания канала связи ΔF

$$K_{\delta\Delta F} = \frac{\delta_{ц}}{\delta_a}; \quad K_{\bar{S}\Delta F} = \frac{\bar{S}_{ц}}{S_a} \quad \text{при} \quad \Delta F_{ц} = \Delta F_a = \Delta F.$$

Эти коэффициенты в случае, если они больше единицы, показывают, во сколько раз может быть снижена СКО передачи ТИ δ (или среднее запаздывание дискретных сообщений \bar{S}) при использовании адаптивных методов передачи по сравнению с циклическим методом при заданной ширине полосы пропусканий.

Коэффициенты $K_{\delta\Delta F}$ и $K_{\bar{S}\Delta F}$ оказываются больше единицы вследствие того, что адаптивные методы при заданной полосе пропускания канала связи, т. е. при заданной скорости передачи, обеспечивают

меньшее среднее время между обслуживанием реальных заявок за счет отсутствия избыточного обслуживания несущественных заявок.

в) Коэффициент сжатия частотной полосы канала связи при заданных СКО ТИ и запаздывании дискретных сообщений

$$K_{\Delta F \delta} = \frac{\Delta F_{\text{ц}}}{\Delta F_{\text{а}}} \quad \text{при} \quad \delta_{\text{ц}} = \delta_{\text{а}}, \quad (2.4)$$

$$K_{\Delta F \bar{S}} = \frac{\Delta F_{\text{ц}}}{\Delta F_{\text{а}}} \quad \text{при} \quad \bar{S}_{\text{ц}} = \bar{S}_{\text{а}}, \quad (2.5)$$

где $\Delta F_{\text{ц}}$ и $\Delta F_{\text{а}}$ — частотные полосы пропускания канала связи при циклическом и адаптивных методах передачи, необходимые для обеспечения заданной СКО δ ТИ или среднего запаздывания дискретных сообщений \bar{S} . (При сравнении предполагается одинаковость методов модуляции сигналов в канале связи.) Коэффициенты (2.4) и (2.5) определяют выигрыш в повышении эффективности использования частотной полосы канала связи при применении адаптивных методов передачи.

В качестве примера *вспомогательных критериев* приведем коэффициент полезного обслуживания. Обслуживание заявок в циклических системах происходит независимо от их наличия, так сказать, профилактически. Интервал обслуживания, равный времени цикла $T_{\text{ц}}$, выбирается на основании априорных статистических сведений о процессе по максимальной интенсивности заявок от самого быстроменяющегося параметра. Поскольку контролируемые процессы с различными динамическими характеристиками обслуживаются с одинаковым циклом, неизбежны избыточные обслуживания, которые выражаются в том, что по каналу связи передаются значения параметров, не несущие новой информации. Если среднее число избыточных обслуживаний, приходящихся на одно полезное обслуживание, обозначить \bar{r} , то коэффициент полезного обслуживания

$$\eta = \frac{1}{\bar{r} + 1} \quad (2.6)$$

показывает, какую часть общего числа обслуживаний составляет полезное обслуживание. Для параметров с разными динамическими характеристиками коэффициенты η различны.

При адаптивном методе передачи обслуживание производится лишь при наличии заявки, т. е. избыточное обслуживание в принципе отсутствует ($\bar{r}_{\text{а}} = 0$). Заметим, что при условии равенства СКО передачи ТИ в циклической и адаптивных системах ($\delta_{\text{а}} = \delta_{\text{ц}}$) коэффициент полезного обслуживания есть не что иное, как величина, обратная коэффициенту координатного сжатия (2.3).

Действительно,

$$\frac{1}{K_{сж\delta}} = \frac{N_a}{N_{ц}} = \frac{N_a}{N_a + R} = \frac{1}{1 + \bar{r}} = \eta,$$

где $\bar{r} = \frac{R}{N_a}$ — среднее число избыточных обслуживаний на один полезный отсчет.

2.3. ПОГРЕШНОСТИ ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЯ

Погрешность ТИ характеризует степень несоответствия показаний приемного измерительного прибора действительному значению измеряемой величины.

Согласно ГОСТ 26.205—83* устанавливаются классы точности каналов ТИ для устройств и комплексов при цифровом и аналоговом воспроизведении телеизмеряемых параметров из следующего ряда: 0,15; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,5; 2,5.

Общие показатели погрешности

Погрешность канала ТИ характеризуется абсолютной погрешностью ΔA , относительной погрешностью $\delta\%$ и приведенной погрешностью $\delta'\%$:

$$\Delta A = A_{п} - A; \quad \delta\% = \frac{\Delta A}{A} 100; \quad \delta'\% = \frac{\Delta A}{A_{шк}} 100,$$

где $A_{п}$ — показания приемного прибора ТИ; A — действительное значение измеряемой величины, определяемое по показаниям образцового прибора; $A_{шк}$ — диапазон шкалы измерений.

Класс точности канала ТИ определяется относительной приведенной погрешностью при номинальных условиях работы всех составляющих системы телеизмерения: $\delta'\%$ при этих условиях не должно превышать значения соответствующего класса. Влияние внешних факторов на работу системы ТИ характеризуется так называемой дополнительной погрешностью. В отличие от основной погрешности, которая определяется при номинальных условиях, дополнительная погрешность связана с изменением рабочих условий — температуры и влажности окружающей среды, напряжений и частоты источников питания и т. п. Дополнительные погрешности указываются в виде приведенных погрешностей, отнесенных к единице или диапазону изменения параметра, вызывающего дополнительную погрешность. Эти погрешности могут быть соизмеримы с основными, но согласно ГОСТ 26.205—83* не должны их превышать при отклонении напряже-

ния питания на +10 и -15% номинального значения, частоты — от 48 до 51Гц, напряжения входного сигнала приемника — не менее чем в 2 раза (за исключением устройств интенсивности) и т. д. Допустимые пределы изменения внешних условий указываются в технических условиях на изделие, причем испытание на соответствие оговоренному классу точности должно производиться при изменении каждого внешнего параметра в отдельности (например, только либо напряжения, либо частоты питания приемника, либо температуры и т. п.).

Составляющие погрешности. В системах ТИ измеряемый параметр подвергается многочисленным преобразованиям, причем каждый узел (аппарат) преобразования вносит свою составляющую погрешности.

Основные составляющие погрешности:

погрешность трансформаторов тока и напряжения $\delta_{\text{ТР}}$;

погрешность первичного преобразователя (датчика) $\delta_{\text{Д}}$;

погрешность передающего устройства ТИ, преобразующего сигнал датчика в сигнал, поступающий в канал связи, $\delta_{\text{ПД}}$;

погрешность канала связи, включая погрешности преобразования сигналов в канале связи и от действия помех, $\delta_{\text{К.С}}$;

погрешность приемного устройства ТИ, преобразующего сигнал из канала связи в сигнал, поступающий в устройство обработки, $\delta_{\text{ПР}}$;

погрешность преобразования в устройстве обработки (масштабирование, усреднение и т. п.) $\delta_{\text{ОБ}}$;

погрешность указывающего (измерительного) прибора $\delta_{\text{И.П}}$.

Если принять составляющие погрешности взаимонезависимыми случайными величинами, то суммарная среднеквадратичная погрешности ТИ представляется следующим образом:

$$\delta_{\text{ТИ}} = \sqrt{\delta_{\text{ТР}}^2 + \delta_{\text{Д}}^2 + \delta_{\text{ПД}}^2 + \delta_{\text{К.С}}^2 + \delta_{\text{ПР}}^2 + \delta_{\text{ОБ}}^2 + \delta_{\text{И.П}}^2}. \quad (2.7)$$

Принципы построения телеизмерительных систем и используемые ими методы преобразования сигналов определяют так называемую погрешность телепередачи $\delta_{\text{ТП}}$, которая является характеристикой собственно телеизмерительной системы (независимо от первичных преобразователей и устройств отображения ТИ):

$$\delta_{\text{ТП}} = \sqrt{\delta_{\text{ПД}}^2 + \delta_{\text{К.С}}^2 + \delta_{\text{ПР}}^2}. \quad (2.8)$$

Заводы-изготовители телемеханической аппаратуры оценивают класс точности ТИ по погрешности $\delta_{\text{ТП}}$, поскольку они не отвечают за точность датчиков, трансформаторов тока и устройств отображения и т. п. Однако для пользователя, естественно, более ценна общая оценка точности ТИ (2.7). Проблема точности ТИ на диспетчерских пунктах в целом усугубляется, кроме того, и тем, что первичные преобразователи на энергообъектах, имеющие различные погрешности, опрашиваются не одновременно, т. е. появляется дополнительная по-

грешность от одновременности съема показаний ТИ-параметров. Сюда же следует отнести погрешности, связанные с ретрансляцией телеизмерений в многоуровневых телеинформационных системах. Поэтому реальная погрешность ТИ различных параметров на диспетчерском пункте может существенно отличаться от $\delta_{\text{тп}}$, гарантированной заводом-изготовителем.

Для повышения точности ведения режима энергосистем по данным телеизмерений следует использовать все доступные методы ограничения и коррекции составляющих погрешностей ТИ. Для этого прежде всего необходимо:

периодически контролировать точность первичных преобразователей, включая проверки измерительных трансформаторов и датчиков;

контролировать погрешности, вносимые ретрансляцией ТИ, и добиваться ее минимизации путем уменьшения числа преобразований сигнала;

выявлять "грубые" ошибки ТИ, являющиеся следствием импульсных помех в каналах связи, и не выдавать их на вход устройств отображения и в ретранслирующее устройство;

передавать замеры ТИ на разных энергообъектах с "меткой времени", с тем чтобы на ДП приводить все измерения к "единому времени".

Кроме того, в современных ОИК широко используются методы оценки состояний, позволяющие рассчитывать параметры контролируемых режимов энергосистем по отдельным, в том числе и недостаточно точным, ТИ [26, 27].

Погрешность телепередачи в кодоимпульсных системах телеизмерений

Во всех современных телеинформационных комплексах для энергосистем применяется кодоимпульсный метод телеизмерений, обеспечивающий:

высокую помехозащищенность телепередачи благодаря применению помехозащищенных кодов;

возможность получения высокой точности ТИ;

отсутствие дополнительной погрешности при ретрансляции телеизмерений по методу код-код;

возможность построения комплексных кодоимпульсных устройств ТИ-ТС;

удобство цифрового воспроизведения и сопряжения с ЭВМ.

В передатчике ТИ кодоимпульсной системы осуществляется преобразование аналоговых измеряемых величин, поступающих от датчика, в кодированные сигналы. При этом непрерывный сигнал $y(t)$ подвергается квантованию по уровню с шагом h и дискретизации по времени с шагом дискретизации T_0 (рис. 2.2).

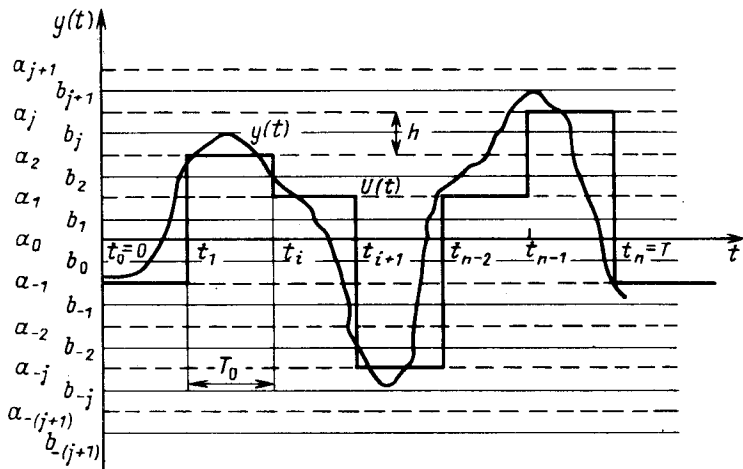


Рис. 2.2. Квантование функции $y(t)$ по уровню и дискретизация по времени: a_j – уровни квантования; h – шаг квантования; b_j – пороги квантования, $j = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$; t_n – моменты дискретизации по времени; T_0 – шаг дискретизации

В результате этого преобразования непрерывный сигнал заменяется (аппроксимируется) дискретным сигналом $U(t)$. При аппроксимации возникает ошибка (погрешность), которая может быть представлена двумя составляющими:

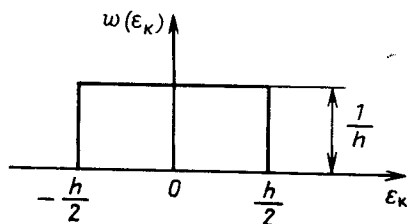
погрешностью квантования по уровню – статической ошибкой; погрешностью дискретизации по времени – динамической ошибкой. Погрешность аппроксимации в основном определяет погрешность передатчика кодоимпульсной системы.

Определим СКО аппроксимации аналого-цифрового преобразования в циклических кодоимпульсных системах с постоянным циклом замера T_0 мгновенных значений измеряемых параметров. При этом предполагается, что все узлы схемы АЦП (орган сравнения, эталоны резисторов) обеспечивают фиксацию уровней квантования с точностью до половины шага квантования.

а) Погрешность квантования по уровню является случайной величиной $\epsilon_{\text{к}}$, равной разности между фактическим значением величины в момент замера $y(t_i)$ и ближайшим уровнем квантования a_j . Максимальное значение статической ошибки квантования $\epsilon_{\text{кmax}} = \pm \frac{h}{2}$. Среднеквадратичное значение этой ошибки $\epsilon_{\text{к.ск}}$ находится из выражения

$$\epsilon_{\text{к.ск}} = \sqrt{M[\epsilon_{\text{к}}^2]},$$

Рис. 2.3. Равномерное распределение погрешности квантования ϵ_k в пределах шага квантования h



где $M[\epsilon_k^2]$ — математическое ожидание квадратов случайных разностей ϵ_k , равное

$$M[\epsilon_k^2] = \int_{-\infty}^{+\infty} \omega(\epsilon_k) \epsilon_k^2 d\epsilon_k;$$

здесь $\omega(\epsilon_k)$ — плотность вероятности случайной величины ϵ_k .

Принимая распределение случайной величины ϵ_k в пределах любого кванта равномерным $\omega(\epsilon_k) = \frac{1}{h}$ (рис. 2.3), получаем

$$\epsilon_{k.cк}^2 = \int_{-h/2}^{h/2} \frac{1}{h} \epsilon_k^2 d\epsilon_k = \frac{h^2}{12}.$$

Следовательно, абсолютная величина среднеквадратичной ошибки квантования составит

$$\epsilon_{k.cк} = \pm \frac{h}{2\sqrt{3}} \quad \text{или} \quad \epsilon_{k.cк} = \frac{\epsilon_{k \max}}{\sqrt{3}}.$$

Учитывая, что диапазон измерения L содержит N квантов ($L = hN$), получаем приведенные ошибки квантования по уровню:

$$\delta'_{k \max} \% = \pm \frac{100}{2N}; \quad \delta'_{k.cк} \% = \pm \frac{1}{2} \frac{100}{\sqrt{3}N}. \quad (2.9)$$

Если N квантов передается n -разрядным двоичным кодом, то

$$\delta'_{k \max} \% = \pm \frac{1}{2} \frac{100}{2^n - 1}.$$

б) Среднеквадратичная погрешность дискретизации по времени может быть охарактеризована интегральной мерой близости случайных функций $y(t)$ и $U(t)$ на участке дискретизации T_0 :

$$\epsilon_d^2 = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} M[y(t) - U(t)]^2 dt.$$

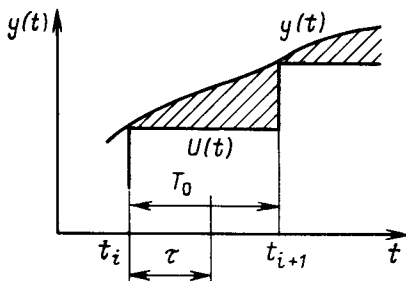


Рис. 2.4. К определению СКО дискретизации по времени

Величина $\epsilon_{\text{д}}^2$ численно равна среднему значению квадратов случайных площадей, ограниченных функциями $y(t)$ и $U(t)$ на участке дискретизации (заштрихованная площадь на рис. 2.4).

Полагая случайный процесс $y(t)$ стационарным коррелированным процессом с нулевым средним, получим

$$\epsilon_{\text{д}}^2 = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} M[y^2(t)] - 2M[y(t)U(t)] + M[U^2(t)] dt = \frac{2\sigma^2}{T_0} \int_0^{T_0} [1 - R_0(t)] dt,$$

где $\sigma^2 = M[y^2(t)] = M[U^2(t)]$ — дисперсия процесса $y(t)$, постоянная в любой точке отсчета в силу стационарности процесса $y(t)$;

$R_0(t) = \frac{1}{\sigma^2} [y(t)y(t - \tau)]$ — значение приведенной корреляционной функции процесса $y(t)$.

Полагая корреляционную функцию экспоненциальной:

$$R(t) = e^{-t/\tau_{\text{к}}},$$

где $\tau_{\text{к}}$ — постоянная времени корреляции, и принимая $e^{-t/\tau_{\text{к}}} \approx 1 - \frac{t}{\tau_{\text{к}}}$, что справедливо при $t \ll \tau_{\text{к}}$, получаем

$$\epsilon_{\text{д}}^2 = \frac{2\sigma^2}{T_0} \int_0^{T_0} \frac{t}{\tau_{\text{к}}} dt = \sigma^2 \frac{T_0}{\tau_{\text{к}}}, \quad \frac{T_0}{\tau_{\text{к}}} \ll 1.$$

Таким образом, при принятых допущениях абсолютная среднеквадратичная погрешность дискретизации по времени определяется следующим выражением:

$$\epsilon_{\text{д}} = \sigma \sqrt{T_0/\tau_{\text{к}}}.$$

Соответственно приведенное значение этой погрешности

$$\delta'_d \% = \frac{\epsilon_d 100}{L} = \frac{\sigma}{L} \sqrt{\frac{T_0}{\tau_k}} 100. \quad (2.10)$$

Суммарная приведенная СКО аппроксимации в передающем устройстве кодоимпульсной системы ТИ в предположении, что δ_k и δ_d — независимые случайные величины, составит

$$\begin{aligned} \delta' \% &= \sqrt{(\delta'_k)^2 + (\delta'_d)^2} = \\ &= \frac{100}{2\sqrt{3}} \sqrt{\frac{1}{N^2} + 12 \left(\frac{\sigma}{L}\right)^2 \frac{T_0}{\tau_k}}. \end{aligned} \quad (2.11)$$

Погрешность квантования по уровню δ_k характеризует статическую погрешность, в то время как погрешность дискретизации δ_d связана с изменением контролируемого параметра во времени, т. е. является динамической погрешностью. Введем понятие средней частоты изменения параметра λ , равное средней частоте пересечения случайным процессом $y(t)$ границ порога квантования h . (В терминах теории массового обслуживания величина λ является интенсивностью заявок на обслуживание.) Для гауссового случайного экспоненциально-коррелированного процесса при условии $\frac{h}{\sigma} \ll 1$ можно показать, что средняя частота заявок, 1/с, составляет [29]

$$\lambda = \frac{2\sigma^2}{h^2 \tau_k}. \quad (2.12)$$

Подставляя в (2.11) величину (2.12), получаем следующее выражение для СКО аппроксимации:

$$\delta' \% = \frac{100}{2\sqrt{3}N} \sqrt{1 + 6\lambda T_0}. \quad (2.13)$$

Для быстроменяющихся параметров (у которых значение λ достаточно велико) динамическая составляемая погрешности может быть достаточно велика и нередко более значительна, чем статическая погрешность.

В табл. 2.1 приведены экспериментальные данные, полученные в результате статистической обработки данных ТИ-параметров в энергосистемах [27]. В той же таблице приводятся значения СКО аппроксимации и соотношение между динамической и статической составляющими погрешности, подсчитанные по (2.9)–(2.11) при использовании кодоимпульсных устройств телемеханики двух типов: МКТ-2 (с циклом обновления $T_0 = 9,24$ с) и ТМ-512 ($T_0 = 12,16$ с). Расчетная скорость

Таблица 2.1. Экспериментальные данные к расчету динамической составляющей СКО

Параметр ТИ	Диапазон измерения L	σ^2	τ_k, c	$\frac{\sigma}{L}$
Межсистемный переток мощности	± 800 МВт ($L = 1600$)	2620 МВт^2	555	0,032
Внутрисистемный переток мощности	$-250, + 800$ МВт ($L = 1050$)	784 МВт^2	1468	0,027
Напряжение 500 кВ	100 кВ	335 кВ^2	1082	0,018
Суммарная мощность ГРЭС	4000 МВт	4494 МВт^2	1111	0,016
Частота сети	4 Гц	$0,025 \text{ Гц}^2$	5500	0,040

Параметр ТИ	МКТ-2		ТМ-512	
	$\delta' \%$	δ_d / δ_k	$\delta' \%$	δ_d / δ_k
Межсистемный переток мощности	0,428	3,65	0,486	4,19
Внутрисистемный переток мощности	0,242	1,9	0,271	2,17
Напряжение 500 кВ	0,168	1,48	0,255	1,72
Суммарная мощность ГРЭС	0,183	1,29	0,202	1,47
Частота сети	0,206	1,52	0,226	1,75

передачи в обоих случаях составляет 50 Бод, расчетное число каналов 32, число уровней квантования $N=256$.

В соответствии с данными табл. 2.1 динамическая составляющая СКО может значительно превосходить статическую составляющую. Так, при измерении межсистемного перетока мощности отношение δ_d / δ_k составляет 3,65 для МКТ-2 и 4,19 для ТМ-512. При увеличении скорости передачи динамическая составляющая уменьшается. Однако, как показывают расчеты, даже при скоростях 600 и 1200 Бод динамическая составляющая остается соизмеримой со статической ($\delta_d / \delta_k = 1,0$ и $1,14$ при 600 Бод и $0,71$ и $0,8$ при 1200 Бод для МКТ-2 и ТМ-512 соответственно).

Погрешность аппроксимации с учетом запаздывания и помех при передаче

От момента отсчета параметра ТИ передающим устройством до момента его фиксации приемным устройством проходит определенное

время — время запаздывания t_3 . Наличие запаздывания приводит к увеличению СКО аппроксимации благодаря тому, что значение измеряемого процесса $y(t)$ в момент воспроизведения отсчета может существенно отличаться от замеренного передатчиком отсчета.

Величина t_3 включает в себя время задержки (от момента отсчета до момента начала передачи), время передачи кодового слова t_0 данного параметра (включая запаздывание в канале связи) и время проверки правильности приема и фиксации отсчета на выходе приемного устройства. В зависимости от методов формирования и фиксации сигналов в системе ТИ и протяженности канала связи значение t_3 и соотношение между его составляющими могут быть весьма различными.

Можно достаточно строго доказать [29], что при некоторых допущениях учет времени запаздывания при определении СКО сводится к увеличению длительного интервала дискретизации на величину $2t_3$.

Помехи в канале связи приводят к искажению принимаемых сигналов. Если искажения обнаруживаются защитой, то принимаемые сообщения бракуются приемником. В циклических системах забранный параметр ТИ появляется на выходе в приемном устройстве на следующем цикле передачи (если и этот цикл не будет содержать обнаруживаемой ошибки). Если же помеха повредит сообщение и во второй раз, то значение параметра ТИ зафиксируется в приемном устройстве лишь после третьего цикла и т. д. Таким образом, длительность цикла $T_{ц}$ восстановления отсчета на приемной стороне становится случайной. Если через $P_{об}$ обозначить вероятность обнаруживаемых ошибок при приеме данного параметра ТИ, то $T_{ц}$ принимает значение T_0 с вероятностью $(1 - P_{об})$, значение $2T_0$ — с вероятностью $P_{об}(1 - P_{об})$..., значение iT_0 — с вероятностью $P_{об}^{i-1}(1 - P_{об})$ и т. д. Средняя длительность цикла восстановления $T_{ц}$ равна

$$\begin{aligned} \overline{T_{ц}} &= \sum_{i=1}^{\infty} iT_0 P_{об}^{i-1} (1 - P_{об}) = T_0 (1 - P_{об}) \sum_{i=1}^{\infty} iP_{об}^{i-1} = \\ &= T_0 \frac{1 - P_{об}}{P_{об}} \sum_{i=1}^{\infty} iP_{об}^i. \end{aligned}$$

Известно, что $\sum_{i=1}^{\infty} iP_{об}^i = \frac{P_{об}}{1 - P_{об}^2}$. Следовательно,

$$\overline{T_{ц}} = \frac{T_0}{1 - P_{об}}. \quad (2.14)$$

Подставив в (2.13) вместо $T_{ц}$ его среднее значение (2.14), полу-

чим СКО аппроксимации с учетом действия помех:

$$\delta' \% = \frac{100}{2\sqrt{3N}} \sqrt{1 + 6\lambda \frac{T_0}{1 - P_{об}}}$$

Если к тому же учесть время запаздывания t_3 , то окончательно получим СКО телепередачи

$$\delta'_{тп} \% = \frac{100}{2\sqrt{3N}} \sqrt{1 + 6\lambda \left(\frac{T_0}{1 - P_{об}} + 2t_3 \right)} \quad (2.15)$$

Таким образом, из-за наличия помех, обнаруживаемых приемным устройством, и запаздывания передачи возрастает динамическая, а следовательно, и общая погрешность телепередачи. Необнаруживаемые же ошибки (с вероятностью $P_{лож}$) приводят к ложным показаниям ТИ. Однако при этом следует иметь в виду, что в современных кодоимпульсных системах величина $P_{лож}$ весьма мала. Поэтому достаточно существенные ошибки показаний ТИ чаще всего являются следствием неисправности действия передатчика либо кодовых защит приемного устройства, а не действия помех в канале связи.

Расчетная погрешность телепередачи

Полученные погрешности аппроксимации соответствуют идеальным условиям работы АЦП в передающем устройстве: зона нечувствительности нуль-органа не превышает половины кванта, эталонные резисторы идеальны, работа схемы АЦП не зависит от напряжений питания и сопротивлений нагрузки и т. п. В реальных АЦП максимальная погрешность квантования по уровню может достигать целого кванта, т. е. в 2 раза превосходить статическую погрешность идеальной аппроксимации. Поэтому в практических расчетах статическую погрешность с определенным запасом следует принимать равной удвоенному значению (2.9), т. е. $\delta'_к \% = 100/(\sqrt{3N})$. При этом расчетное значение СКО телепередачи с учетом (2.15) определяется следующим образом:

$$\delta'_{тп} \% = \frac{100}{\sqrt{3N}} \sqrt{1 + 1,5\lambda \left(\frac{T_0}{1 - P_{об}} + 2t_3 \right)} \quad (2.16)$$

Многоканальные ТИС с постоянным циклом

В многоканальных ТИС с постоянным циклом передачи $T_{ц}$ все параметры опрашиваются и передаются циклически через равные промежутки времени $T_0 = T_{ц}$. С увеличением числа контролируемых параметров длительность цикла увеличивается, что приводит к увеличению

динамической погрешности ТИ и времени запаздывания передачи дискретных заявок, являющихся следствием возникновения ТС или резких изменений контролируемых процессов – так называемых "толчков" параметров.

Наибольшей погрешностью обладают наиболее быстро меняющиеся параметры. Поэтому, чтобы погрешность всей системы ТИ не превысила допустимую погрешность $\delta_{\text{доп}}$, время цикла приходится выбирать по самому быстроменяющемуся параметру (имеющему максимальное значение $\lambda = \lambda_{\text{max}}$).

Решая (2.13) при $\delta' \leq \delta_{\text{доп}}$ относительно T_0 , получаем

$$T_0 \leq \left(\frac{\delta_{\text{доп}}}{\delta_k} \right)^2 - 1 \frac{1}{\lambda_{\text{max}}} . \quad (2.17)$$

Таким образом, увеличение частоты изменения параметра при заданной точности передачи требует уменьшения цикла передачи, что связано с увеличением скорости передачи сигналов по каналу связи, т. е. с увеличением ширины полосы пропускания канала связи. С другой стороны, медленноменяющиеся параметры (с малой величиной λ) при этом обслуживаются чаще, чем это необходимо из условия обеспечения заданной точности. Возникающие при этом избыточные обслуживания обуславливают неэффективное использование канала связи.

Другим ограничением при выборе T_0 является обеспечение заданного времени задержки передачи дискретного изменения параметров

$\bar{S}_{\text{доп}}$, среднее значение которого равно $\frac{T_0}{2}$, т. е.

$$T_0 \leq 2\bar{S}_{\text{доп}} . \quad (2.18)$$

Из условий (2.17) и (2.18) должно быть выбрано наименьшее значение T_0 , обеспечивающее заданные величины $\delta_{\text{доп}}$ и $\bar{S}_{\text{доп}}$. Естественно, что обеспечение меньшего значения T_0 требует при прочих равных условиях большей скорости передачи сигналов. Более рациональными с точки зрения эффективности использования канала связи являются многоканальные системы с индивидуальными циклами, учитывающими статистику изменения параметров ТИ [6]. В таких системах обеспечиваются индивидуальные циклы передачи (T_{0i}) параметров ТИ, значения которых обратно пропорциональны частотам изменения измеряемых параметров λ_i . Применение систем с индивидуальными циклами позволяет выравнивать СКО передачи для всех параметров ТИ (путем уменьшения СКО для быстроменяющихся параметров и соответственного увеличения СКО для медленноменяющихся) и тем самым уменьшать требуемую полосу пропускания канала связи при заданной СКО системы ТИ. Другим преимуществом многоканальных ТИС с индивидуальными циклами является ограничение заданного запаздыва-

ния $\bar{S}_{\text{доп}}$ для части параметров ТИ или передачи группы дискретных сигналов ТС. Выделяя для этих параметров индивидуальный цикл T_{0s} , ограничиваем среднее запаздывание передачи дискретных изменений (или сигналов ТС) значением $0,5T_{0s}$.

Реализация многоканальных ТИС с индивидуальными циклами не представляет труда.

Недостатком системы с индивидуальными циклами, как всякой системы, построенной на основании априорных статистических зависимостей, является ухудшение характеристик системы при отклонении реальных контролируемых процессов от среднестатистических.

2.4. ПОГРЕШНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЙ В МНОГОУРОВНЕВЫХ СИСТЕМАХ

Система сбора информации, необходимой для оперативного управления режимом энергосистем, имеет многоуровневую структуру, соответствующую иерархической структуре диспетчерского управления. На энергообъектах — источниках информации — устанавливаются передатчики (ПД) кодоимпульсных устройств телемеханики либо терминалы микроЭВМ, производящие опросы датчиков ТИ и ТС и передающие информацию в кодовой форме на диспетчерский пункт нижней ступени управления ДП₀ (рис. 2.5). Это может быть ДП предприятий электросетей либо центральный ДП энергосистемы — в зависимости от подчиненности энергообъекта. На ДП₀ информация от приемников УТМ ПР поступает в систему обработки и отображения телеинформации СОР. Часть информации, необходимой для диспетчеров высших ступеней, ретранслируется на ДП₁, ДП₂ и т. д. путем опроса приемных УТМ передающим УТМ соответствующего уровня. Если на ДП установлена центральная станция ЦСТ на микроЭВМ, то она осуществляет функции приема и ретрансляции, а также ввода информации в ЭВМ ОИК АСДУ. Однако суть процесса ретрансляции телеинформации на следующую ступень диспетчерского управления не зависит от того, используются ли для ретрансляции УТМ или ЦСТ.

С ростом числа ступеней ретрансляции i увеличиваются погрешность передачи ТИ и время запаздывания дискретной информации, а также уменьшается надежность поступления информации на высшие уровни управления. Поэтому число ступеней ретрансляции обычно не превышает двух-трех. Для наиболее ответственных ЭО организуется прямая передача на соответствующие ДП (на рис. 2.5 показан один из таких объектов ЭО4). Однако организация прямых каналов связи сопряжена с существенными затратами и не всегда осуществима.

Для уменьшения суммарной погрешности передачи в многоуровневых системах ретрансляция должна осуществляться по методу код—

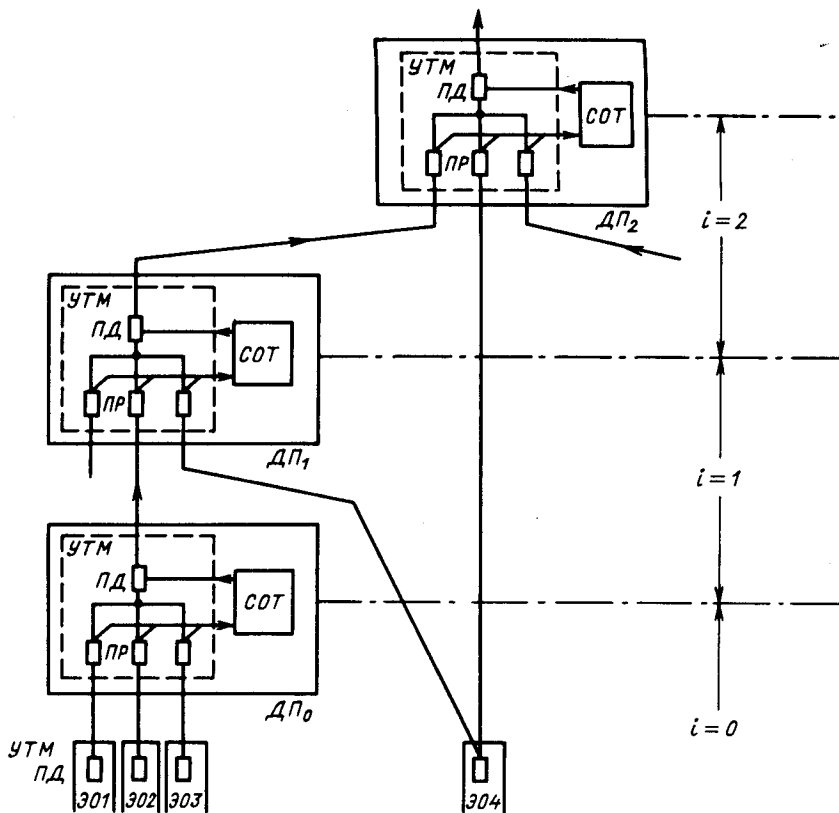


Рис. 2.5. Структура многоуровневой системы передачи информации:

УТМ — устройства телемеханики; ПД — передающее УТМ; ПР — приемные УТМ; ЭО — энергообъекты; СОТ — система обработки и отображения телеинформации

код, т. е. кодовое значение ТИ предшествующего уровня является исходным для кода ТИ следующего уровня (без дополнительных преобразований код—аналог, аналог—код). При этом предполагается, что число информационных разрядов кода при ретрансляции ТИ остается одинаковым, во всяком случае оно не меньше, чем на исходном уровне. При соблюдении этих условий можно утверждать, что погрешность ТИ с ростом числа уровней ретрансляции увеличивается лишь за счет динамической составляющей погрешности, обусловленной повторными дискретизациями по времени цифровых эквивалентов значений передаваемых параметров в пунктах ретрансляции.

Среднеквадратичная ошибка ступенчатой аппроксимации при многократной асинхронной дискретизации

Рассмотрим схему передачи информации в многоуровневой системе с ретрансляцией телеизменений (рис. 2.6). На каждом уровне ТИ передаются циклическим методом с циклами обновления, определяемыми характеристиками канала связи, объемом и требованиями точности и быстродействия передачи информации. Пусть $y(t)$ – исходный случайный процесс, формируемый источником сообщений; $U_0(t)$ – ступенчатый случайный процесс, получаемый из $y(t)$ в результате дискретизации по времени с шагом T_0 ; $U_i(t)$, $i = 1, 2, \dots$, – ступенчатый случайный процесс, полученный из $U_{i-1}(t)$ в результате дискретизации по времени с шагом T_i . Циклы дискретизации на соседних ступенях ретрансляции не связаны друг с другом, поскольку передатчики телеинформационных систем на различных уровнях в общем случае работают асинхронно.

Среднеквадратичная ошибка аппроксимации на каждом последующем уровне передачи увеличивается за счет появления дополнительных погрешностей, вызванных асинхронной дискретизацией. На рис. 2.7 заштрихованные участки кривых иллюстрируют появление дополнительных погрешностей при ретрансляции ТИ в двухуровневой системе ($i = 0; 1$) при условии $T_1 < T_0$.

Близость ступенчатых функций $U_i(t)$, $U_{i-1}(t)$ на некотором интервале времени T_i будем характеризовать квадратом СКО аналогично (2.2) для одноуровневой системы:

$$\epsilon_i^2 = \frac{1}{T_i} M \left\{ \int_{\varphi_i^0}^{\varphi_i^0 + T_i} [U_i(t) - U_{i-1}(t)]^2 dt \right\}, \quad (2.19)$$

где φ_i^0 – координата некоторого произвольного момента отсчета на i -м уровне (рис. 2.7). При асинхронных отсчетах величины φ_i^0 , так же как и все остальные отсчеты на этом уровне $\varphi_i^k = \varphi_i^0 + kT_i$, $k = 0, 1,$

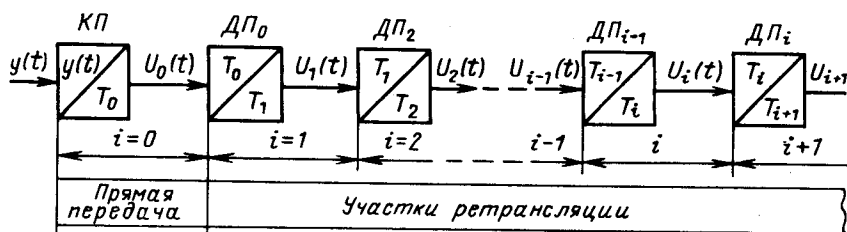


Рис. 2.6. К определению СКО в многоуровневой системе ретрансляции ТИ

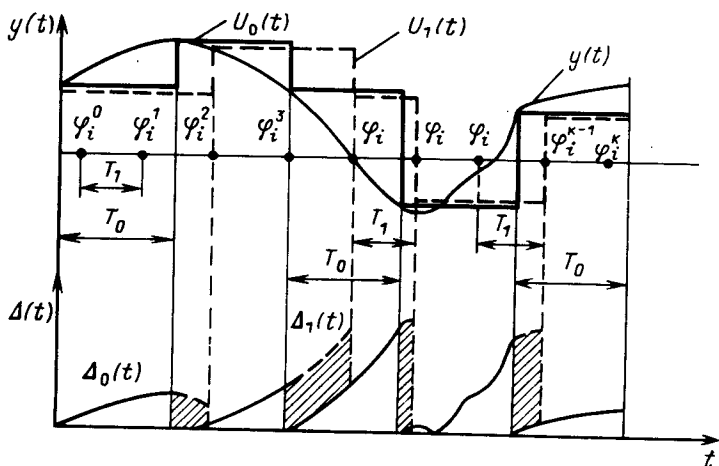


Рис. 2.7. Дополнительная погрешность аппроксимации при двухуровневой дискретизации:

$\Delta_0(t) = |y(t) - U_0(t)|$; $\Delta_1(t) = |y(t) - U_1(t)|$; φ_i^k , $k = 0, 1, 2, \dots, i$ — координаты отсчетов на i -м уровне с периодом T_i , $i = 1$

$2, \dots$, являются случайными, распределенными равномерно на участке фиксированной длительности T . Таким образом, нахождение СКО для i -го уровня сводится к нахождению математического ожидания интеграла со случайными пределами интегрирования. В [27] показано, что для стационарного случайного процесса $y(t)$ с нулевым средним и корреляционной функцией $R(T_0)$

$$\epsilon_i^2 = \sigma^2 \frac{T_i}{T_0} [1 - R(T_0)], \quad (2.20)$$

откуда следует, что СКО аппроксимации i -го уровня зависит только от параметров исходного процесса и отношения T_i/T_0 и не зависит от длительности циклов отсчетов на промежуточных ступенях.

Конкретизируя формулу (2.20) на примере экспоненциально-коррелированного процесса $R(t) = \exp\left[-\frac{t}{\tau_k}\right]$, получаем

$$\epsilon_i^2 = \sigma^2 \frac{T_i}{T_0} \left[1 - \exp\left(-\frac{T_0}{\tau_k}\right) \right].$$

При условии $\frac{T_0}{\tau_k} \ll 1$ имеет место приближенное равенство

$$\exp \left[- \frac{T_0}{\tau_k} \right] \approx 1 - \frac{T_0}{\tau_k},$$

в результате чего получим

$$\epsilon_i^2 = \sigma^2 \frac{T_i}{\tau_k}, \quad \frac{T_0}{\tau_k} \ll 1. \quad (2.21)$$

Суммарная СКО в многоуровневой системе, включая и первичную ступень, на которой ретрансляция отсутствует (для этой ступени $i = 0$), определяется выражением

$$\epsilon_{0i}^2 = \epsilon_0^2 + \epsilon_{1i}^2,$$

$$\text{где } \epsilon_0^2 = \frac{h^2}{12} + \sigma^2 \frac{T_0}{\tau_k}; \quad \epsilon_{1i}^2 = \sigma^2 \sum_{t=1}^i \frac{T_t}{\tau_k}.$$

Приведенная СКО для i -уровневой системы записывается следующим образом:

$$\delta'_{0i} = \frac{1}{2\sqrt{3}} \sqrt{\frac{1}{N^2} + 12 \left(\frac{\sigma}{L} \right)^2 \sum_{t=0}^i \beta_t}, \quad (2.22)$$

$$\text{где } \beta_i = \frac{T_i}{\tau_k}.$$

Динамическая составляющая суммарной приведенной погрешности

$$\delta_{0i \text{ д}} = \frac{\sigma}{L} \sqrt{\sum_{t=0}^i \beta_t}. \quad (2.23)$$

Исследуем зависимость динамической составляющей погрешности от соотношения длительностей циклов опросов на соседних ступенях $\frac{T_{i+1}}{T_i} = q_i$. Положим, что величина $q_i = q$ постоянна для всех ступеней ретрансляции. Тогда $T_i = T_0 q^i$ и по формуле суммирования

$$\sum_{i=0}^i T_i = T_0 \frac{1 - q^{i+1}}{1 - q}. \quad (2.24)$$

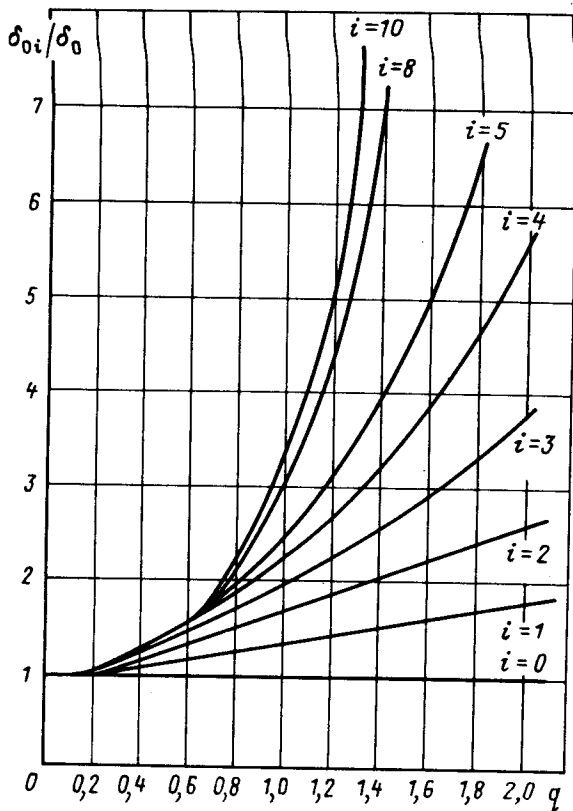


Рис. 2.8. Зависимость относительной динамической погрешности $\frac{\delta_{0i}}{\delta_{0d}}$ от соотношения циклов обновления на соседних уровнях $q = \frac{T_{i+1}}{T_i}$

Подставляя (2.24) в (2.23), получаем

$$\delta_{0i/d} = \frac{\sigma}{L} \sqrt{\beta_0} \sqrt{\frac{1 - q^{i+1}}{1 - q}} = \delta_{0d} \sqrt{\frac{1 - q^{i+1}}{1 - q}}, \quad (2.25)$$

где $\delta_{0d} = \frac{\sigma}{L} \sqrt{\beta_0}$ — приведенное значение динамической составляющей погрешности без ретрансляции. Формула (2.25) позволяет проанализировать увеличение СКО в многоуровневой системе при увеличении числа ступеней ретрансляции по сравнению с системой передачи без ретрансляции (рис. 2.8).

При малых значениях q ($q \leq 0,3$) увеличение числа ступеней ретрансляции практически не приводит к росту погрешности. При q , близких к 1, зависимость $\delta_{\overline{0i_d}}$ от i весьма существенна. В частности, при $q = 1$ согласно (2.25) имеем

$$\lim_{q \rightarrow 1} \delta_{\overline{0i_d}} = \delta_{0_d} \sqrt{i + 1}.$$

Особенно сильно увеличивается погрешность с ростом числа ступеней ретрансляции при $q > 1$. Так, например, при $q = 2$ и $i = 3$ погрешность возрастает примерно в 4 раза по сравнению с погрешностью без ретрансляции.

Таким образом, с точки зрения ограничения увеличения СКО следует уменьшать длительности циклов опросов на последующих ступенях ретрансляции (так чтобы величина q_i не превосходила значений 0,2–0,3). Однако для этого необходимо увеличивать скорости передачи сигналов на верхних ступенях управления, т. е. расширять полосы пропускания этих каналов. Расчеты показывают, что для сохранения практически неизменной суммарной погрешности телеизмерений с ростом числа ступеней ретрансляции скорости передачи на последующих ступенях ретрансляции должны увеличиваться примерно на порядок, т. е. при $b_0 = 50$ Бод; $b_1 = 500$ Бод; $b_2 = 5000$ Бод и т. д.

2.5. ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ДИСКРЕТНЫХ СИГНАЛОВ

Помехоустойчивость – это способность сигнала противостоять действию помех, т. е. сохранять содержащуюся в нем информацию несмотря на действие помех. Элементарный дискретный сигнал содержит один бит информации "1" или "0". Помехоустойчивость такого сигнала характеризуется вероятностью правильного приема сигнала при заданном уровне помех. Обозначим через $p(1 \rightarrow 0)$ – вероятность ложного приема "нуля" вместо "единицы", $p(0 \rightarrow 1)$ – вероятность ложного приема "единицы" вместо "нуля". Для симметричного двоичного канала без памяти эти вероятности одинаковы и характеризуются вероятностью приема ложного сигнала $p = p(1 \rightarrow 0) = p(0 \rightarrow 1)$. Соответственно помехоустойчивость сигнала характеризуется вероятностью правильного приема $q = 1 - p$ при заданном уровне помех.

По своему характеру помехи подразделяются на импульсные, флуктуационные и помехи от промышленной частоты и ее гармоник.

Импульсные помехи представляют собой последовательность импульсов произвольной формы со случайными амплитудами, длительностями и моментами возникновения. При этом промежутки между соседними импульсами достаточно велики, вследствие чего переходный процесс в канале связи, вызванный возникновением очередного импульса, затухает к моменту появления следующего. Характерные

источники импульсных помех – грозовые разряды, наводки от электро-сварки, коммутационные переключения в силовой электросети и т. п.

Действие импульсной помехи на импульсный сигнал определяется в основном отношением длительностей помехи $\tau_{\text{п}}$ и сигнала $\tau_{\text{с}}$. При $\tau_{\text{п}} \ll \tau_{\text{с}}$ мешающее действие импульсной помехи может быть практически устранено относительно простыми средствами (например, инерционным звеном на входе приемника). Повышение скорости передачи сигналов за счет уменьшения длительности посылок ухудшает помехоустойчивость от действия импульсных помех.

Флуктуационные помехи, называемые также гладкими, являются результатом наложения большого числа импульсных помех, вследствие чего кривая напряжения помех является непрерывной во времени случайной величиной. Поэтому флуктуационные помехи описываются вероятностными характеристиками.

Флуктуационные помехи, имеющие практически неограниченный спектр частот, именуется "белым шумом".

Белый шум характеризуется нормальным (гауссовым) распределением мгновенных значений амплитуд напряжения помехи $u_{\text{п}}$:

$$\omega(u_{\text{п}}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi U_{\text{п.с.к}}}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{u_{\text{п}}}{U_{\text{п.с.к}}} \right)^2},$$

где $U_{\text{п.с.к}}$ – среднеквадратичное напряжение помехи.

Помехоустойчивость различных дискретных сигналов обычно сравнивается между собой в условиях действия белого шума. Флуктуационные помехи характеризуют следующие параметры:

удельное напряжение помехи – эффективное напряжение помехи на единицу частотной полосы приемного фильтра

$$\sigma_0 = \frac{U_{\text{п.с.к}}}{\sqrt{\Delta F}};$$

удельная мощность помехи σ_0^2 ;

отношение сигнал/помеха – отношение амплитуды сигнала U_m к ам-

плитуде помехи $\alpha = \frac{U_m}{\sqrt{2} U_{\text{п.с.к}}}$;

отношение энергии сигнала к удельной мощности помехи

$$\alpha_0^2 = \frac{1}{\sigma_0^2} \int_0^T u_{\text{п}}^2(t) dt.$$

Помехоустойчивость сигнала зависит от способа приема сигнала, т. е. от принципа построения приемника.

Помехоустойчивость порогового приемника

Пороговый приемник реагирует на мгновенное значение уровня принимаемого сигнала. Положим, что передается амплитудно-модулированный прямоугольный сигнал с амплитудой U_m . Импульсный признак сигнала "да"—"нет": "единице" соответствует верхний уровень сигнала, "нулю" — отсутствие сигнала.

Пороговый приемник имеет порог U_0 . Если проходящий сигнал превосходит порог, то приемник фиксирует "1", если нет, то "0" (рис. 2.9). Подсчитаем вероятность того, что помеха достигнет порогового уровня, при котором приемник воспримет помеху как сигнал:

$$p(u_{\text{п}} \geq U_0) = p(0 \rightarrow 1) = \int_{U_0}^{\infty} \omega(u_{\text{п}}) du_{\text{п}} = \\ = \frac{1}{\sqrt{2\pi} U_{\text{п.ск}}} \int_{U_0}^{\infty} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{u_{\text{п}}}{U_{\text{п.ск}}} \right)^2} du_{\text{п}}.$$

Это выражение соответствует заштрихованной области на графике распределения плотности вероятности помехи (рис. 2.10, а).

Обозначив $\frac{U_0}{U_{\text{п.ск}}} = \beta$ и $\frac{u_{\text{п}}}{U_{\text{п.ск}}} = z$, получим

$$p(u_{\text{п}} \geq U_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\beta}^{\infty} e^{-\frac{1}{2} z^2} dz = V(\beta), \quad (2.26)$$

где $V(\beta)$ — интеграл вероятности.

Таким образом, вероятность превышения помехой порогового уровня U_0 , т. е. вероятность $p(0 \rightarrow 1)$, выражается интегралом $V(\beta)$ и является однозначной функцией порогового уровня U_0 при заданном уровне помех $U_{\text{п.ск}}$.

Аналогичным образом определяется вероятность подавления сигнала помехой, т. е. вероятность того, что помеха окажется по абсолютной величине достаточной, чтобы "подавить" сигнал амплитуды U_m до уровня, меньшего U_0 (рис. 2.10, б), т. е. $|u_{\text{п}}| > U_m - U_0$.

Эта вероятность перехода $(1 \rightarrow 0)$ соответствует заштрихованной

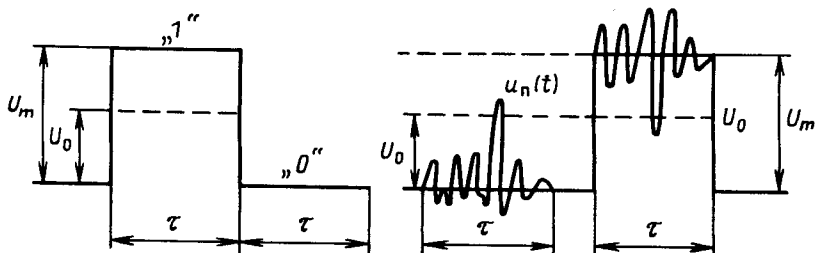


Рис. 2.9. Сигнал и помехи в пороговом приемнике

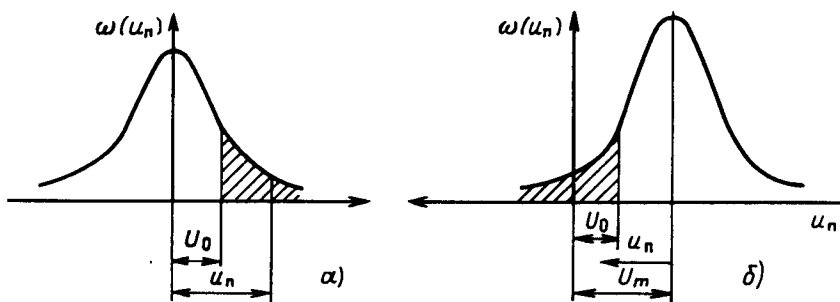


Рис. 2.10. Плотность вероятности помех при нормальном распределении:
 а – полезный сигнал отсутствует; б – подавление сигнала помехой

площади на рис. 2.10, б:

$$p(1 \rightarrow 0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{U_m - U_0}{U_{п.ск}}} e^{-\frac{1}{2} z^2} dz.$$

Выразив верхний предел через отношение сигнал/помеха α и β , получим

$$p(1 \rightarrow 0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\alpha\sqrt{2} - \beta} e^{-\frac{1}{2} z^2} dz = V(\alpha\sqrt{2} - \beta). \quad (2.27)$$

Для симметричного канала вероятности перехода $(0 \rightarrow 1)$ и $(1 \rightarrow 0)$ одинаковы. Следовательно, в соответствии с (2.26) и (2.27)

$$\beta = \alpha\sqrt{2} - \beta, \quad \text{т. е. } \beta = \alpha/\sqrt{2}.$$

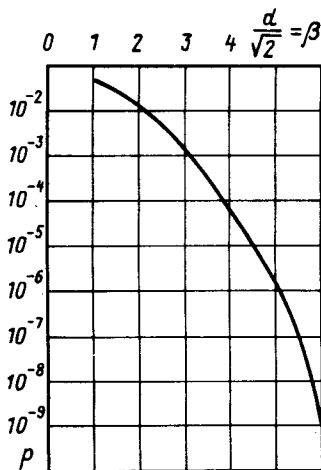


Рис. 2.11. Вероятность ошибки приема бита p в зависимости от отношения сигнал/помеха для симметричного канала

Подставляя значения β и α , получаем условие симметричного канала для простейшего порогового приемника:

$$U_0 = U_m/2.$$

Таким образом, для симметричного двоичного канала вероятность ложного приема бита выражается интегралом вероятности:

$$p = V(\beta) = V\left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}}\right). \quad (2.28)$$

Значение интеграла вероятности находят по таблицам, например [24]. Зависимость вероятности p от отношения сигнал/помеха для симметричного канала представлена на рис. 2.11.

Часто вероятность ошибки p выражается через функцию ошибки $\operatorname{erf}(x)$ или функцию ошибки, дополняющую до единицы $\operatorname{erfc}(x)$:

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-s^2} ds, \quad (2.29a)$$

$$\operatorname{erfc}(x) = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-s^2} ds. \quad (2.29б)$$

Представим (2.26) в виде erfc (2.29б). Для этой цели в (2.26) произведем замену переменных:

$$\frac{1}{2} z^2 = s^2; \quad z = s\sqrt{2}; \quad dz = \sqrt{2} ds;$$

при $z = \beta$ $s = \beta/\sqrt{2}$. Тогда получим

$$p = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\beta/\sqrt{2}}^{\infty} e^{-\frac{1}{2} z^2} dz = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\beta/\sqrt{2}} e^{-s^2} ds \right),$$

откуда

$$2p = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{\beta}{\sqrt{2}} \int_0^{\frac{\beta}{\sqrt{2}}} e^{-s^2} ds \quad \text{или} \quad p = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{\beta}{\sqrt{2}} \right). \quad (2.30)$$

Для симметричного канала $\beta = \alpha/\sqrt{2}$, т. е.

$$p = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{\alpha}{2} \right). \quad (2.31)$$

Помехоустойчивость идеального приемника Котельникова (потенциальная помехоустойчивость)

Как доказывается в теории, наилучшей (потенциальной) помехоустойчивостью в условиях действия флуктуационных помех обладает приемник, в котором производится сравнение получаемых сигналов с их образцами и вычисляется энергия разности принятого сигнала и образцов, причем принятый сигнал относят к тому образцу, для которого эта разность минимальна. Например, передаются два сигнала $A_1(t)$ и $A_2(t)$. Образцы этих сигналов имеются на приемной стороне. Приходящий сигнал $x(t)$, искаженный помехами, сравнивается с этими образцами путем определения разницы энергий

$$I_1 = \int_0^{\tau} [x(t) - A_1(t)]^2 dt;$$

$$I_2 = \int_0^{\tau} [x(t) - A_2(t)]^2 dt.$$

Принятым считается тот сигнал, который образует меньшую разность, т. е. если $I_2 - I_1 > 0$, то принятый сигнал относят к $A_1(t)$, а если $I_2 - I_1 < 0$, то принятым считают сигнал $A_2(t)$. В общем случае разность сравнивается с некоторым пороговым значением β , т. е. если $I_2 - I_1 > \beta$, то $x(t)$ относят к $A_1(t)$, если $I_2 - I_1 < \beta$, то $x(t)$ относят к $A_2(t)$.

Помехоустойчивость идеального приемника при приеме дискретных сигналов двух качеств (1 и 0) в общем случае определяется соотношениями, аналогичными соотношениям (2.26), (2.27):

$$p(0 \rightarrow 1) = V(\beta),$$

где $p(1 \rightarrow 0) = V(\alpha_0 \sqrt{2} - \beta)$,

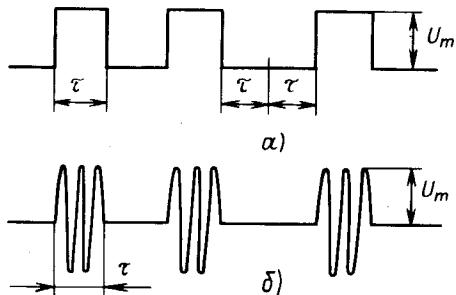


Рис. 2.12. Амплитудный импульсный признак "да-нет":

a – видеосигнал; *б* – радиосигнал

$$\alpha_0 = \frac{1}{\sigma_0} \sqrt{\int_0^{\tau} [A_1(t) - A_2(t)]^2 dt}. \quad (2.32)$$

Рассмотрим помехоустойчивость идеального приемника для двух дискретных сигналов при различных импульсных признаках, полагая, что канал связи симметричный, т. е. $p(1 \rightarrow 0) = p(0 \rightarrow 1)$, следовательно, $\beta = \alpha_0 / \sqrt{2}$.

а) Амплитудный признак "да-нет":
для видеосигнала (рис. 2.12, а)

$$A_1(t) = U_m, \tau; \quad A_2(t) = 0,$$

следовательно,

$$\alpha_0 = \frac{U_m \sqrt{\tau}}{\sigma_0},$$

для радиосигнала (рис. 2.12, б)

$$A_1(t) = U_m \sin \omega t, \tau; \quad A_2(t) = 0,$$

т. е.

$$\alpha_0 = \frac{U_m \sqrt{\tau}}{\sqrt{2} \sigma_0}.$$

Чем больше α_0 , тем выше помехоустойчивость приема (см. рис. 2.11), следовательно, помехоустойчивость видеоимпульса выше, чем радиоимпульса (при одинаковых амплитудах импульсов), что вполне естественно, так как энергия видеоимпульса соответственно выше энергии радиоимпульса.

б) Частотный признак:

$$A_1(t) = U_m \sin \omega_1 t, \tau;$$

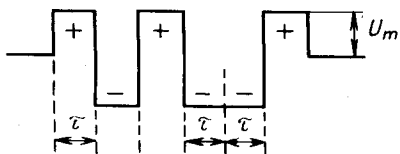


Рис. 2.13. Полярный импульсный признак

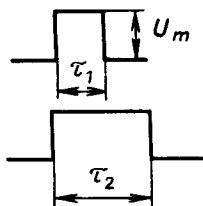


Рис. 2.14. Широтно-импульсный признак

$$A_2(t) = U_m \sin \omega_2 t, \tau.$$

Подставив эти значения в (2.32), найдем

$$\alpha_0 = \frac{U_m \sqrt{\tau}}{\sigma_0}.$$

Следовательно, при использовании частотного признака (частотной манипуляции) помехоустойчивость по сравнению с признаком "да-нет" и использованием радиосигналов (амплитудная модуляция) повышается, достигая помехоустойчивости сигналов постоянного тока (видеоимпульсов).

в) Полярный признак (рис. 2.13):

$$A_1(t) = U_m, \tau;$$

$$A_2(t) = -U_m, \tau;$$

$$\alpha_0 = \frac{2U_m \sqrt{\tau}}{\sigma_0}.$$

Следовательно, полярный импульсный признак наиболее помехоустойчивый из всех рассмотренных выше.

г) Широтно-импульсный признак (рис. 2.14):

$$A_1(t) = U_m, \tau_1;$$

$$A_2(t) = U_m, \tau_2;$$

$$\alpha_0 = \frac{U_m \sqrt{\tau_2 - \tau_1}}{\sigma_0}.$$

Следовательно, помехоустойчивость широтно-импульсного признака зависит от разности длительностей импульсов 1 и 0 и может быть получена сколь угодно высокой при увеличении этой разности.

Приемник, контролирующий фазу сигнала

Фронтом сигнала является граница перехода сигнала 0 в сигнал 1 и наоборот. Помеха вызывает случайный сдвиг фронта сигнала по фазе $\Delta\varphi_{\Pi}$. Если фиксация сигнала производится стробом в середине бита, то разрешенная флуктуация фазы фронта сигнала составляет $\pm \frac{T}{2}$, где T – продолжительность бита сигнала (от фронта до фронта). Если фронт сигнала проходит вне этой зоны, то приемник фиксирует ошибку. Полагая $\Delta\varphi_{\Pi}$ случайной величиной с нулевым средним, распределенной по нормальному закону, с дисперсией $\Delta\varphi_{\Pi, \text{с.к}}$, имеем

$$\omega_{\Delta\varphi_{\Pi}}(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\Delta\varphi_{\Pi, \text{с.к}}} e^{-\frac{1}{2}z^2} dz,$$

где $\omega_{\Delta\varphi_{\Pi}}(z)$ – плотность вероятности случайной величины $\Delta\varphi_{\Pi}$; $z = \frac{\Delta\varphi_{\Pi}}{\Delta\varphi_{\Pi, \text{с.к}}}$.

Определим вероятность ошибочного приема бита как вероятность попадания фронта в заштрихованную зону (рис. 2.15):

$$p = \frac{2}{\sqrt{2}} \int_{\frac{T}{2}}^{\infty} e^{-\frac{1}{2}z^2} dz = 1 - \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{T}{2}} e^{-\frac{1}{2}z^2} dz. \quad (2.33)$$

Таким образом, вероятность ошибки приемника, контролирующего фазу фронта сигнала, составляет

$$p = 2V \left(\frac{T}{2} \right). \quad (2.34)$$

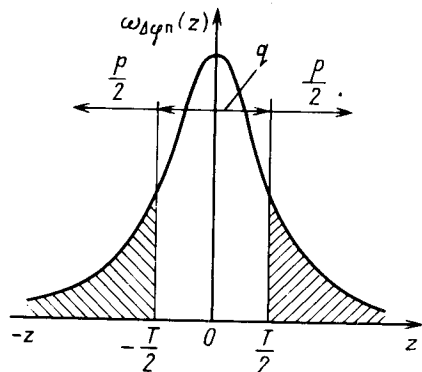


Рис. 2.15. Плотность вероятности сдвига фазы фронта сигнала

Представим p через функцию $\operatorname{erfc}(x)$ (2.296). Проведем в (2.33) подстановку $s^2 = \frac{1}{2} z^2$, получим

$$p = \operatorname{erfc} \left(\frac{T}{2\sqrt{2}} \right). \quad (2.35)$$

Следовательно, вероятность правильного приема бита

$$q = 1 - p = \operatorname{erf} \left(\frac{T}{2\sqrt{2}} \right) \quad (2.36)$$

или

$$q = 1 - \operatorname{erfc} \left(\frac{T}{2\sqrt{2}} \right). \quad (2.37)$$

Контроль качества сигнала

Помеха, действующая на дискретный сигнал, может так его исказить, что приемнику трудно различить в нем информационное значение 1 или 0. При этом с вероятностью p принимаются ложные сообщения, а с вероятностью $q = 1 - p$ — правильные. Однако вероятность ошибочного приема можно уменьшить за счет контроля качества сигнала, который состоит в том, что в случае фиксации сомнительного по качеству сигнала он бракуется и не передается пользователю. Результатом браковки, кроме запрета на воспроизведение некачественного сигнала, может быть требование о его переспросе, повторении и т. п. Обозначив вероятность браковки сигнала в результате контроля его качества через r , получим

$$p' + q' + r = 1, \quad (2.38)$$

где p' и q' — вероятности ложного и правильного приемов сигнала при наличии контроля его качества. Под контролем качества сигнала следует понимать введение ограничения на разрешенную зону допустимого изменения параметра сигнала, например изменение его амплитуды, длительности, фазы и т. п. Из (2.38) следует, что с введением контроля качества вероятность ложного приема p' уменьшается, хотя при этом уменьшается и вероятность правильного приема за счет более частой браковки сомнительных сигналов. В сигналах с контролем качества вводятся зоны допустимого искажения сигнала помехой (сигнал, попадающий в эту зону, фиксируется как правильно принятый), зоны браковки сигнала (в этой зоне сигнал бракуется) и зоны ложного приема (в этой зоне 1 принимается как 0 и наоборот).

Определим влияние контроля качества сигнала на помехоустойчивость приема на примере приемника с фазовым контролем. При отсутствии контроля качества разрешенное изменение фазы фронта составит $\pm \frac{T}{2}$ и помехоустойчивость определится выражениями (2.35) и (2.36). При наличии контроля качества сигнала зона разрешенного приема изменения фазы D сужается: $|D| < \frac{T}{2}$. Вводятся зоны браковки сигнала r : $-T + D \leq r \leq D$ и $D \leq r \leq T - D$ (рис. 2.16).

При попадании фронта сигнала в зону D сигнал считается принятым правильно с вероятностью q' , при попадании в зоны r — сомнительным и бракуется. Вероятность попадания фазы в зону необнаруживаемых ошибок (наклонно заштрихованные области на рис. 2.26) с учетом (2.33) и (2.35) составляет

$$p' = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_{T-D}^{\infty} e^{-\frac{1}{2}z^2} dz = \operatorname{erfc} \frac{T-D}{\sqrt{2}}. \quad (2.39)$$

Соответственно вероятность правильного приема

$$q' = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^D e^{-\frac{1}{2}z^2} dz = 1 - \operatorname{erfc} \left(\frac{D}{\sqrt{2}} \right). \quad (2.40)$$

Выразим вероятность ошибки p' при наличии контроля качества сигнала (2.39) через вероятность ошибки p при его отсутствии (2.35):

$$p' = \operatorname{arfc} \left[\left(1 - \frac{D}{T} \right) \frac{T}{\sqrt{2}} \right] = \operatorname{arfc} \left[\left(1 - \frac{D}{T} \right) 2 \operatorname{erfc}^{-1}(p) \right], \quad (2.41)$$

аналогично

$$q' = 1 - \operatorname{erfc} \left[\frac{2D}{T} \operatorname{erfc}^{-1}(p) \right], \quad (2.42)$$

где

$$\operatorname{erfc}^{-1}(p) = \frac{T}{2\sqrt{2}}. \quad (2.43)$$

Из (2.41) следует, что чем строже контроль качества сигнала (т. е. чем уже зона разрешенного приема D), тем меньше вероятность ложного приема. Действительно, зона разрешенного приема ограничивает

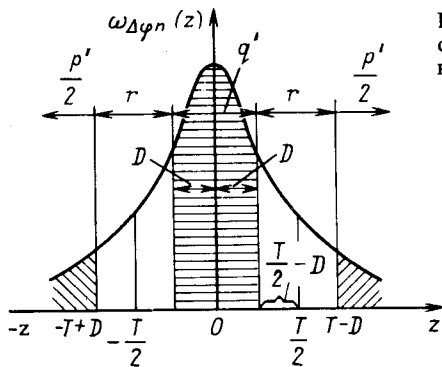
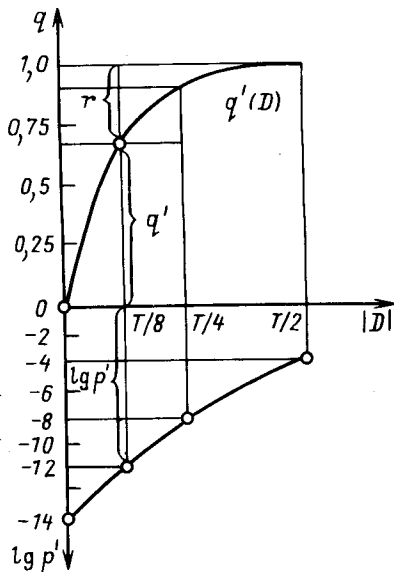


Рис. 2.17. Зависимость вероятности ошибки p' , вероятности правильного приема q' и вероятности браковки r от допустимого отклонения фазы фронта сигнала $|D|$; расчетные данные к кривым:

$ D $	p'	q'	r
$T/2$	10^{-4}	0,9999	~ 0
$T/4$	10^{-8}	0,9498	0,0509
$T/8$	10^{-11}	0,6637	0,3362
0	10^{-14}	~ 0	0,9999

Рис. 2.16. К определению вероятности ошибки при контроле "качества" сигнала



ся следующими пределами (рис. 2.16): $\frac{T}{2} \geq |D| \geq 0$. При $|D| = \frac{T}{2}$ контроль качества сигнала отсутствует и, как следует из (2.41), $p' = \operatorname{erfc}^{-1}(p)$, т. е. $p' = p$.

При $D \rightarrow 0$ зона разрешенного приема предельно сужается и вероятность правильного приема согласно (2.42) стремится к нулю ($q' \rightarrow 0$), т. е. прием информации становится невозможным.

Зависимость влияния контроля качества сигнала на показатели помехоустойчивости приема сигнала иллюстрируется рис. 2.17. Значения p' и q' получены по формулам (2.39) и (2.40). Исходной явилась величина $p = 10^{-4}$ (при $|D| = T/2$, т. е. при отсутствии контроля качества сигнала).

При $|D| = T/2$ (контроль качества сигнала отсутствует, так как разрешенной зоной приема является весь бит $\pm \frac{T}{2}$) $p' = p = 10^{-4}$, $q' = 0,999$; при $D \rightarrow 0$ $p' \approx 10^{-14}$, $q' \approx 0$, $r \approx 0,9999 \dots$

Сложные двоичные сигналы

В современных телемеханических системах применяются различные импульсные последовательности для передачи двоичных кодов. Эти последовательности состоят из элементарных двоичных сигналов, определенным образом связанных друг с другом. Наличие этих связей обуславливает повышение помехоустойчивости сигнала в целом.

На рис. 2.18 представлены некоторые из двоичных последовательностей, принятых различными фирмами в качестве стандартных. В импульсной последовательности (рис. 2.18, а) для передачи двоичного кода используется импульсный признак "да-нет": 1 передается наличием импульса, 0 — его отсутствием. Такие сигналы именуется беспаузными (поскольку разделительные паузы между 1 и 0 отсутствуют), либо "без возврата к нулю" — NRZ. Элементарные сигналы в данной двоичной последовательности взаимонезависимы, поэтому для определения помехоустойчивости двоичного сигнала в целом можно воспользоваться рассмотренными выше методами определения вероятностей переходов $1 \rightleftharpoons 0$. Использование NRZ-сигналов ограничивается наличием постоянной составляющей при большом числе следующих подряд "единиц" или "нулей", что отрицательно сказывается на прохождении сигналов через разделительные трансформаторы.

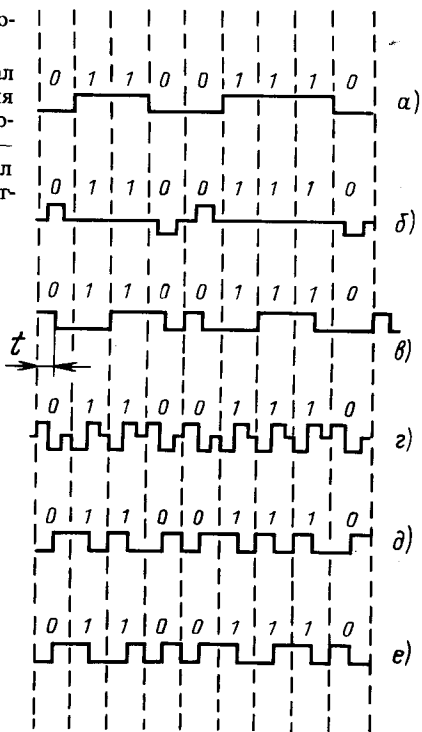
Для устранения этого недостатка применяют сигнал с "чередующейся инверсией знака" (рис. 2.18, б). Сигнал 0 передается чередующимся высоким потенциалом (положительным или отрицательным), а сигнал 1 — нулевым уровнем. Чтобы исключить постоянную составляющую, передатчик после пяти 1 подряд вставляет 0 (процедура бит-стаффинга). Приемник при декодировании изымает вставленный 0. Благодаря применению чередующейся полярности импульсов для передачи 0 помехоустойчивость такого сигнала повышается, однако увеличивается сложность приема сигналов и уменьшается его плотность за счет бит-стаффинга.

На рис. 2.18, в представлен сигнал с дискретной широтно-импульсной модуляцией ДШИМ (DPLM). Сигналы 0 и 1 отличаются друг от друга длительностью между переходами от высокого уровня к низкому и наоборот. На рисунке показано, что нуль соответствует длительности t , а единица — $3t$. Возможны и другие соотношения. Характерной особенностью сигналов ДШИМ является то, что рядом стоящие сигналы всегда имеют разное качество: если предшествующий сигнал имеет высокий потенциал (импульс), то следующий сигнал — низкий (пауза). Благодаря этому такой сигнал может быть отнесен к "сменно-качественным" сигналам (см. § 3.5). Число переходов в кодовом слове всегда постоянно, хотя его длительность может быть различна.

Постоянство числа фронтов в ДШИМ может использоваться для самосинхронизации генераторов (пошаговая синхронизация).

Рис. 2.18. Импульсные последовательности при передаче двоичных кодов:

a — бесперерывный двоичный сигнал (NRZ); *б* — чередующаяся инверсия полярности 0; *в* — дискретная широтно-импульсная модуляция (ДШИМ); *г* — биполярная модуляция; *д* — сигнал "Манчестер II" (PROWAY); *е* — сигнал "диф. Манчестер" (IEEE-802)



Помехоустойчивость сигналов с ДШИМ рассматривается в § 3.5.

На рис. 2.18, *г* представлен сигнал с биполярной модуляцией. В то время как рассмотренные выше импульсные последовательности имеют один элементарный сигнал на бит, при биполярной модуляции бит делится на три элементарных сигнала: 0 передается двухполярным сигналом "+", "-", 1 — двухполярным сигналом "-+", "+". Сигналы разделяются пробелом длительностью $1/3$ бит. Для образования ложного бита необходимо инвертирование полярностей элементарных сигналов в течение бита при сохранении неизменной длительности разделительного пробела. Такая инверсия маловероятна, поэтому помехоустойчивость сигналов с биполярной модуляцией достаточно высока. Однако из-за наличия разделительных интервалов сигнал малоэффективен с точки зрения плотности бита.

На рис. 2.18, *д* и *е* представлены импульсные двоичные сигналы, получившие в зарубежной практике название "Манчестер". Их отличительной чертой является то, что переходы с высокого потенциала на низкий и наоборот всегда располагаются посередине бита, причем число этих переходов в последовательности всегда постоянно. Последнее обстоятельство используется для самосинхронизации генераторов приемника и передатчика. В сигнале Манчестер II (рис. 2.18, *д*) бит 0 соответствует переходу с низкого уровня на высокий, бит 1 — переходу с высокого уровня на низкий. Этот сигнал в отечественной практике носит название корреляционного кода или кода с двойными коррелированными символами. Для инверсии бита необходимы одновременные переходы $0 \rightarrow 1$, $1 \rightarrow 0$ в пределах одного бита, что маловероятно. Помехоустойчивость такого сигнала рассматривается в § 3.4.

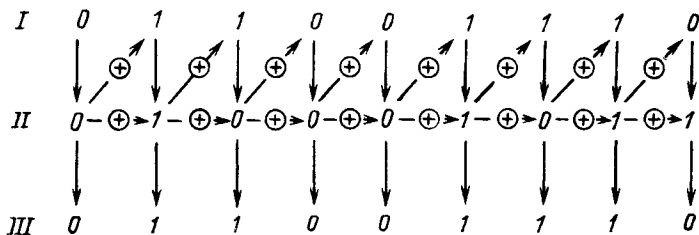


Рис. 2.19. Прямое и обратное преобразование простого двоичного кода в сигнал "диф. Манчестер":

I – двоичный код; *II* – сигнал "диф. Манчестер"; *III* – восстановление двоичного кода

Последовательность Манчестер II рекомендована известным стандартом PROWAY. Более поздняя публикация IEEE-802.4 рекомендует последовательность "дифференциальный Манчестер" (рис. 2.18, e). Сигналы этой последовательности образуются следующим образом: очередной бит "дифференциальный Манчестер" равен биту исходного двоичного кода плюс по модулю 2 значение предыдущего бита "диф. Манчестер". Так, например, двоичная последовательность 011001110 записывается сигналами "диф. Манчестер" следующим образом: 10001011.

Преобразование сигналов из двоичной последовательности в сигналы "диф. Манчестер" и обратное восстановление двоичной последовательности из сигналов "диф. Манчестер" иллюстрируются рис. 2.19.

Помехоустойчивость сигналов "диф. Манчестер" более высокая, чем сигналов Манчестер II, поскольку инверсия одного бита, требующая двукратной ошибки, с инверсией полярностей приводит к ошибке в соседнем бите, т. е. увеличивает кратность необнаруживаемых ошибок.

2.6. ИНФОРМАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

В автоматизированных системах диспетчерского управления диспетчер, получая информацию о состоянии контролируемых процессов, должен принимать решения по управлению этим процессом. Например, диспетчер энергосистемы, получив информацию об аварийном отключении генератора на электростанции, должен немедленно отдать распоряжение о введении в работу резервного генератора на данной или другой параллельно работающей электростанции и т. п. Чем большей информацией обладает диспетчер в данной конкретной ситуации, тем у него больше шансов принять правильное решение по устранению ненормальностей в контролируемом процессе.

Таким образом, задача информационного обеспечения состоит в увеличении уверенности диспетчера в правильности принимаемых им решений по управлению контролируемыми объектами.

Очевидно, что управление невозможно без достоверной информации, ибо при ее отсутствии разрывается цепь обратной связи между управляющим и управляемым объектами, необходимая для рационального управления (а именно рациональное, целенаправленное управление и подразумевается под термином "управление" вообще). Процесс управления сводится в общем виде к реакции (откликам) на информацию, получаемую от управляемого объекта. В частном случае, когда речь идет о некоторых дискретных сообщениях, процесс управления состоит в принятии решений по отношению к контролируемому объекту после получения от него очередной порции информации. Информация, получаемая от контролируемого объекта, содержит сведения, способствующие увеличению вероятности принятия правильного решения при управлении. Если же информация от контролируемого объекта не поступает, а управление все-таки производится, то решение принимается на основании так называемой априорной вероятности состояния объекта, основанной на некоторых общестатистических данных от объекта, гипотезах, связанных с предшествующим опытом, и т. п.

Отношение вероятности принятия правильного решения при наличии информации к вероятности правильного решения на основе априорной информации назовем степенью уверенности принятия решения.

Увеличение вероятности принятия правильного решения при поступлении дополнительной информации может служить мерой этой информации, которую можно назвать кибернетической мерой информации.

За единицу кибернетической меры информации примем такую информацию, которая повышает степень уверенности при принятии решения вдвое.

Вероятность принятия правильного решения по управлению процессом (назовем принятие решения по управлению "событие Y ") при наличии дополнительной информации о процессе управления (наличие информации — "событие I ") может быть определена как условная вероятность события Y при выполнении события I . Полагая эти события взаимно независимыми, имеем в соответствии с формулой условной вероятности

$$P_I(Y) = P(Y) \frac{P_Y(I)}{P(I)}, \quad (2.44)$$

где $P_I(Y)$ — вероятность принятия правильного решения при наличии информации об управляемом процессе; $P(Y)$ — то же на основе только априорной информации; $P_Y(I)$ — вероятность наличия дополнительной информации при принятии решений об управлении; $P(I)$ — вероятность априорной информации об управляемом процессе.

Согласно определению степень уверенности подсчитывается следующим образом:

$$g = \frac{P_I(Y)}{P(Y)} = \frac{P_Y(I)}{P(I)}, \quad (2.45)$$

а кибернетическая мера информации

$$I_K = \log g = \log \frac{P_I(Y)}{P(Y)}. \quad (2.46)$$

Следует отметить, что степень уверенности g может быть больше (при получении полезной информации) и меньше (при получении дезинформации) единицы. В соответствии с этим величина g может быть положительной и отрицательной. При $g=2$ получаем $I_K = 1$; при $g=0,5$ $I_K = -1$.

Информационной моделью, соответствующей $I_K = 1$, может служить следующая ситуация. Пусть на развилке двух дорог, ведущих в пункты А и В, требуется принять решение о выборе пути, ведущем в заданный пункт (например, в пункт В). При отсутствии указателя направления с равным основанием можно выбрать любую из двух дорог и с вероятностью $P(Y) = 0,5$ получить правильное решение (т. е. попасть в пункт В). Если же имеется указатель направления (т. е. имеется дополнительная информация I), то правильное решение

очевидно, т. е. $P_I(Y) = 1$. Следовательно, $g = \frac{P_I(Y)}{P(Y)} = 2$, а кибернетическая мера информации от указателя $I_K = \log \frac{1}{0,5} = 1$.

Частным случаем принятия решения является определение состояния многопозиционного объекта по сигналам его состояния (ТС). При отсутствии этих сигналов (информации ТС) состояние объекта может быть охарактеризовано лишь априорными вероятностными состояниями. Так, для двухпозиционного объекта $P(ВК)$ – вероятность включенного состояния, $P(ОТ)$ – вероятность отключенного состояния. При получении ТС о реальном состоянии объекта степень уверенности в определении состояния увеличивается во столько раз, во сколько реальная информация больше априорной, как это следует из (2.45).

Рассмотрим простые примеры, иллюстрирующие увеличение вероятности принятия правильного решения при получении дополнительной информации об объекте управления (исследования).

Пример 2.1. Положим, что диспетчеру РЭС требуется принять решение об отыскании повреждения в отходящих от ПС линий сети 10 кВ и выслать на поврежденный участок аварийную бригаду. Аварию может вызвать любой из m элементов в сети.

Рассмотрим два случая:

а) диспетчер получает один общий сигнал с ПС – “авария в сети 10 кВ”;

б) все m элементов разбиты на s групп (например, по числу отходящих от шин подстанций линий). От каждой группы может передаваться телесигнал “Авария на линии”.

Обозначим:

$P(Y)$ – вероятность принятия правильного решения по определению поврежденного элемента на основании априорной информации;

$P_S(Y)$ – то же при наличии одного из s групповых сигналов;

$P(S)$ – априорная вероятность получения информации с данной линии;

$P_Y(S)$ – вероятность получения телесигнала при аварии в зоне этой линии (т. е. достоверность группового телесигнала).

Если предположить, что все m элементов имеют равную вероятность повреждения, то в первом случае (при отсутствии информации от поврежденных объектов) для отыскания повреждения необходимо обследовать все m элементов, причем с вероятностью $(1/m)$ отыскание поврежденного элемента окажется успешным (предполагается, что в поврежденном состоянии находился один из m элементов).

Следовательно, вероятность принятия правильного решения на основании априорной информации $p(Y) = \frac{1}{m}$.

Во втором случае, получив телесигнал о повреждении объектов на одной из s линий, диспетчер должен обследовать объекты данной линии. Для простоты положим, что на каждой линии находятся $k < m$ элементов, повреждения которых равновероятны.

Поскольку общий сигнал s объединяет k элементов, каждый из которых с вероятностью $1/m$ может находиться в поврежденном состоянии, вероятность того, что телесигнал придет от данной линии, составит $P(S) = k/m$. Итак, в соответ-

ствии с (2.44)

$$P_S(Y) = \frac{P_Y(S)P(Y)}{P(S)} = \frac{P_Y(S) \frac{1}{m}}{\frac{k}{m}} = \frac{P_Y(S)}{k}$$

Степень уверенности по выражению (2.45) составит

$$g = \frac{P_S(Y)}{P(Y)} = \frac{m}{k} P_Y(S), \quad (2.47)$$

а количество полученной информации в соответствии с (2.46)

$$I_K = \log \left[\frac{m}{k} P_Y(S) \right].$$

Примем $m = 32$, $s = 4$, т. е. $k = 8$, а также что полученная информация от группового сигнала абсолютно достоверна, т. е. $P_Y(S) = 1$. Тогда степень уверенности g при получении группового телесигнала возрастет в 4 раза, а полученная информация оценится в 2 единицы.

Пример 2.2. Определить количество оперативной информации, содержащейся в ТС состояния двухпозиционного выключателя. Известны априорные вероятности его состояний: $P(\text{ВК}) = 0,995$; $P(\text{ОТ}) = 0,005$ (основную часть времени наблюдения выключатель включен). Вероятности достоверности сигналов ТС прием равными 1: $P_Y(\text{ВК}) = P_Y(\text{ОТ}) = 1$.

Если пришедший ТС подтвердил включенное состояние выключателя, то согласно (2.46)

$$I_K(\text{ВК}) = \log \frac{P_Y(\text{ВК})}{P(\text{ВК})} = \log \frac{1}{0,995} \approx 0,001,$$

т. е. сведения о включенном состоянии выключателя практически не дают дополнительной информации о состоянии объекта.

Если же получен сигнал об отключении выключателя, то полученная информация резко возрастает:

$$I_K(\text{ОТ}) = \log \frac{P_Y(\text{ОТ})}{P(\text{ОТ})} = \log \frac{1}{0,005} \approx 7,8 \text{ бит.}$$

Эти цифры действительно характеризуют большую разницу в полученной информации о чрезвычайно редком отключении выключателя по сравнению с информацией о его обычно включенном состоянии.

Напомним, что, применив в качестве меры информации энтропию состояния объекта H , мы получили бы весьма малую величину

$$\begin{aligned} H &= -P(\text{ВК}) \log P(\text{ВК}) - P(\text{ОТ}) \log P(\text{ОТ}) = \\ &= -0,995 \log 0,995 - 0,005 \log 0,005 \approx 0,0001, \end{aligned}$$

говорящую о том, что в среднем количество информации в сообщении ТС близко к 0. Однако с точки зрения диспетчера важно не среднее количество информации от объекта контроля, а оперативная информация, на которую он должен реагировать, принимая то или иное решение. В этом отношении кибернетическая мера информации более полно отражает оценку информации при использовании ее для целей управления.

СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИСКРЕТНЫХ СИГНАЛОВ (КОДЫ)**3.1. КОД, ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ**

Код — это математическая структура (закон) построения дискретных сигналов, однозначно соответствующая передаваемым сообщениям. Слово "код" (от латинского "кодекс" — свод законов) означает свод правил, законов, по которым составляются комбинации из дискретных сигналов. Каждая такая комбинация, называемая кодовой, записывается в виде последовательности, составленной из некоторых условных символов (например, цифр $0, 1 \dots$; различных букв $a, b, c \dots$ или одинаковых букв с различными показателями степени, указывающими местоположение символа в кодовой комбинации, x^k, x^{k-1} и т. д.). Символ — это элемент кодовой комбинации. Каждому сообщению, подлежащему передаче, однозначно сопоставляется (приписывается) своя кодовая комбинация. Таким образом, код позволяет записать все сообщения на некотором общем для данного набора сообщений языке. С этой точки зрения набор символов данного кода рассматривают как алфавит, а кодовые комбинации из этих символов — как кодовые слова.

Каждое сообщение передается собственным кодовым словом. Аналогия с языковой терминологией может быть продолжена и далее: кодовые слова могут объединяться в группы — кодовые предложения или фразы, которые образуют кодовые блоки, объединенные некоторой общностью (например, способом защиты от помех всех кодовых слов, входящих в блок), и т. д.

Каждому символу (букве алфавита) соответствует элементарный дискретный сигнал, обладающий определенным селективным признаком (амплитудой, частотой, длительностью и т. п.). Число селективных признаков сигналов¹ должно соответствовать числу букв кодового алфавита.

Кодирование — это преобразование сообщений в комбинации из элементарных сигналов в соответствии с заданным кодом, т. е. физический процесс придания абстрактным кодовым комбинациям реальных физических признаков сигнала. Результатом процесса кодирования является кодированный сигнал — сигнал, построенный из дискретных посылок по определенному закону — коду.

Важно подчеркнуть, что код — понятие чисто математическое, не связанное с физическими характеристиками сигнала. Элементы кода —

¹ В литературе эти признаки именуется также импульсными признаками сигналов.

символы — существуют независимо от того, какими физическими сигналами они будут передаваться по каналу связи. Понятие код связано с канальным уровнем передачи, в то время как кодированный сигнал — с физическим уровнем (см. рис. В.2). С точки зрения такого определения кода недопустимо применение таких часто встречающихся терминов, как "частотный код", "временной код" и т. д.

Разделение понятий "код" и "кодированный сигнал" позволяет анализировать независимо структуру построения сигнала. При этом не следует смешивать понятия "помехозащищенность кода" и "помехоустойчивость кодированного сигнала". Под помехозащищенностью кода будем понимать способность данной структуры противостоять действию ошибок (т. е. обнаруживать или исправлять ошибки). Это понятие необходимо для сравнения различных способов кодирования при проектировании средств передачи информации. Помехоустойчивость кодированных сигналов — более широкое понятие. Оно определяет способность физического процесса, представляющего кодированный сигнал, противостоять действию помех.

Редко можно получить более помехоустойчивый сигнал при использовании менее помехозащищенного кода и наоборот. Например, передача сообщений при использовании безызбыточного двоичного кода может обладать большей помехоустойчивостью по сравнению с использованием помехозащищенного кода, если помехоустойчивость элементарных сигналов в первом случае существенно выше, чем во втором.

Общие задачи кодирования

а) Сообщения, которые передаются телемеханическими системами, носят весьма разнообразный характер; это могут быть сообщения о состоянии коммутационной аппаратуры (включено, отключено), величины измеряемых параметров (мощность, давление, расход, температура и т. д.), различные цифровые данные контроля и статистического учета (координаты движения, выработка продукции, номера оборудования). Естественно, что в пределах одного телемеханического устройства все передаваемые сообщения должны быть представлены кодированными сигналами, построенными по одному, общему для всех или, по крайней мере, для группы сообщений закону (коду). Следовательно, общей задачей кодирования является перевод разнообразных сообщений на общий язык кодированных сигналов.

б) Необходимость в кодировании сигналов, т. е. в составлении комбинаций из элементарных дискретных сигналов по определенному математическому закону, возникает в тех случаях, когда число сообщений N превосходит число селективных качественных признаков сигналов m . В самом деле, если $m = N$, то, приписав каждому сообщению один из m признаков сигнала и посылая один элементарный сигнал

(импульс) с данным признаком, можно, вообще говоря, передать все сообщения. Если же $m < N$, то для передачи всех сообщений приходится составлять комбинации из n элементарных сигналов с m признаками. Теперь уже не элементарный сигнал, а определенная комбинация из n элементарных сигналов будет выражать данное сообщение. Естественно, что число передаваемых сообщений, равное числу комбинаций из n элементов, имеющих m различных признаков, при этом резко возрастет. Закон $N = f(n, m)$, по которому составляются комбинации, и является кодом этих сообщений.

Таким образом, одна из задач кодирования состоит в обеспечении передачи необходимого числа различных сообщений по данному каналу связи при помощи комбинирования из n элементарных сигналов с m импульсными признаками.

в) Другой, не менее важной задачей является обеспечение надежности передачи сообщений. Кодированный по определенному закону сигнал приобретает свойства обнаружения, а иногда и исправления ошибок, которые могут возникнуть в процессе передачи сигналов от передатчика к приемнику.

г) Обеспечение секретности сообщений. Применение специального кода, известного только соответствующему корреспонденту, обеспечивает секретность передачи.

д) Кодирование сигналов решает также задачу согласования параметров канала связи и сигналов: применяя тот или иной метод кодирования, удается согласовать объемы сигнала и канала связи.

Методы решения отмеченных основных задач кодирования могут быть весьма разнообразны в зависимости от конкретных условий и требований передачи сигналов. Однако эти задачи должны решаться в комплексе; кодированные сигналы должны обеспечивать передачу всей информации с необходимой степенью надежности по каналу связи с заданными параметрами.

Особенности кодирования телемеханических сообщений

Основная особенность телемеханических сообщений состоит в необходимости передачи информации в режиме реального времени и с высочайшей степенью достоверности, поскольку своевременность и надежность получаемой информации (включая и передачу команд ТУ) определяет эффективность всей системы автоматизированного (или полностью автоматического) централизованного контроля и управления крупными технологическими процессами в целом. Исходя из этого основными требованиями к системе кодирования телемеханических сообщений являются обеспечение минимальной задержки передаваемых сообщений и обеспечение высокой помехоустойчивости кодированных сигналов.

Минимальная задержка передаваемых сообщений достигается: повышением скорости передачи сигналов по каналу связи; выбором кодовых блоков (т. е. группы кодовых слов с соответствующей защитой от помех) минимальной длины; широко развитой системой приоритетов, обеспечивающей внеочередную посылку наиболее экстренных сообщений; наиболее простым (коротким) диалогом между приемником и передатчиком информации.

Высокая помехоустойчивость кодированных сообщений достигается выбором помехозащищенных кодов с большим кодовым расстоянием и высокой помехоустойчивостью элементарных сигналов.

Требования обеспечения минимальной задержки и высокой достоверности сообщений при ограниченной полосе частот пропускания канала связи взаимно противоречивы. Поэтому приходится принимать решения о компромиссном удовлетворении этих требований в каждом конкретном случае.

Спецификой передачи телемеханических сообщений в энергосистемах, которые необходимо также учитывать при выборе кодовых структур сигналов, является высокий уровень помех в каналах связи, вызванных, в частности, электромагнитным влиянием тока промышленной частоты на ВЧ каналы по высоковольтным линиям электропередачи, коммутационными помехами при операциях с выключателями и разъединителями, различными режимами повреждений на ВЛ, а также сложными условиями окружающей среды (широкими диапазонами температур, влажности, напряжения питания и т. д.), в которых работают устройства телемеханики, причем часто при отсутствии постоянного обслуживающего персонала.

Основным требованием при передаче большинства телемеханических сообщений является низкая вероятность обнаруживаемых ошибок (т. е. малая вероятность воспроизведения ложных сообщений). Особенно это относится к командам ТУ: исполнение ложной команды должно быть практически исключено, так как эта ложная операция может привести к катастрофическим последствиям (вплоть до гибели людей). Потеря сообщений тоже нежелательна, однако более допустима, особенно если сопровождается сигналом, требующим повторения потерянного (забракованного) сообщения.

Следует также считаться с возможностью образования ложных сообщений без их передачи от источника сообщений, т. е. из помех на входе приемника. Поэтому приемники УТМ при отсутствии передачи должны быть закрыты, а если это по каким-либо причинам невозможно, то коды сообщений должны обеспечивать практическую невозможность формирования сообщения из помех на входе приемного устройства.

3.2. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОДОВ

Число используемых символов (или букв в кодовом алфавите) определяет основание кода m . По значению m коды подразделяются на двузначные (двоичные, бинарные) при $m = 2$, трехзначные ($m = 3$) и многозначные ($m > 3$). Число разрядов n в кодовых комбинациях определяет длину кода. Если длина всех кодовых слов одинакова ($n = \text{const}$), то код называется равномерным.

Емкость кода — число комбинаций (кодовых слов) из общего числа $N = m^n$ используемых для передачи сообщений. Эти комбинации называются рабочими N_p . Закон $N_p = f(n, m)$, по которому составляются рабочие комбинации, и является кодом.

Избыточность кода, коэффициент избыточности. Из всех возможных кодовых комбинаций $N = m^n$ для передачи сообщений используется лишь некоторая часть ($N_p < N$). Остальные же избыточные комбинации служат для целей проверки правильности прохождения кодированного сигнала. Если вместо посланной кодовой комбинации принята кодовая комбинация, не входящая в число N_p , то это означает, что в процессе передачи произошла ошибка.

Принятая искаженная комбинация анализируется. Результатом анализа может явиться сигнал ошибки (защитное действие) либо восстановление посланного сигнала (исправление ошибки). Таким образом, способность кодов обнаруживать (или исправлять) ошибки связана с их избыточностью. Избыточность кодов характеризуется коэффициентом избыточности

$$K_{\text{из}} = 1 - \frac{\log_m N_p}{\log_m N} \quad (3.1)$$

Значение $K_{\text{из}}$ лежит в пределах $0 < K_{\text{из}} < 1$. Код, у которого используются все возможные комбинации в качестве рабочих ($N_p = N$), называется безыбыточным непомохозащищенным кодом. Для такого кода $K_{\text{из}} = 0$.

Кодовое расстояние d между двумя кодовыми комбинациями (кодowymi векторами) равно числу одноименных разрядов с отличными символами. Для двузначных кодов кодовое расстояние определяется как вес (т. е. число единиц) суммы по модулю 2 двух кодовых комбинаций. Например, d между комбинациями 0110111 и 1101010 равно 5, поскольку сумма по модулю 2 1011101 имеет вес, равный 5.

Кодовое расстояние играет важную роль при рассмотрении помехозащищенности кодов. Оно характеризует, насколько одна рабочая комбинация удалена от другой. Чем больше d , тем труднее при прочих равных условиях помехам исказить посланную комбинацию так, чтобы она превратилась в другую рабочую комбинацию, т. е. чтобы было принято ложное сообщение.

Таблица 3.1. Матрица кодовых расстояний $d_{i,j}$

V_j	V_i	V_1	V_2	V_3	V_{N_p-1}	V_{N_p}
V_1	0		$d_{1,2}$	$d_{1,3}$	d_{1,N_p-1}	d_{1,N_p}
V_2	$d_{2,1}$	0		$d_{2,3}$	d_{2,N_p-1}	d_{2,N_p}
V_3	$d_{3,1}$	$d_{3,2}$	0		d_{3,N_p-1}	d_{3,N_p}
V_{N_p-1}	$d_{N_p-1,1}$	$d_{N_p-1,2}$	$d_{N_p-1,3}$	0		d_{N_p-1,N_p}
V_{N_p}	$d_{N_p,1}$	$d_{N_p,2}$	$d_{N_p,3}$	d_{N_p,N_p-1}	0	

В теории помехозащищенных кодов помехи характеризуются кратностью помех, указывающей число символов кода, которые помеха способна исказить (в двузначных кодах 0 заменить 1 и наоборот). Так, однократная помеха искажает один разряд кодовой комбинации, двукратная — два и т. д.

Если вероятность однократной помехи обозначить p , то для симметричного двоичного канала без памяти вероятность двукратной помехи составит p^2 , трехкратной — p^3 и т. д. Ясно, что при такой модели канала наибольшую опасность имеют однократные помехи, поскольку они наиболее вероятны.

Для характеристики помехозащищенности кода в целом существует понятие минимального кодового расстояния d_{min} — минимального расстояния между любыми парами кодовых векторов, входящих в данный код.

Совокупность кодовых расстояний между всеми рабочими векторами кода N_p образует матрицу кодовых расстояний (табл. 3.1). Минимальное кодовое расстояние определяется из этой матрицы:

$$d_{min} = \min[d_{i,j}], \quad i \neq j = 1, 2, \dots, N_p.$$

Величина d_{min} характеризует минимальную кратность помехи, которая может привести к необнаруживаемым ошибкам (т. е. к приему ложных сообщений). Так, при $d_{min} = 1$ уже однократная помеха, т. е. помеха, искажающая всего один бит в кодовой комбинации, приводит к ложному сообщению. Следует подчеркнуть, что в избыточных кодах не все искажения кратности d_{min} вызывают ложные сообщения. Од-

нако d_{min} характеризует ту наименьшую кратность помехи, которая достаточна для появления ложных сообщений.

Зависимость между кодовым расстоянием и кратностью обнаруживаемых и исправляемых ошибок. Чем бóльшим кодовым расстоянием обладает код, тем он имеет бóльшую потенциальную помехозащищенность. Для обнаружения всех ошибок кратности до r минимальное кодовое расстояние должно быть равно

$$d_{min} = r + 1. \quad (3.2)$$

Выполнение условия (3.2) означает, что любая помеха кратности до r не сможет перевести одну рабочую комбинацию в другую, т. е. не сможет образовать ложного сообщения, а переводит рабочую комбинацию в область запрещенных, которые приемник может просто обнаружить и запретить их исполнение.

Существуют коды, которые позволяют не только обнаруживать ошибки, но и исправлять их и тем самым восстанавливать исходные кодовые комбинации, искаженные при передаче. Для исправления ошибок кратности s минимальное кодовое расстояние должно быть увеличено по сравнению с расстоянием, определяемым по формуле (3.2):

$$d_{min} \geq 2s + 1. \quad (3.3)$$

При этом кодовые комбинации с ошибками кратности до s как бы группируются вокруг соответствующей рабочей комбинации, образуя группу кодовых векторов, удаленных от данной рабочей комбинации на меньшие расстояния, чем от любых других. Это обстоятельство и используется для исправления ошибок кратности не более s : принятая кодовая комбинация расшифровывается как рабочая, если отстоит от рабочей на расстоянии, не превышающем s .

Для исправления s -кратных и обнаружения r -кратных ошибок необходимо выполнение следующего условия:

$$d_{min} \geq r + s + 1, \quad (3.4)$$

причем $r \geq s$.

Коды, позволяющие обнаруживать (исправлять) ошибки, называются также корректирующими (самокорректирующими).

Распределение рабочих кодовых комбинаций по кодовым расстояниям. Матрица кодовых расстояний (табл. 3.1) позволяет определить для всех рабочих векторов V_i , $i = 1, 2, \dots, N_p$, числа кодовых векторов, удаленных от данного на расстояния $d = 1, 2, \dots, n$. Эти числа A_i^d представляют собой распределение i -го рабочего вектора по кодовым расстояниям в ансамбле рабочих кодов (табл. 3.2). Минимальное значение d в этом распределении равно d_{min} , максимальное может

Таблица 3.2. Распределение кодовых векторов по кодовым расстояниям A_i^d

V_i	d			
	1	2	...	n
V_1	$A_1^{d=1}$	$A_1^{d=2}$...	$A_1^{d=n}$
V_2	$A_2^{d=2}$	$A_2^{d=2}$...	$A_2^{d=n}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
V_{N_p}	$A_{N_p}^{d=1}$	$A_{N_p}^{d=2}$...	$A_{N_p}^{d=n}$

достигать числа разрядов n (если все разряды кодовых комбинаций инверсны). Если все кодовые векторы имеют одинаковое распределение кодовых расстояний

$$A_i^d = \text{const} = A_p^d, \quad i = 1, 2, \dots, N_p,$$

то такой код является симметричным. Для характеристики симметричного кода, очевидно, достаточно иметь распределение A_p^d для одного любого кодового вектора.

Распределение кодовых векторов по кодовым расстояниям позволяет более детально (по сравнению с известной величиной d_{min}) охарактеризовать потенциальную помехозащищенность кода. Зная это распределение, можно определить, от какого количества ошибок той или иной кратности защищен данный код. Для этого необходимо вычислить коэффициенты необнаруживаемых (ложных) переходов одной рабочей комбинации в другие под влиянием помех заданной кратности.

Для простейших кодов существуют формулы для вычисления A_p^d . Однако в общем случае эти вычисления производятся с помощью несложных программ на ЭВМ.

Коэффициент ложных переходов определяется следующим образом:

$$K_n^{(d)} = \frac{A_p^{(d)}}{N_\Sigma^{(d)}}, \quad (3.5)$$

где $A_p^{(d)}$ — число рабочих векторов, отстоящих от данного рабочего

вектора на расстоянии d ; $N_{\Sigma}^{(d)}$ — суммарное число возможных кодовых векторов той же разрядности n , отстоящих от данного рабочего вектора на расстоянии d .

Величина $N_{\Sigma}^{(d)}$ для всех двузначных кодов определяется числом сочетаний из числа разрядов n по d :

$$N_{\Sigma}^{(d)} = C_n^d.$$

Рабочий вектор под воздействием d -кратной помехи может перейти в множество $N_{\Sigma}^{(d)}$ векторов, причем если он попадет в подмножество $A_p^{(d)}$ этого множества, то будет принято ложное сообщение. Коэффициент $K_n^{(d)}$ и характеризует долю ложных переходов под влиянием d -кратной помехи.

Для симметричных кодов, как было отмечено, существует единое распределение $A_p^{(d)}$ для кода в целом. Поэтому подсчет $K_n^{(d)}$ для таких кодов производится непосредственно по выражению (3.5).

Для несимметричных кодов можно определить лишь среднее значение $K_n^{(d)}$, для чего определяется $A_i^{(d)}$ для каждого из N_p векторов в отдельности ($i = 1, 2, \dots, N_p$) и затем производится усреднение по всем рабочим кодовым векторам:

$$K_{n, \text{ср}}^{(d)} = \frac{1}{N_p} \sum_{i=1}^{N_p} \frac{A_i^{(d)}}{N_{\Sigma}^{(d)}}. \quad (3.6)$$

3.3. ЧИСЛОВЫЕ КОДЫ

Алфавитом кодовых комбинаций могут служить цифры. Составив из цифр число и сопоставив это число с определенным сообщением, получим числовой код этого сообщения.

Системы счисления

Целое число N может быть записано в любой системе счисления в виде ряда

$$N = \sum_{i=0}^{i=n-1} k_i m^i, \quad (3.7)$$

где m — основание системы счисления; n — количество разрядов числа; i — номер разряда; k_i — разрядные коэффициенты.

Основание m системы счисления определяет ее название: $m = 2$ — двоичная система, $m = 3$ — троичная и т. д.

Наиболее распространены следующие системы счисления, используемые при формировании числовых кодов в машинных системах: двоичная, восьмеричная, шестнадцатеричная. Для записи чисел в двоичной системе используются всего две цифры: 0 и 1. В восьмеричной системе числа изображаются с помощью восьми цифр: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7. В шестнадцатеричной системе требуется шестнадцать знаков, в качестве которых используются десять цифр от 0 до 9 и шесть букв А, В, С, D, E, F (табл. 3.3).

Для наиболее распространенной в обычной практике вычислений десятичной системы $m = 10$, $k_i = 0 \div 9$. В ней число, например, 249 записывается в виде ряда (3.7) следующим образом:

$$(249)_{10} = 2 \cdot 10^2 + 4 \cdot 10^1 + 9 \cdot 10^0.$$

Обычно принятая форма записи числа основана на записи лишь разрядных коэффициентов.

Аналогично для двоичной системы

$$(249)_2 = 1 \cdot 2^7 + 1 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 \rightarrow \\ \rightarrow 11111001;$$

Таблица 3.3. Запись чисел в различных системах счисления

Десятичные	Двоичные	Восьмеричные	Шестнадцатеричные
1	1	1	1
2	10	2	2
3	11	3	3
4	100	4	4
5	101	5	5
6	110	6	6
7	111	7	7
8	1000	10	8
9	1001	12	9
10	1010	12	A
11	1011	14	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D
14	1110	16	E
15	1111	17	F
16	10000	20	10
17	10001	21	11
18	10010	22	12
32	100000	40	20
64	1000000	100	40
100	1100100	144	64
128	10000000	200	80
256	100000000	400	100

для восьмеричной системы

$$(249)_8 = 3 \cdot 8^2 + 7 \cdot 8^1 + 1 \cdot 8^0 \rightarrow 371;$$

для шестнадцатеричной системы

$$(249)_{16} = 15 \cdot 16^1 + 9 \cdot 16^0 \rightarrow F9.$$

Количество кодовых комбинаций числового кода равно $N = m^n$. Чем выше основание системы счисления, тем меньшее число разрядов имеет заданное число N , т. е. тем короче кодовая комбинация (так, из приведенных примеров видно, что для записи одного и того же числа 249 в шестнадцатеричной системе требуется два разряда, в десятичной и восьмеричной — три, в двоичной — восемь).

Наименование числовых кодов определяется системой счисления, положенной в основу их формирования.

Числовой двоичный код

Все N сообщений нумеруются порядковой последовательностью в двоичной системе счисления, образующей двоичный код этих сообщений. Двоичная система имеет ряд преимуществ, особенно в условиях машинного счета. Наличие в этой системе всего двух знаков (0 и 1) как нельзя лучше соответствует двум позициям двухпозиционных элементов (триггеров), используемых в различных автоматических устройствах. Исключительное распространение, которое получила двоичная система в современной вычислительной технике, объясняется также чрезвычайной простотой арифметических действий в этой системе.

Количество кодовых комбинаций двоичного кода равно

$$N = 2^n.$$

Следовательно, для записи в двоичном коде данного числа сообщений N требуется иметь n разрядов:

$$]n[= \log_2 N,$$

где $]n[$ — ближайшее большее целое число.

В двоичном коде используются все возможные кодовые комбинации, т. е. $N_p = N$. Поэтому этот код является избыточным и согласно (3.1) $K_{из} = 0$.

Благодаря отсутствию избыточности двоичный код в принципе является непомехозащищенным; любая, даже однократная ошибка образует ложную комбинацию. Минимальное кодовое расстояние $d_{min} = 1$. Нетрудно показать, что коэффициент ложных переходов равен 1 для любого d .

Благодаря простоте реализации двоичные коды широко используются на практике для формирования информационной части кода. Для

Таблица 3.4. Запись десятичных чисел (0–15) числовым двоичным кодом и кодом Грея

Номер комбинации	Числовой двоичный код	Двоичный код Грея	Номер комбинации	Числовой двоичный код	Двоичный код Грея
0	0000	0000	8	1000	1100
1	0001	0001	9	1001	1101
2	0010	0011	10	1010	1111
3	0011	0010	11	1011	1110
4	0100	0110	12	1100	1010
5	0101	0111	13	1101	1011
6	0110	0101	14	1110	1001
7	0111	0100	15	1111	1000

придания кодовым комбинациям большей помехозащищенности к информационным символам добавляются защитные символы, которые и определяют помехозащищенность кода.

В качестве простейшей защиты двоичных кодов от искажений используется фиксация нарушения количества элементов в кодовой комбинации. Для этой цели в телемеханике всегда используются равномерные двоичные коды, т. е. такие, у которых все кодовые комбинации имеют одинаковую длину.

Другие виды защиты двоичного кода будут рассмотрены ниже.

Двоичный код Грея. В кодоимпульсных телеизмерительных устройствах, в которых используется преобразование угла поворота в код, применяется специальный двоичный код, получивший наименование кода Грея. Отличительной особенностью этого кода является то, что соседние кодовые комбинации, расположенные в порядке возрастания номеров, отличаются лишь в одном разряде. В простом двоичном коде это правило не соблюдается: например, при переходе от комбинации № 3 к № 4 единицы меняются во всех трех разрядах, от № 7 к № 8 – во всех четырех и т. д. Двоичный код Грея (первые 16 комбинаций) представлен в табл. 3.4.

Комбинации этого кода образуются из соответствующей комбинации простого двоичного кода путем суммирования ее по модулю 2 с этой же комбинацией, но сдвинутой на один разряд вправо. При этом младший разряд суммы отбрасывается.

Преимущество применения кода Грея состоит в том, что при преобразовании аналоговой величины (угла поворота, механического перемещения и т. п.) в код, например с помощью кодовой маски, погрешность преобразования не превышает погрешности дискретности, т. е. единицы младшего разряда, так как при переходе от одного уровня дискретности к другому меняется единица только в одном разряде.

При применении же простого двоичного кода ошибка в фиксации старшего разряда на границе двух дискретных уровней приводит к ошибке равной 50% шкалы измерения.

Обратное преобразование кода Грея в двоичный код производится, начиная со старшего разряда, по следующему правилу. Сначала переписывается без изменения старший разряд преобразуемой комбинации. Значение каждого последующего разряда двоичного кода находится путем сложения по модулю 2 этого разряда в коде Грея с предыдущими, более старшими разрядами. Например, комбинация кода Грея 1001 соответствует следующей комбинации двоичного кода: старший разряд 1, следующий разряд $0 + 1 = 1$, $0 + 0 + 1 = 1$, $1 + 0 + 0 + 1 = 0$, т. е. 1110.

Код Грея является безыбыточным ($K_{из} = 0$, $d_{min} = 1$), поэтому в принципе это не помехозащищенный код. Однако если допустить, что каждое последующее сообщение отличается от предыдущего не более чем на ± 1 (такие сообщения, например, характерны для циклических телеизмерений медленно меняющихся процессов), то закономерность кода Грея (отличие каждой соседней комбинации не более чем в одном разряде) может служить основой выявления ошибок в принятом сообщении: комбинация считается принятой правильно, если она отличается от предшествующей не более чем одним разрядом, все другие комбинации бракуются. При таких условиях код Грея можно считать помехозащищенным от всех ошибок кратности более 1.

Двоичный безыбыточный код с кодовым расстоянием $d \geq 2$ между соседними кодовыми комбинациями. Идею построения безыбыточных кодов с кодовым расстоянием $d > 1$ между соседними кодовыми комбинациями предложил профессор Г. М. Бугаев, который разработал синтез и анализ этих кодов вплоть до $d \leq 5$ [21]. Эти коды целесообразно использовать для циклических телеизмерений медленно меняющихся параметров. Рассмотрим безыбыточный код с кодовым расстоянием $d \geq 2$ между соседними кодовыми комбинациями.

Этот код может быть синтезирован из двоичного числового кода по правилу, подобному синтезу кода Грея, с той лишь разницей, что комбинация этого кода образуется из исходной комбинации двоичного кода путем суммирования ее по модулю 2 со сдвинутой влево на один разряд этой же комбинацией. При этом отбрасывается старший разряд полученной суммы. Дополнительным правилом является следующее: если результатом суммирования по сформулированному выше правилу окажется исходная комбинация, то она инвертируется. В табл. 3.5 приведены комбинации описываемого кода для $n = 4$ и $n = 5$.

Комбинация № 8 для $n = 4$ и № 16 для $n = 5$ образованы инвертированием полученной комбинации (в соответствии с дополнительным правилом). Расстояние между всеми соседними комбинациями равно

Таблица 3.5. Двоичный код с $d \geq 2$ между соседними кодовыми комбинациями

Номер комбинации	Двоичный код	$n = 4$	$n = 5$	Номер комбинации	Двоичный код	$n = 5$
0	00000	0000	00000	16	10000	01111
1	00001	0011	00011	17	10001	10011
2	00010	0110	00110	18	10010	10110
3	00011	0101	00101	19	10011	10101
4	00100	1100	01100	20	10100	11100
5	00101	1111	01111	21	10101	11111
6	00110	1010	01010	22	10110	11010
7	00111	1001	01001	23	10111	11001
8	01000	0111	11000	24	11000	01000
9	01001	1011	11011	25	11001	01011
10	01010	1110	11110	26	11010	01110
11	01011	1101	11101	27	11011	01101
12	01100	0100	10100	28	11100	00100
13	01101	0111	10111	29	11101	00111
14	01110	0010	10010	30	11110	00010
15	01111	0001	10001	31	11111	00001

двум за исключением комбинаций № 8 (для $n = 4$) и № 16 ($n = 5$), для которых оно равно трем.

Обратное преобразование в двоичный код производится, начиная с младшего разряда преобразуемой комбинации, по следующему правилу.

Сначала переписывается без изменения младший разряд. Значение каждого последующего (более старшего) разряда двоичного кода находится путем суммирования по модулю 2 этого разряда преобразуемого кода с предыдущими (более младшими) разрядами. Например, комбинация № 25 пятиразрядного безызбыточного двоичного кода с $d \geq 2$ между соседними комбинациями 01011 соответствует следующей комбинации двоичного кода: младший (нулевой) разряд 1, первый разряд $1 + 1 = 0$, второй $0 + 1 + 1 = 0$, третий $1 + 0 + 1 + 1 = 1$, четвертый $0 + 1 + 0 + 1 + 1$, т. е. 11001. Исключение в обратном переводе составляют, естественно, лишь комбинации № 8 (для $n = 4$) и № 16 (для $n = 5$), которые образуются в результате их обратного инвертирования. В общем случае n -разрядного кода номера инвертируемых комбинаций соответствуют числам 2^{n-1} .

Минимальное кодовое расстояние в рассматриваемом коде $d_{min} = 1$, так что в принципе он допускает ложные сообщения при однократных ошибках (например, переход комбинаций № 11 в № 21, № 13 в № 21, № 15 в № 31 и др.). Однако если ввести ограничения на передаваемые сообщения, заключающиеся в том, что с вероятностью, близ-

кой к 1, каждое последующее сообщение отличается от предыдущего не более чем на ± 1 квант, то описанный безызбыточный код обнаруживает все однократные ошибки, т. е. обладает свойствами помехозащищенного кода с $d = 2$. При этом приемник должен лишь контролировать, что принятая комбинация отличается от предшествующей не более чем на ± 1 (т. е. разрешенная апертура приема $H = 2$). В случае выхода принятой комбинации за разрешенную апертуру она бракуется.

Двоично-десятичные коды базируются на двоично-десятичной системе счисления. Каждый разряд десятичного числа записывается в виде двоичного четырехразрядного числа (тетрады). Поскольку тетрадой можно записать 16 различных цифр, десятичная цифра может быть записана различными двоичными числами. Это порождает многообразие двоично-десятичных кодов.

Все двоично-десятичные коды подразделяются на весовые и не весовые. "Весом" единицы разряда двоичного числа является ее эквивалент в десятичной системе. Сумма весов двоичной тетрады равна цифре десятичного числа. Весовым двоично-десятичным кодом называется такой код, в котором веса разрядов для всех десяти комбинаций сохраняются постоянными.

В табл. 3.6 представлены некоторые весовые двоично-десятичные коды, отличающиеся весом разрядов двоичного числа.

Перечисление весов разрядов дает название двоично-десятичному коду, например: код 8-4-2-1, код 5-4-2-1, код 2-4-2-1 и т. д.

Код 8-4-2-1 является единственным весовым кодом, в котором разрядные коэффициенты десятичного числа могут быть получены однозначно: например, цифре 6 соответствуют единицы в первом и втором разрядах; цифре 9 — в нулевом и третьем разрядах и т. д. Поэтому код 8-4-2-1 очень удобен для преобразователей типа код-аналог, применяемых в приемниках кодоимпульсных телеизмерительных устройств. Наличие единицы в соответствующем разряде однозначно может быть отображено добавлением соответствующей порции (веса) аналоговой величины (например, выходного тока или напряжения) на выходе преобразователя.

Код 5-4-2-1, как видно из табл. 3.6, обладает той интересной особенностью, что вторая половина кодовых комбинаций (5-9) во всех разрядах, кроме старшего, повторяет кодовые комбинации первой половины (0-4) и лишь в старшем разряде нуль заменяется единицей.

Код 2-4-2-1 может быть получен инверсным отображением кодовых комбинаций относительно центральной оси, делящей все комбинации на две равные части.

Выбор того или иного двоично-десятичного кода диктуется целым рядом конкретных условий его использования и соображениями удобства его реализации.

Двоично-десятичные коды широко применяются при построении

Таблица 3.6. Весовые двоично-десятичные коды

Десятич- ное чис- ло	Веса разрядов											
	8	4	2	1	5	4	2	1	2	4	2	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
2	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
3	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
4	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
5	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1
6	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0
7	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1
8	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0
9	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1

дискретных телеизмерительных систем, особенно в тех случаях, когда измеряемый параметр должен воспроизводиться на цифровых указывающих приборах.

Двоично-десятичные коды обладают некоторой избыточностью — коэффициент избыточности в каждой декаде примерно равен 0,2. Это обстоятельство может быть использовано для обнаружения некоторых ошибок. Для этой цели кроме десяти рабочих комбинаций должны фиксироваться и остальные шесть комбинаций, причем при приеме этих комбинаций, которые могут быть лишь результатом ошибок при передаче кода, должен обеспечиваться запрет воспроизведения информации. Однако при этом обнаруживаются далеко не все, даже самые простые, однократные ошибки.

Двоично-шестнадцатеричный код широко используется для сокращенной записи кодовых комбинаций, имеющих байтную структуру. Двоичное четырехразрядное число записывается шестнадцатеричным символом (см. табл. 3.3). При этом двоичный байт (8 разрядов двоичного кода) записывается шестнадцатеричными разрядами. Например, двоичные последовательности 1110 0111, 1011 1101 записываются соответственно .E7 и .BD. Точка перед символами* отличает двоично-шестнадцатеричные двухразрядные числа от двухразрядных шестнадцатеричных чисел $(E7)_{16} = (231)_{10}$ и $(BD)_{16} = (189)_{10}$.

3.4. ДВОИЧНЫЕ КОДЫ С ОБНАРУЖЕНИЕМ ОШИБОК

Для того чтобы простой двоичный код приобрел свойства обнаружения ошибок, он должен содержать дополнительные (избыточные) разряды.

* В литературе встречается также обозначение "Н" вместо точки: E7Н, ВDН и т. д.

Код с защитой по паритету (четности или нечетности)

Каждая комбинация простого двоичного кода содержит один защитный разряд, дополняющий числа единиц до четности (или нечетности). Приемное устройство бракует все комбинации, содержащие нечетное (или соответственно четное) число единиц. В табл. 3.7 приведены восемь комбинаций с защитой по четности.

Емкость кода с защитой по паритету

$$N_p = 2^{n-1},$$

где n — общее число разрядов кода.

Коэффициент избыточности

$$K_{из} = 1 - \frac{\log 2^{n-1}}{\log 2^n} = \frac{1}{n}.$$

Кодовое расстояние $d_{min} = 2$.

Код с защитой по паритету является симметричным. Поэтому распределение рабочих векторов по кодовым расстояниям для всех векторов одинаково и может быть записано в следующем виде:

$$A_p^{(d)} = C_n^{d_p}, \quad (3.8)$$

где d_p принимает значения 2, 4, 6, ..., $[n]$; $[n]$ — четное число, ближайшее к n и не больше его.

Коэффициент ложных переходов

$$K_n^{(d)} = \frac{C_n^{d_p}}{C_n^d}.$$

Код с защитой по паритету обнаруживает все ошибки нечетной крат-

Таблица 3.7. Примеры двоичных кодов с обнаружением ошибок

Простой двоичный код	Код с защитой по четности	Код с повторением	Код с повторением и инверсией	Корреляционный код
000	0000	000000	000000	010101
001	0011	001001	001110	010110
010	0101	010010	010101	011001
011	0110	011011	011011	011010
100	1001	100100	100011	100101
101	1010	101101	101101	100110
110	1100	110110	110110	101001
111	1111	111111	111000	101010

ности, а все ошибки четной кратности не обнаруживаются, т. е. приводят к ложным сообщениям. В соответствии с этим коэффициент ложных переходов составляет

$$K_{\text{л}}(d) = \begin{cases} 0 & \text{для } d \text{ нечетных чисел,} \\ 1 & \text{для } d \text{ четных чисел,} \\ & d = 1, 2, \dots, n. \end{cases}$$

Код с защитой по паритету "по горизонтали и вертикали"

Помехозащищенность последовательности кодовых слоев с защитой по паритету может быть усилена введением дополнительного контрольного слова той же длины, разряды которого осуществляют паритетную защиту одноименных разрядов всей последовательности кодовых слов. Если расположить последовательность M -разрядных кодовых слов с защитой по паритету (M -защитный разряд) в виде матрицы, содержащей L строк, причем каждый разряд L -й строки дополняет до паритета соответствующий столбец (рис. 3.1), то получим код с защитой по паритету "по горизонтали и вертикали". Общее число разрядов такого кода равно $n = M \cdot L$.

Число информационных символов $n_{\text{и}} = (M - 1)(L - 1)$.

Коэффициент избыточности

$$K_{\text{из}} = 1 - \frac{(M - 1)(L - 1)}{ML} = \frac{1}{L} + \frac{1}{M} - \frac{1}{ML}.$$

Минимальное кодовое расстояние $d_{\text{min}} = 4$.

Не обнаруживаются ошибки кратности 4, 6, 8, ..., $[n]$.

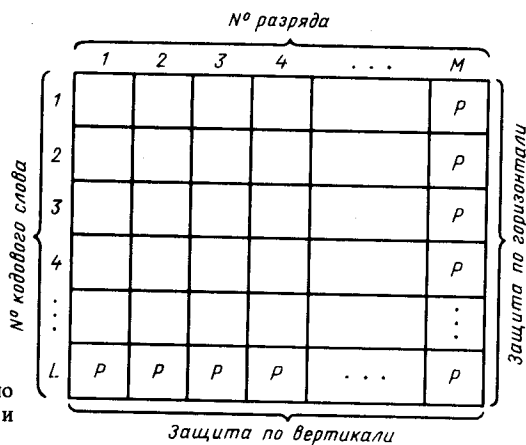


Рис. 3.1. Код с защитой по паритету "по горизонтали и вертикали"

Число ошибок кратности 4

$$A_p^{(4)} = C_M^2 \cdot C_L^2 = \frac{M(M-1)L(L-1)}{4}. \quad (3.9)$$

Коэффициент ложных переходов кратности 4

$$K_{л}^{(4)} = \frac{C_M^2 \cdot C_L^2}{C_{M \cdot L}^4}.$$

В [17] показано, что если по вертикали выполнять защиту не по паритету, а по контрольной сумме единиц в столбе по модулю 2^{M-1} , то помехозащищенность такого кода будет еще выше; число необнаруживаемых ошибок кратности 4 уменьшится до

$$A_p^{(4)} = \frac{L(L-1)}{2} \frac{(M-1)(M+10)}{8}, \quad (3.9a)$$

т. е. уменьшится в $\frac{4M}{M+10}$ раз (при $M=9$ — примерно в 2 раза).

Код с повторением

Каждая комбинация двоичного кода повторяется. Приемник фиксирует совпадение значений принятых разрядов в первой (информационной) и второй (защитной) частях кода (см. табл. 3.7). При отсутствии совпадения комбинация бракуется (т. е. обнаруживается ошибка).

Емкость кода $N_p = 2^2$.

Коэффициент избыточности $K_{из} = 0,5$.

Кодовое расстояние $d_{min} = 2$.

Таблица 3.8. Коэффициент ложных переходов $K_{л}^{(d)}$, %, кратности d для кода с повторением

n	d								N_p
	2	4	6	8	10	12	14	16	
4	33,3	100	—	—	—	—	—	—	4
6	20	20	100	—	—	—	—	—	8
8	14,3	5	14,3	100	—	—	—	—	16
10	11,1	4,76	4,76	11,1	100	—	—	—	32
12	9,09	3,03	2,16	3,03	9,09	100	—	—	64
14	7,69	2,1	1,16	1,16	2,1	7,69	100	—	128
16	6,66	1,54	0,7	0,93	0,7	1,54	6,66	100	256

Распределение рабочих кодов по кодовым расстояниям (код симметричный)

$$A_p^{(d)} = C_{n/2}^2 \frac{d_p}{n}, \quad (3.10)$$

где $d_p = 2, 4, 6, \dots, n$ (n — всегда четное число).

Коэффициент ложных переходов

$$K_n^{(d)} \% = \frac{A_p^{(d)}}{C_n^{(d)}} 100. \quad (3.11)$$

Код с повторением обнаруживает все ошибки нечетной кратности и значительную часть ошибок четной кратности. В табл. 3.8 приведены значения $K_n^{(d)} \%$, для $n = 4 \div 16$, подсчитанные по (3.10) и (3.11).

Код с повторением и инверсией

В зависимости от четности числа единиц в исходной комбинации двоичного кода она либо просто повторяется, либо при повторении инвертируется.

Приемник вначале анализирует первую половину кодовой комбинации и в случае четного числа единиц в ней сравнивает ее со второй половиной, с которой она должна поразрядно совпасть. В случае же нечетного числа в первой половине она инвертируется и проверяется на поразрядное совпадение со второй половиной принятой комбинации.

Емкость и коэффициент избыточности такие же, как у кода с простым повторением. Однако при том же числе разрядов кода кодовые расстояния между комбинациями могут быть больше, чем у кода с простым повторением.

Код является симметричным. Поэтому распределение кодов по кодовым расстояниям $A_p^{(d)}$ достаточно определить для любого одного кодового вектора, например для нулевого. Минимальное кодовое расстояние d_{min} для кода с повторением и инверсией зависит от общего числа разрядов n :

$$d_{min} = \begin{cases} n/2 & \text{при } (n/2) < 4, \\ 4 & \text{при } (n/2) \geq 4. \end{cases}$$

Кодовые расстояния рабочих комбинаций определяются следующим рядом: $d_p = n/2; 4i$, где $i = 1, 2, 3, \dots$, $\left[\frac{n}{4} \right]$; $\left[\frac{n}{4} \right]$ — ближайшее к $n/4$ целое число, меньшее или равное $\frac{n}{4}$.

Распределение кодовых комбинаций по кодовым расстояниям подсчитывается следующим образом:

$$\text{для } d_p = n/2$$

$$A_p^{(d_p = n/2)} = C_{n/2}^1 + C_{n/2}^3 + \dots + C_{n/2}^k, \quad (3.12a)$$

где k — нечетное, причем

$$k = \begin{cases} n/2 & \text{при } n/2 \text{ нечетном,} \\ n/2 - 1 & \text{при } n/2 \text{ четном;} \end{cases}$$

$$\text{для } d_p = 4i$$

$$A_p^{(d_p = 4i)} = C_{n/2}^{2i}, \quad (3.12b)$$

где $i = 1, 2, 3, \dots, [n/4]$.

При целом числе $i = n/8$ кодовое расстояние в (3.12b) составляет $n/2$, т. е. совпадает с кодовым расстоянием в (3.12a). Распределение $A_p^{(d_p = n/2)}$ в этом случае является суммой результатов, подсчитанных по (3.12a) и (3.12b).

Например, для $n = 16$:
по формуле (3.12a)

$$d_p = n/2 = 8, \quad k = 7, \quad A_p^{(8)} = C_8^1 + C_8^3 + C_8^5 + C_8^7 = 128;$$

по формуле (3.12b)

$$i = 1, \quad d_p = 4, \quad A_p^{(4)} = C_8^2 = 28;$$

$$i = 2, \quad d_p = 8, \quad A_p^{(8)} = C_8^4 = 70;$$

$$i = 3, \quad d_p = 12, \quad A_p^{(12)} = C_8^6 = 28;$$

$$i = 4, \quad d_p = 16, \quad A_p^{(16)} = C_8^8 = 1.$$

Для $i = 2 = n/8$ $d_p = n/2 = 8$. Суммарное распределение $A_p^{(8)} = 128 + 70 = 198$. В табл. 3.9 составляющие $A_p^{(d_p = n/2)}$, полученные по формуле (3.12b), помечены звездочкой.

В табл. 3.9 приведены распределения кодовых комбинаций по кодовым расстояниям $A_p^{(d)}$ и значения d_{min} для кода с повторением и инверсией при разных значениях n , подсчитанные по выражениям (3.12a) и (3.12b).

Код с повторением и инверсией при том же коэффициенте избыточности $K_{из} = 0,5$, что и код с простым повторением, обеспечивает зна-

Таблица 3.9. Распределение $A_P^{(d)}$ по кодовым расстояниям d для кода с повторением и инверсией

n	d_{min}	d											N_P
		2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	
4	2	2	-	1*	-	-	-	-	-	-	-	-	4
6	3	-	4	3*	-	-	-	-	-	-	-	-	8
8	4	-	-	14	-	-	-	1*	-	-	-	-	16
				(8 + 6*)									
10	4	-	-	10*	16	-	-	5*	-	-	-	-	32
12	4	-	-	15*	-	32	-	15*	-	1*	-	-	64
14	4	-	-	21*	-	-	64	35*	-	7*	-	-	128
16	4	-	-	28*	-	-	-	198	-	28*	-	1*	256
								(128 + + 70*)					

Таблица 3.10. Коэффициенты ложных переходов $K_{л}^{(d)}$, %, кратности d для кода с повторением и инверсией

n	d											N_P
	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	
4	33,3	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	4
6	-	20	20	-	-	-	-	-	-	-	-	8
8	-	-	20	-	-	-	100	-	-	-	-	16
10	-	-	4,76	6,35	-	-	11,1	-	-	-	-	32
12	-	-	3,03	-	3,46	-	3,03	-	100	-	-	64
14	-	-	2,1	-	-	1,86	1,16	-	7,69	-	-	128
16	-	-	1,54	-	-	-	1,54	-	1,54	-	100	256

чительно более высокую помехозащищенность. В этом нетрудно убедиться, сравнив коэффициенты ложных переходов (3.11) обоих кодов в табл. 3.10 и 3.8.

Так, при $n = 6$ код с повторением и инверсией "боится" только трехкратных и четырехкратных ошибок, причем только 20% из них могут привести к ложным сообщениям, в то время как код с повторением "пропускает" 20% двукратных ошибок, 20% четырехкратных ошибок и все 100% шестикратных ошибок. При $n \geq 8$ коды с повторением и инверсией имеют согласно табл. 3.9 $d_{min} = 4$, низшая кратность обнаруживаемых ошибок составляет $r \leq 3$, в то время как все коды с простым повторением имеют $d_{min} = 2$, т. е. $r = 1$.

Интересно отметить, что при $n = 8$ коду с повторением и инверсией "страшны" лишь четырехкратные и восьмикратные ошибки, из которых он не обнаруживает 20% и 100% соответственно. При $n = 16$ код

не обеспечивает обнаружение ошибок, кратных 4: по 1,54% 4-, 8-, 12-кратных и 100% 16-кратных ошибок.

Начиная с $n \geq 8$ код с повторением и инверсией может использоваться не только для обнаружения, но и для исправления всех однократных ошибок.

Двоичный код с двойными коррелированными символами (корреляционный код)

Каждый разряд двоичного кода записывается в виде двух символов: если в разряде двоичного кода стоит 0, то в корреляционном коде этот разряд записывается символами 01, если 1 — символами 10 (табл. 3.7). В зарубежной литературе такая двоичная запись именуется Манчестер-код. Приемное устройство на каждом такте, состоящем из двух соседних элементов кода, должно зафиксировать переход $1 \rightarrow 0$ или $0 \rightarrow 1$.

Для симметричного канала без памяти характеристики Манчестер-кода совпадают с характеристиками двоичного кода с простым повторением: $d_{min} = 2$, $K_{из} = 0,5$, $A_p^{(d)}$ определяется выражением $(3 \cdot 10)$. Однако для несимметричных каналов, у которых вероятности переходов $0 \rightarrow 1$ и $1 \rightarrow 0$ различны, а также для каналов с памятью, имеющих различные вероятности искажения соседних элементов по сравнению с другими возможными искажениями, корреляционный код оказывается более помехозащищенным.

Дополнительными преимуществами кода являются:

возможность самосинхронизации генератора приемника (так как прием каждого бита сопровождается фронтом принимаемого сигнала в центре бита);

отсутствие постоянной составляющей в напряжении кодированного сигнала.

Код с постоянным числом единиц (код на одно сочетание)

Числовой двоичный код, имеющий 2^n комбинаций, можно представить в виде суммы сочетаний:

$$2^n = \sum_{m=0}^{m=n} C_n^m.$$

В этом смысле числовой двоичный код является кодом на все сочетания.

Код на одно сочетание содержит во всех кодовых комбинациях постоянное число единиц. Он образуется из двоичного кода отбором комбинаций, имеющих одинаковое число единиц m . Емкость этого

кода определяется в соответствии с законом сочетаний:

$$N_p = C_n^m = \frac{n(n-1)(n-2)\dots(n-m+1)}{m!}.$$

Приемное устройство, подсчитывая число единиц в принятой комбинации, обнаруживает ошибки, если это число окажется отличным от m .

Коэффициент избыточности

$$K_{из} = 1 - \frac{\log C_m^n}{n}.$$

Минимальное кодовое расстояние $d_{min} = 2$. Распределение рабочих кодов по кодовым расстояниям (код является симметричным) выражается следующей формулой:

$$A_p^{(d)} = C_m^{\frac{d}{2}} C_{n-m}^{\frac{d}{2}}, \quad (3.13)$$

где $d_p = 2, 4, \dots, 2m$.

Коэффициент ложных переходов

$$K_{л}^{(d)} = \frac{C_m^{\frac{d}{2}} C_{n-m}^{\frac{d}{2}}}{C_n^d}.$$

Код на одно сочетание обнаруживает все ошибки нечетной кратности, а также все ошибки четной кратности, приводящие к нарушению условия $m = \text{const}$. Код $C_5^2 = 10$ часто используется для записи помехоустойчивого двоично-десятичного кода.

По сравнению с двоичным кодом с повторением код на одно сочетание, обладая меньшей избыточностью, позволяет обнаруживать ошибки той же кратности, однако "пропускает" больший процент ложных сообщений.

Таблица 3.11. Характеристики кода с постоянным числом единиц C_{10}^5

d_p	2	4	6	8	10
A_p^d	25	100	100	25	1
$K_{л}^{(d)}\%$	45	47,6	47,6	45	100

В табл. 3.11 приведены характеристики кода $C_{10}^5 = 252$, который по числу рабочих комбинаций примерно соответствует 16-разрядному коду с повторением ($n = 8 + 8$).

3.5. СМЕННО-КАЧЕСТВЕННЫЕ КОДЫ

Сменно-качественные (СК) коды — это коды, в которых имеет место обязательная смена символов в соседних разрядах, т. е. кодовые комбинации этих кодов не содержат одинаковых символов в соседних разрядах. Благодаря такой структуре каждый последующий элемент кодированного сигнала отделяется от предыдущего, что используется для синхронного переключения приемного устройства (так называемая потактовая синхронизация).

Сменно-качественный код с основанием $m \geq 3$. Этот код был предложен Б. К. Шукиным и использован в целом ряде систем телеуправления [20]. Основной структуры кода Шукина являются соединения из n элементов с m символами (качествами), на которые наложено одно ограничение — рядом размещенные символы не могут быть одинаковыми. Например, если используются символы 0, 1, 2 ($m = 3$), то разрешенными комбинациями будут 012, 010, 210, 202 и т. д. Комбинации 001, 011, 220, 122 и др. являются запрещенными. Полное число комбинаций СК кода определяется формулой

$$N_p = m(m-1)^{n-1}. \quad (3.14)$$

Из этой формулы, в частности, следует, что число символов кода должно быть более двух ($m \geq 3$). Действительно, при $m = 2$ $N_p = 2$ независимо от числа разрядов n . Следовательно, СК код Шукина является недвоичным кодом и для его реализации необходимы сигналы с числом импульсных признаков не менее трех.

Сменно-качественный код обладает определенной избыточностью, поскольку из общего возможного числа комбинаций $N = m^n$ используется лишь часть, определяемая выражением (3.14). Коэффициент избыточности подсчитывается по выражению

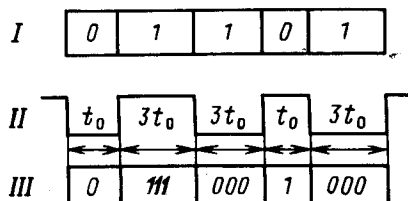
$$K_{из} = 1 - \frac{\log_m N_p}{n}.$$

Сменно-качественный код является несимметричным. Распределение кодовых векторов по кодовым расстояниям зависит от конкретных параметров кода [6].

Двоичный сменно-качественный код с k -кратным повторением символов (двоичный код с использованием дискретной широтно-импульсной модуляции — ДШИМ). Двоичный код со сменой символов в соседних разрядах строится на базе использования широтно-импульсной

Рис. 3.2. Двоичный сменно-качественный код (ДСК) с k -кратным повторением символов ($k=3$):

I — двоичный код; II — сигнал ДСК; III — двоичный сменно-качественный код



модуляции: 0 кода передается сигналом длительности t , 1 — длительности kt , где k — целое число ($k \geq 2$, в общем случае k может быть и не целым числом).

Кодовые комбинации ДШИМ образуются из двоичного кода следующим образом:

все разряды двоичного кода разделяются на нечетные и четные. Число разрядов двоичного кода и ДШИМ одинаково;

все нечетные разряды ДШИМ записываются в виде нулей, все четные — в виде единиц (или наоборот);

разряды двоичного кода, содержащие единицы, записываются в виде k -кратно повторяемых нулей в нечетных разрядах и k -кратно повторяемых единиц в четных разрядах ДШИМ.

Например, при $n = 5$ и $k = 3$ для некоторой комбинации двоичного кода получим: 01101 = 01110001000.

Изображение кодированного сигнала для этой комбинации ДШИМ представлено на рис. 3.2.

Все кодовые комбинации ДШИМ начинаются с одного и того же элементарного сигнала (0 или 1) и содержат постоянное число переходов $0 \rightarrow 1$.

При этом все соседние разряды имеют разноименные символы. Длина кодовых комбинаций ДШИМ зависит от числа единиц в исходном двоичном коде и значения k . С увеличением k растет помехозащищенность кода, однако увеличивается и длительность кодовых слов.

По существу рассматриваемый код ДШИМ является простым двоичным кодом, в котором для передачи информационных единиц используется дополнительное качество — длительность посылки элементарного сигнала: единица передается удлиненной посылкой kt_0 , которая может состоять из последовательности либо физических единиц, либо нулей. Представление длительности посылки в виде k повторяемых бит позволяет свести анализ помехоустойчивости ДШИМ к анализу помехоустойчивости двухзнаковых (бинарных) кодов.

Непостоянство длительности кодовых слов затрудняет анализ помехоустойчивости кода. Однако, полагая, что необнаруживаемые переходы между кодовыми словами разной длительности отсутствуют, в [6] удалось получить выражение для расчета коэффициентов ложных переходов ДШИМ. Учитывая, что любая помеха, приводящая к нарушению числа элементарных сигналов в кодовой комбинации,

обнаруживается, нетрудно установить, что для ДШИМ справедливо равенство $d_{min} = k - 1$, т. е. для того чтобы код обнаруживал все однократные ошибки, необходимо иметь $k = 3$. Увеличение d_{min} может быть достигнуто введением дополнительного разряда контроля по четности (паритету). Особенностью ДШИМ является то, что проверка на четность должна производиться лишь по четным (или нечетным) разрядам ДШИМ. Лишь при этом d_{min} повышается на 1. Проверка же на четность всех разрядов ДШИМ может привести к снижению его помехозащищенности.

Применение ДШИМ позволяет использовать простейшие методы синхронизации — потактовую синхронизацию с одним задающим генератором импульсов на стороне передатчика. Реализуются ДШИМ с помощью простейших кодирующих и декодирующих устройств обычного двоичного кода с добавлением формирователя и селектора удлиненных (k -кратно повторяемых) элементов сигнала.

В зарубежной литературе аналогом ДШИМ являются коды на основе дискретной широтно-импульсной модуляции (см. рис. 2.18, в).

3.6. КОДЫ С ОБНАРУЖЕНИЕМ И ИСПРАВЛЕНИЕМ ОШИБОК

Коды с обнаружением r -кратных и исправлением s -кратных ошибок должны обладать минимальным кодовым расстоянием, определяемым условиями (3.3) и (3.4). Увеличение кодового расстояния достигается увеличением числа разрядов кода n при уменьшении числа используемых рабочих комбинаций N_p , т. е. увеличением $K_{из}$.

В табл. 3.12 приведено количество рабочих комбинаций с кодовым расстоянием d в зависимости от числа разрядов в коде n для $d \leq 5$ и $n \leq 10$ [10]. Из таблицы следует, что с увеличением d резко снижается число используемых (рабочих) комбинаций, так, при $d = 5$ (при этом код способен обнаруживать и исправлять двукратные ошибки) и $n = 10$ число рабочих комбинаций $N_p = 16$ из $2^{10} = 1024$ возможных комбинаций двоичного безызбыточного кода.

Предельное число рабочих комбинаций, удовлетворяющих условию исправления всех ошибок кратности до s включительно, согласно Хэммингу составляет

$$N_p = \frac{2^n}{\sum_{i=0}^s C_n^i} \quad (3.15)$$

Практически этот теоретический предел достигается далеко не всегда. В частности, данные табл. 3.12 несколько занижают число N_p по сравнению с (3.15). Однако, изменяя исходные комбинации, с которыми

Таблица 3.12. Количество рабочих комбинаций N_p с кодовым расстоянием d и числом разрядов n

Кодовое расстояние d	Число разрядов n									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2	2	4	8	16	32	64	128	256	512	
3	—	2	2	4	8	16	16	32	64	
4	—	—	2	2	4	8	16	16	32	
5	—	—	—	2	2	2	4	8	16	

производится сравнение всех остальных, можно получить данные, более близкие к (3.15).

Определение рабочих комбинаций, обладающих заданным кодовым расстоянием, из общего числа $N = 2^n$ двоичного безызбыточного кода является основной задачей теории кодирования. Известно множество способов решения этой задачи, которые предлагают различные коды, обнаруживающие и исправляющие ошибки. Применительно к телемеханике наибольшее распространение получили так называемые разделимые групповые систематические коды [16].

Разделимые систематические групповые коды

Все символы разделимых кодов разделяются на информационные символы n_i и контрольные (проверочные) k : $n = n_i + k$.

Значения контрольных символов находятся по определенной системе в результате проведения некоторых линейных алгебраических операций над информационными символами. Поэтому такие коды получили название разделимых систематических кодов или просто систематических.

Все двоичные систематические коды являются групповыми кодами, поскольку они удовлетворяют условию существования алгебраической конечной группы относительно операции сложения по модулю 2.

Сокращенное обозначение группового кода $G(n, n_i)$, где n — общее число разрядов кода; n_i — число информационных разрядов.

Набор рабочих кодовых слов определяется числом информационных разрядов:

$$N_p = 2^{n_i}$$

Число проверочных символов в кодовом слове и способ их формирования определяются тем, какие и сколько ошибок должен исправлять или обнаруживать данный код.

Значения проверочных символов для каждой рабочей комбинации

определяются однозначно по информационным символам. Правила нахождения контрольных символов по информационным, обеспечивающие заданное минимальное кодовое расстояние, и определяют разнообразие разделимых групповых кодов.

Для определения всех N_p комбинаций группового линейного кода достаточно определить контрольные символы только для единичных векторов информационной части кода, число которых равно n_i . Совокупность информационных и контрольных символов для единичных информационных векторов, записанная в виде матрицы, образует так называемую образующую матрицу, содержащую n_i строк и $(n_i + k)$ столбцов:

$$G_{n, n_i} = \left[\begin{array}{c|c} \overbrace{\begin{matrix} 0 & 0 & \dots & 1 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 0 & \dots & 0 \end{matrix}}^{n_i} & \overbrace{\begin{matrix} x & x & \dots & x \\ x & x & \dots & x \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x & x & \dots & x \end{matrix}}^k \end{array} \right] n_i = \\ = |I_{n_i}, G'_{k, n_i}|.$$

Величины x в подматрице G'_{k, n_i} принимают значения 1 или 0 в зависимости от правил формирования кода. Подматрица G'_{k, n_i} называется дополняющей образующей подматрицей. Поскольку единичная подматрица I_{n_i} всегда детерминирована, все многообразие кодовых комбинаций кода $G(n, n_i)$ определяет подматрица G'_{k, n_i} .

По образующей матрице определяются все рабочие комбинации искомого кода. Для этого необходимо произвести сложение по модулю 2 строк образующей матрицы во всех сочетаниях.

Ниже рассматриваются два класса разделимых групповых кодов, получивших преимущественное распространение в телемеханике.

3.7. КОДЫ ХЭММИНГА

Коды Хэмминга предназначены для исправления и обнаружения всех однократных ошибок (при $d = 3$), исправления однократных ошибок и обнаружения двукратных (при $d = 4$) и т. д. Все n разрядов кода подразделяются на информационные и контрольные (проверочные): $n = n_i + k$. Число рабочих комбинаций $N_p = 2^{n_i}$. Число контрольных разрядов находится из выражения

$$2^k - 1 \geq n_i + k. \quad (3.16)$$

В табл. 3.13 приведены значения n и n_i для различных k , удовлетворяющих выражению (3.16).

Таблица 3.13. Числа контрольных k и информационных $n_{\text{и}}$ разрядов в n -разрядном коде Хэмминга ($d = 3$)

k	3	4	5	6	7	8
n	7	15	31	63	127	255
$n_{\text{и}}$	4	11	26	57	120	247

Контрольные символы осуществляют дополнение до четности (либо нечетности) числа единиц в определенной группе символов в кодовой комбинации. Значения контрольных символов однозначно определяются значениями информационных символов в контролируемой группе (в соответствии с так называемыми проверочными уравнениями).

Число контрольных символов, равное числу проверок на четность определенных групп символов, должно быть таким, чтобы в результате проверок могла быть сформирована кодовая комбинация, однозначно указывающая на номера искаженных символов в принятой последовательности n символов (включая и контрольные символы).

Контрольные символы в принципе могут располагаться в любых местах n -разрядного кода: после информационных символов, либо до них, либо вперемежку с ними. Однако для большего удобства проверки принятого кода контрольные символы располагаются в разрядах, кратных степени двойки, т. е. под контрольные символы отводятся 1-й, 2-й, 4-й, 8-й и т. д. разряды. Остальные разряды заполняются информационными символами.

Так, например, для кода Хэмминга $G(12,8)$ информационные символы располагаются в 12, 11, 10, 9, 7, 6, 5-м и 3-м разрядах. Каждый контрольный символ осуществляет дополнение до четности (либо нечетности) числа единиц в контролируемой группе символов. Разделение символов на k контрольных производится следующим образом. Номера разрядов n -разрядного кода записываются в виде двоичных чисел. Например, для кода $G(12,8)$ ($n=12$, $n_{\text{и}}=8$, $k=4$) имеем

Номер разряда	Двоичное число	Номер разряда	Двоичное число
1	0001	7	0111
2	0010	8	1000
3	0011	9	1001
4	0100	10	1010
5	0101	11	1011
6	0110	12	1100

В первую контрольную группу входят те разряды, двоичный номер которых содержит 1 в первом разряде, т. е. 1, 3, 5, 7, 9, 11.

Во вторую контрольную группу входят разряды, двоичный номер

которых содержит 1 во втором разряде: 2, 3, 6, 7, 10, 11 и т. д. Число 1 в контрольных группах должно быть четным. Отсюда значения контрольных разрядов x_i , $i = 1, 2, 4, 8$, находятся из следующих проверочных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= x_3 + x_5 + x_7 + x_9 + x_{11}; \\ x_2 &= x_3 + x_6 + x_7 + x_{10} + x_{11}; \\ x_4 &= x_5 + x_6 + x_7 + x_{12}; \\ x_8 &= x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12}. \end{aligned} \right\} \quad (3.17)$$

Ниже приведена образующая матрица кода Хэмминга $G(12,8)$. Информационные символы образуют единичную подматрицу I_8 , контрольные, определенные в соответствии с проверочными уравнениями (3.17), образующую подматрицу $G'(4,8)$:

$n_k = 8$								$k = 4$				p
x_{12}	x_{11}	x_{10}	x_9	x_7	x_6	x_5	x_3	x_8	x_4	x_2	x_1	x_0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1
0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1
0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1
0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0
0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1
0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0
1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1

← I_8
← $G'(4,8)$
→

(3.18)

При кодировании принятых кодовых комбинаций осуществляется проверка четности единиц в контрольных группах, сформированных передающим устройством. В результате этих проверок декодер формирует двоичное число, однозначно указывающее на номер разряда, в котором произошла ошибка. Это число называют **опознавателем ошибок**. Поскольку код Хэмминга при $d = 3$ способен исправлять только однократные ошибки, опознавателем может служить двоичное число, обозначающее номер разряда кодовой комбинации. Число разрядов опознавателя при этом совпадает с числом контрольных разрядов k . Формируется опознаватель следующим образом: если в проверяемой контрольной группе четность сохранилась, то в соответ-

ствующий разряд опознавателя записывается 0, если не сохранилась, — 1. Образованное в результате k проверок двоичное число укажет номер искаженного разряда, который при декодировании должен быть заменен на инверсный. В этом состоит исправляющая способность кода.

Для примера положим, что при посылке кодовой комбинации, соответствующей 4-й строчке кода G (12,8), в информационном символе x_5 произошла ошибка: вместо 0 была принята 1. Тогда проверка декодером первой контрольной группы (разряды 1, 3, 5, 7, 9, 11) зафиксирует 1, второй контрольной группы — 0, третьей — 1, четвертой — 0.

Таким образом, будет сформирован опознаватель 0101 — двоичное число 5, указывающее на необходимость инверсии x_5 . Тем самым исправляется однократная ошибка.

Двукратные ошибки в коде Хэмминга при $d = 3$ могут только обнаруживаться, но не исправляться. Для обнаружения ошибок достаточно, чтобы опознаватель отличался от нуля, что указывает на наличие однократной или двукратной ошибки. Однако такой опознаватель не будет опознавать номеров разрядов, в которых произошли ошибки, т. е. код не может исправлять однократные и двукратные ошибки.

Расширенный код Хэмминга ($d = 4$) обеспечивает исправление всех однократных и обнаружение всех двукратных ошибок ($r = 2, s = 1$). Он образуется добавлением проверки четности единиц во всех разрядах кода (дополнительный проверочный разряд x_0 в образующей матрице). Тем самым достигается увеличение кодового расстояния до 4.

Декодирование расширенного кода Хэмминга. Возможны следующие ситуации при приеме кодовой комбинации:

1) все контрольные группы фиксируют 0 — при этом приемник фиксирует отсутствие ошибок и дает разрешение на воспроизведение принятой кодовой комбинации;

2) общая проверка на четность фиксирует 1, в остальных контрольных группах формируется опознаватель искажения, не равный 0, — приемник фиксирует однократную ошибку, которую следует исправить по сформированному опознавателю;

3) общая проверка на четность фиксирует 0, в остальных контрольных группах набирается опознаватель, не равный 0, — приемник фиксирует двукратную ошибку, которую следует не исправлять, а лишь констатировать ее наличие при приеме.

Исправление ошибок кратности $s \geq 2$

Для кодов, исправляющих двукратные ошибки и ошибки большей кратности, построение опознавателей более сложно, так как вид опознавателя должен однозначно указывать на одновременные ошибки в s разрядах в различных сочетаниях C_n^s . Поэтому опознаватели

Таблица 3.14. Опознаватели однократных ошибок для кодов, исправляющих однократные и двукратные ошибки

Номер разряда кода	Опознаватель	Номер разряда кода	Опознаватель
1	00000001	9	01000000
2	00000010	10	01010101
3	00000100	11	01101010
4	00001000	12	10000000
5	00001111	13	10010110
6	00010000	14	10110101
7	00100000	15	11011011
8	00110011		

для исправления $s \geq 2$ ошибок берутся из специальных таблиц, полученных с помощью вычислительных машин. В частности, в [19] приведены таблицы опознавателей для $s = 2$ и 3 вплоть до 29-го разряда. В табл. 3.14 приведены опознаватели однократных ошибок для кодов, исправляющих все двукратные ошибки ($s = 2$) вплоть до 15-го разряда. Опознаватели двукратных ошибок, например в i -м и j -м разрядах, могут быть получены из этой таблицы путем суммирования по модулю 2 опознавателей однократных ошибок в i -м и j -м разрядах. Так, например, опознавателем двукратной ошибки во 2-м и 5-м разрядах будет вектор 00001101.

Составление проверочных уравнений по опознавателям. Число разрядов опознавателя равно числу проверок на четность, т. е. числу контрольных символов k . Согласно табл. 3.14 15-разрядный код, исправляющий все двукратные ошибки ($s = 2$), должен иметь $k = 8$ контрольных разрядов. Следовательно, число информационных разрядов $n_i = 7$. Номера контрольных разрядов определяются по таблице опознавателей: они соответствуют тем разрядам, опознаватели которых имеют по одной 1. Из табл. 3.14 находим, что контрольные символы располагаются в 1, 2, 3, 4, 6, 7, 9-м и 12-м разрядах. Из нее же следует, что появление 1 в первом разряде опознавателя может явиться результатом ошибок в 1, 5, 8, 10, 14-м и 15-м разрядах. Появление 1 во втором разряде опознавателя может явиться следствием ошибок во 2, 5, 8, 11, 13-м и 15-м разрядах и т. д. Отсюда проверочные уравнения для кода $G(15,7)$ будут следующие:

$$\begin{aligned}
 x_1 &= x_5 + x_8 + x_{10} + x_{14} + x_{15}; \\
 x_2 &= x_5 + x_8 + x_{11} + x_{13} + x_{15}; \\
 x_3 &= x_5 + x_{10} + x_{13} + x_{14}; \\
 x_4 &= x_5 + x_{11} + x_{15};
 \end{aligned}
 \tag{3.19}$$

$$x_6 = x_8 + x_{10} + x_{13} + x_{14} + x_{15};$$

$$x_7 = x_8 + x_{11} + x_{14};$$

$$x_9 = x_{10} + x_{11} + x_{15};$$

$$x_{12} = x_{13} + x_{14} + x_{15}.$$

Зная закон определения проверочных символов, нетрудно записать любую из $2^7 = 128$ комбинаций кода $G(15,7)$ путем записи номера комбинации двоичным числовым кодом, разряды которого размещаются в 5, 8, 10, 11, 13, 14-м и 15-м разрядах, а в остальных разрядах размещаются проверочные символы в соответствии с уравнениями (3.19).

3.8. ЦИКЛИЧЕСКИЕ КОДЫ

Циклические коды относятся к классу групповых линейных разделимых систематических кодов. Образующая матрица циклического кода может быть приведена к виду, когда все строки матрицы связаны условием цикличности, т. е. строки матрицы могут быть получены друг из друга простым циклическим сдвигом. (Например, взяв за исходную комбинацию последовательность 1001, получим циклическим сдвигом следующие комбинации: 1001; 0011; 0110; 1100.)

Циклические коды позволяют обнаруживать и исправлять ошибки, в том числе и пакеты ошибок. Их применение обусловлено простотой схемной реализации и эффективностью обнаружения и исправления пакетов ошибок.

Запись циклического кода наиболее удобна в виде полинома переменной x :

$$F(x) = a_{n-1}x^{n-1} + a_{n-2}x^{n-2} + \dots + a_1x + a_0,$$

где n — число разрядов кода; a — разрядные коэффициенты, принимающие значения 1 или 0 в зависимости от наличия или отсутствия соответствующего разряда в кодовой комбинации. Например, двоичная последовательность 1011 в алгебраической форме записывается в следующем виде: $F(x) = x^3 + x + 1$.

Циклический код характеризуется так называемым образующим (порождающим) полиномом $P(x)$. Степень этого полинома $k = n - n_c$, где k — число проверочных символов в кодовых комбинациях. Вид образующего полинома и его степень определяют корректирующую способность циклического кода.

В качестве образующих полиномов $P(x)$ используются так называемые неприводимые многочлены, т. е. такие многочлены, которые делятся без остатка только на себя или на единицу (эти многочлены

нельзя разделить на сомножители). В (3.20) указаны все неприводимые многочлены до пятой степени включительно:

$$\begin{aligned}
 P(x^1) &= x + 1; \\
 P(x^2) &= x^2 + x + 1; \\
 P(x^3) &= x^3 + x + 1; \\
 P(x^3) &= x^3 + x^2 + 1; \\
 P(x^4) &= x^4 + x + 1; \\
 P(x^4) &= x^4 + x^3 + x^2 + x + 1; \\
 P(x^5) &= x^5 + x^2 + 1; \\
 P(x^5) &= x^5 + x^3 + 1; \\
 P(x^5) &= x^5 + x^3 + x^2 + x + 1; \\
 P(x^5) &= x^5 + x^4 + x^3 + x + 1; \\
 P(x^5) &= x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1.
 \end{aligned}
 \tag{3.20}$$

Неприводимые многочлены более высоких степеней можно найти в специальной литературе, например в [16].

Отличительным качеством циклического кода является делимость без остатка всех его комбинаций на образующий полином $P(x)$. При делении искаженной кодовой комбинации на образующий полином $P(x)$ обязательно появляется остаток.

Это свойство циклического кода используется для исправления или обнаружения ошибок. Действительно, если под воздействием помех кодовая комбинация трансформируется в запрещенную, то ошибка может быть обнаружена по остатку при делении этой комбинации на образующий полином $P(x)$. По виду остатка может быть произведена коррективная ошибка.

Образование циклического кода

1 - й способ. Циклический код образуется путем умножения кодовой комбинации $Q(x)$ простого безызбыточного кода, имеющего число разрядов n , на образующий полином:

$$F(x) = Q(x)P(x).$$

В результате умножения всех кодовых комбинаций простого n -разрядного кода на образующий полином $P(x)$ можно получить все 2^n рабочие комбинации циклического кода. Однако при таком спо-

собе образования информационные и контрольные символы в комбинациях циклического кода не разделены друг от друга, что затрудняет процесс декодирования. Поэтому применяют другой способ построения циклического кода.

2 - й способ. Каждая кодовая комбинация безызбыточного n_i -элементного кода умножается на одночлены x^k , а затем делится на образующий полином $P(x)$, степень которого равна k . При делении произведения $Q(x)x^k$ на $P(x)$ получится частное $C(x)$ той же степени, что и $Q(x)$, т. е. степени $(n_i - 1)$, поскольку $P(x)$ имеет степень k . Кроме того, если полином $Q(x)x^k$ не делится нацело на $P(x)$, то появляется остаток $R(x)$:

$$\frac{Q(x)x^k}{P(x)} = C(x) \oplus \frac{R(x)}{P(x)}. \quad (3.21)$$

Полином $C(x)$ имеет ту же степень, что и $Q(x)$, и, следовательно, также является кодовой комбинацией исходного безызбыточного кода. Следует заметить, что степень остатка не может быть больше степени образующего полинома, т. е. его наивысшая степень может быть равна $(k - 1)$. Следовательно, наибольшее число разрядов остатка $R(x)$ не превышает числа k .

Умножая обе части равенства (3.21) на $P(x)$ и группируя его члены, получаем выражение для циклического кода

$$F(x) = C(x)P(x) = Q(x)x^k \oplus R(x).$$

Из полученного равенства следует, что кодовую комбинацию циклического n_i -элементного кода можно получить путем умножения кодовой комбинации $Q(x)$ простого безызбыточного кода на одночлен x^k и добавления к произведению остатка $R(x)$, полученного в результате деления $Q(x)x^k$ на образующий полином $P(x)$.

При построении циклических кодов по этому способу расположение информационных символов во всех комбинациях строго упорядоченно — они занимают n_i старших разрядов комбинации, а остальные разряды отводятся под контрольные.

Пример 3.1. Дано: $n_i = 10$, образующий полином 4-й степени $P(x) = x^4 + x + 1$. Следовательно, кодовые комбинации циклического кода будут иметь по 14 разрядов. Требуется записать произвольную кодовую комбинацию циклического кода (14, 10).

Возьмем произвольную 10-разрядную комбинацию

$$Q(x) = x^9 + x^5 + x^4 + x^3 + 1.$$

Найдем произведение $Q(x)x^4 = x^{13} + x^9 + x^8 + x^7 + x^4$.

Произведем деление:

$$\frac{Q(x)x^k}{P(x)} = x^9 + x^6 + x^4 + x^2 + x + \frac{x^3 + x}{P(x)}.$$

Следовательно, остаток равен $R(x) = x^3 + x$.

Таким образом, в соответствии со сформулированным выше правилом найдем комбинацию, принадлежащую циклическому коду (14, 10):

$$F(x) = Q(x)x^k \oplus R(x) = x^{13} + x^9 + x^8 + x^7 + x^4 + x^3 + x,$$

или в двоичной форме

$$F(1,0) = \underbrace{1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 1}_{n_{\text{и}}} \underbrace{1\ 0\ 1\ 0}_{k}.$$

Операция образования циклического кода может непосредственно производиться при записи исходных кодовых комбинаций в виде двоичных чисел.

Пример 3.2. Дано: $n_{\text{и}} = 4$, образующий полином $P(1,0) = 1101$. Следовательно, кодовые комбинации циклического кода будут иметь семь разрядов ($n_{\text{и}} = 4$, $k = 3$).

Возьмем произвольное 4-разрядное двоичное число $Q(1,0) = 0001$.

Найдем произведение $Q(1,0) \cdot 1000 = 0001000$.

Произведем деление:

$$\frac{Q(1,0) \cdot 1000}{P(1,0)} = \frac{0001000}{1101}.$$

В результате деления получится остаток $R(1,0) = 101$. Следовательно, комбинация циклического кода (7,4) запишется следующим образом:

$$F(1,0) = 0001000 + 101 = \underbrace{0001}_{n_{\text{и}}} \underbrace{101}_{k}$$

Образующая матрица циклического кода

Для формирования строк образующей матрицы по описанному выше способу построения циклического кода берут не произвольные комбинации безызбыточного кода $Q(x)$, а лишь те из них, которые содержат единицу в одном разряде $Q_i(x)$, где $i = 1 \div n_{\text{и}}$.

Именно эти комбинации умножаются на x^k , и находится остаток от деления $\frac{Q_i(x)x^k}{P(x)}$, равный $R_i(x)$. Соответствующая строка матрицы записывается в виде

$$Q_i(x)x^k + R_i(x).$$

При этом вся матрица разбивается на две подматрицы:

$$G_{n, n_{\text{и}}} = | I_{n_{\text{и}}}, G'_{k, n_{\text{и}}} |,$$

где $I_{n_{\text{и}}}$ — единичная подматрица с числом столбцов и строк $n_{\text{и}}$;

$G'_{k, n_{\text{и}}}$ — подматрица с числом столбцов k и строк $n_{\text{и}}$, образованная остатками от деления $R_i(x)$.

Пример 3.3. Дано: $P(x) = x^3 + x^2 + 1$ [$P(1,0) = 1101$]; $n = 7$, $n_{\text{и}} = 4$. Необходимо построить образующую матрицу. Поскольку $n_{\text{и}} = 4$, возьмем единичные векторы $Q_i(x)$: $Q_1 = 0001$, $Q_2 = 0010$, $Q_3 = 0100$, $Q_4 = 1000$.

Произведем необходимые операции с вектором $Q_i(x)$:

$$\frac{Q_i(x)x^k}{P(x)} \rightarrow \frac{0001 \cdot 1000}{1101}$$

Произведя деление, найдем остаток $R_1(x) \rightarrow 101$. Следовательно, первая строка матрицы будет 0001101. Произведя аналогичные операции с Q_2 , Q_3 и Q_4 , получим

$$R_2(x) \rightarrow 111, \quad R_3(x) \rightarrow 011, \quad R_4(x) \rightarrow 110.$$

Окончательно получим следующую образующую матрицу:

$$G_{7,4} = \begin{pmatrix} 0001 & 101 \\ 0010 & 111 \\ 0100 & 011 \\ 1000 & 110 \end{pmatrix}$$

Путем суммирования по модулю 2 строк этой матрицы в любых сочетаниях друг с другом можно получить все рабочие комбинации циклического кода (7,4).

Другой способ формирования образующей матрицы $G_{n, n_{\text{и}}}$ циклического кода состоит в умножении образующего полинома $P(x)$ на одночлен $x^{n_{\text{и}}-1}$ и последующем циклическом сдвиге кодовых комбинаций:

$$G_{n, n_{\text{и}}} = \begin{pmatrix} P(x) \cdot x^0 \\ P(x) \cdot x^1 \\ \dots \\ P(x) \cdot x^{n_{\text{и}}-1} \end{pmatrix}$$

Пример 3.4. Для данных предыдущего примера образующая матрица, построенная по 1-му способу, имеет следующий вид:

$$G_{7,4} = \begin{pmatrix} 1101 \times 0001 \\ 1101 \times 0010 \\ 1101 \times 0100 \\ 1101 \times 1000 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0001101 \\ 0011010 \\ 0110100 \\ 1101000 \end{pmatrix}$$

Получающиеся при этом кодовые комбинации обладают свойством цикличности, однако информационные и проверочные символы в них не разделены. Поэтому для формирования образующей матрицы обычно применяют первый способ.

О выборе образующего полинома для циклических кодов

Высшая степень образующего полинома k определяет число проверочных символов в коде. Как правило, чем выше k , тем большими корректирующими возможностями обладает код.

Рассмотрим некоторое кодовое слово $Q'(x)$, искаженное ошибкой $E(x)$:

$$Q'(x) = Q(x) \oplus E(x),$$

где $Q(x)$ — некоторый многочлен из рабочих кодовых комбинаций; $E(x)$ — полином ошибки, имеющий единицы в тех разрядах, которые искажены помехой.

Проверка правильности приема состоит в проверке делимости $Q'(x)$ на $P(x)$: если остаток от деления равен нулю, то информация считается принятой правильно либо имеет место необнаруживаемая ошибка. Чтобы ошибка обнаруживалась, необходимо, чтобы операция $Q'(x) : P(x)$ давала остаток.

Для удовлетворения этого условия достаточно иметь остаток при делении $E(x)/P(x)$, так как $Q(x)$ делится на $P(x)$ без остатка по определению. Заметим, что образующий полином всегда имеет 1 в качестве нулевого разрядного коэффициента [например, $P(x) = x^3 + x + 1$]. В противном случае этот полином всегда мог бы быть сокращен на некоторый одночлен x^i , который образовывал бы 1 в младшем разряде.

Циклические коды с $d = 2$. Найдем образующий полином, обнаруживающий однократные ошибки. При однократных ошибках полином ошибки записывается следующим образом: $E(x) = x^i$, i указывает номер разряда, в котором имеет место ошибка (например, при $i = 3$ имеем $E(x) \rightarrow 1000$, т. е. ошибка в третьем разряде).

Если взять самый простейший образующий полином $P(x) = x + 1$, то он будет удовлетворять условию обнаружению однократных ошибок, так как в этом случае $x^i/(x + 1)$ всегда имеет остаток.

Следовательно, образующий полином $P(x) = x + 1$ позволяет обнаруживать однократные ошибки. Пример такого кода — код с контролем четности, у которого имеется один проверочный символ.

Циклические коды с $d = 3$. Найдем полиномы $P(x)$, обнаруживающие однократные и двукратные ошибки. Модель ошибки в данном случае будет

$$E(x) = x^i + x^j,$$

где $i < n$ и $j < n$.

Требуется найти такие полиномы $P(x)$ с наименьшей степенью k , при делении на которые полинома $E(x)$ образовался бы остаток.

Определение. Полином $P(x)$ принадлежит некоторой степени m , если m — наименьшее положительное число такое, что $x^m + 1$ делится на $P(x)$ без остатка. Для любого k существует, по крайней мере, один

полином $P(x)$ степени k , принадлежащий показателю

$$m = 2^k - 1.$$

Например $k=3$, $P(x) = x^3 + x^2 + 1$;

$$m = 2^3 - 1 = 7;$$

$$\frac{x^m + 1}{P(x)} = \frac{x^7 + 1}{x^3 + x^2 + 1}; \quad R(x) = 0,$$

т. е. полином $P(x) = x^3 + x^2 + 1$ принадлежит степени $m = 7$.

Теорема. Код, порожденный полиномом $P(x)$, обеспечивает обнаружение однократных и двукратных ошибок, если длина кодового слова n не более показателя m , к которому принадлежит полином $P(x)$.

Доказательство. Дано $E(x) = x^i \oplus x^j$, причем $i \neq j$ и $j \leq n$ и $i < j$.

Тогда

$$E(x) = x^i (1 \oplus x^{j-i}),$$

где $(j-i)$ — положительное число, меньшее n .

Для того чтобы многочлен $E(x)$ не делился на $P(x)$, достаточно, чтобы $(1 \oplus x^{j-i})$ не делился на $P(x)$, так как x^i не делится на любой полином $P(x)$. Так как $P(x)$ принадлежит степени $m \geq n$, то при делении $(1 + x^{j-i})$ на $P(x)$ обязательно образуется остаток, поскольку $(j-i)$ меньше n , т. е. меньше и m . Деление же без остатка по определению осуществляется только при наименьшей степени m .

Таким образом, теорема доказана. Используя эту теорему, можно для любой $n \leq m$ -разрядной последовательности, образующей комбинацию циклического кода, найти полином $P(x)$ степени k , позволяющей обнаруживать однократные и двукратные ошибки:

$$m = 2^k - 1.$$

Нетрудно видеть, что k должно быть не менее 3, так как при $k=2$ $n_n = 1$. При $k=3$ имеем $m = n = 7$, т. е. может быть образован код (7,4). Образующий полином для этого кода $P(x^3) = x^3 + x + 1$ или $P(x^3) = x^3 + x^2 + 1$, см. (3.20). Аналогично для $k=4$ $n \leq 15$, $n_n \leq 11$; для $k=5$ $n \leq 31$, $n_n \leq 26$ и т. д.

Выпишем образующие полиномы, позволяющие образовывать циклические коды с $d = 3$, т. е. обнаруживающие все однократные и двукратные ошибки, либо исправляющие однократные ошибки (табл. 3.15).

Циклические коды с $d = 4$. Эти коды могут обнаруживать одиночные, двойные и тройные ошибки или обнаруживать двойные и исправлять одиночные ошибки. Образующий многочлен для такого кода ра-

Таблица 3.15. Образующие полиномы $P(x)$, обеспечивающие $d = 3$ для n -разрядных циклических кодов

k	$n \leq$	$n_{\text{И}}$ (бит)	$n_{\text{И}}$ (байт)	$P(x), d = 3$	
3	7	4	1	$x^3 + x + 1$ и др.	$P(x^3)$, см. (3.20)
4	15	11	2	$x^4 + x + 1$ и др.	$P(x^4)$, то же
5	31	26	4	$x^5 + x^2 + 1$ и др.	$P(x^5)$, то же
6	63	57	8	$x^6 + x + 1$ и др.	$P(x^6)$
7	127	120	15	$x^7 + x^6 + x^3 + 1$ и др.	$P(x^7)$
8	255	247	31	$x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$ и др.	$P(x^8)$

вен многочлену, обеспечивающему $d = 3$, умноженному на двучлен $(x + 1)$:

$$P(x)_{d=4} = P(x)_{d=3} \cdot (x + 1).$$

Число контрольных символов для циклического кода, обеспечивающего $d = 4$, равно $k + 1$ (k берется из табл. 3.15).

3.9. ОБНАРУЖЕНИЕ И ИСПРАВЛЕНИЕ ПАКЕТОВ ОШИБОК

Исследование ошибок при передаче информации по каналам связи показывает, что часто ошибки не независимы, а группируются в пакеты (пачки) ошибок. Paketом ошибок длины b называется последовательность символов, искажения в которых произошли среди b идущих подряд символов, первый и последний из которых обязательно искажены. Любой циклический код, образованный полиномом с высшей степенью k , обнаруживает пакеты ошибок длины b , если $b < k$. В этом утверждении нетрудно убедиться, если рассмотреть любую комбинацию циклического кода

$$F(x) = x^{n-1} + \dots + \underbrace{x^j + \dots + x^i}_b + \dots + x + 1$$

с образующим полиномом с высшей степенью k , где $j > i$ — степени старшего и младшего разрядов пакета ошибок длины b . Вектор ошибок $E(x) = x^i (1 \oplus x^{j-i})$, содержащий b разрядов при делении на образующий полином $P(x^k)$, обязательно даст остаток, не равный нулю, если $k > b$.

Пакеты ошибок могут не только обнаруживаться, но и исправляться. Наиболее известным циклическим кодом, исправляющим пакеты

Таблица 3.16. Параметры кода Файра

t	$m = 2^t - 1$	$b_s = t$	$c \geq 2b_c - 1$	$b_r = c - b_s + 1$
3	7	3	8	6
4	15	4	7	4
4	15	4	8	5
5	31	5	9	5
5	31	5	10	6

t	$n = \text{НОК}(c, m)$	$k = c + t$	$n_{\text{и}}$	$G(n, n_{\text{и}})$
3	56	11	45	(56,45)
4	105	11	94	(105,94)
4	120	12	108	(120,108)
5	279	14	265	(279,265)
5	310	15	295	(310,295)

ошибок, является двоичный код Файра. Образующий полином этого кода имеет вид

$$P(x) = q(x^t)(x^c + 1), \quad (3.22)$$

где $q(x^t)$ — неприводимый полином степени t^* , принадлежащей степени m , причем c не кратно m . Длина кода n равна наименьшему общему кратному c и m , т. е. $n = \text{НОК}(c, m)$. Число проверочных символов составляет $k = c + t$, а число информационных символов $n_{\text{и}} = n - c - t$. При этом длина b_s исправляемого пакета ошибок удовлетворяет неравенствам

$$c \geq 2b_s - 1, \quad t \geq b_s.$$

Код Файра может быть использован в режиме исправления пакета ошибок длины $b < b_s$ и может обнаруживать пакеты ошибок длины $b_r \geq b_s$. При этом должны выполняться неравенства

$$c \geq b_s + b_r - 1, \quad t \geq b_s.$$

В табл. 3.16 приведены значения параметров кода Файра, способных обнаруживать и исправлять пакеты ошибок длины b_r и b_s соответственно, подсчитанные по приведенным выше выражениям. Из табл. 3.16, в частности, следует, что для того чтобы обнаружить и исправить пакеты ошибок длиной $b_r = b_s = 4$, необходимо иметь

* Неприводимый полином степени t — это полином, который не делится ни на какой полином ненулевой степени, меньшей t .

следующий образующий полином кода Файра вида (3.22) $t = 4, c = 7$:

$$P(x) = (x^4 + x + 1)(x^7 + 1).$$

При этом образуются кодовые комбинации циклического кода (105,94) с 11 контрольными символами ($K_{из} = 11/105 = 0,104$).

Для $b_s = 4$ и $b_r = 5$ необходим образующий полином с параметрами $t = 4$ и $c = 8$, который образует циклический код Файра (120, 108) с $K_{из} = 0,1$.

Следует отметить, что коды Файра, исправляющие и обнаруживающие ошибки, группирующиеся в пачки длиной b_s и b_r , обладают меньшей избыточностью по сравнению с циклическими кодами, исправляющими ошибки той же кратности s и r , рассредоточенные по всей длине кодового слова.

3.10. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОДИРОВАНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОРРЕЛИРОВАННОСТИ СООБЩЕНИЙ

Эффективность кода определяется, в частности, избыточностью, т. е. долей контрольных символов k по отношению к информационным n , при обеспечении заданной помехозащищенности кода. Собственно искусство кодирования и состоит в выборе таких методов, которые обеспечивают при равной помехозащищенности меньшую избыточность кода. Особенно это важно для быстродействующих систем передачи сообщений, где приходится экономить на времени каждого дополнительного контрольного бита.

Одним из методов повышения эффективности кодирования является использование коррелированности сообщений в определенной зоне их значений. К этому методу, в частности, относится метод построения безыбыточных кодов, помехозащищенных в зоне передаваемых сообщений [23].

Этот метод является развитием метода проф. Г. М. Бутаева при передаче медленно меняющихся ТИ, основанного на том, что каждое последующее значение ТИ не должно отличаться от предыдущего более чем на 1 квант. При этом кодирование соседних значений ТИ обеспечивается безыбыточным кодом с заданным кодовым расстоянием $d \geq 2$ [21]. В этом смысле безыбыточный код приобретает свойства помехозащищенного кода.

В телеинформационных системах реального времени последовательные отчеты телеизмерений (ТИ) технологических процессов обычно сильно коррелированы. Это обстоятельство позволяет применить метод семантического контроля при приеме ТИ [22]. Суть его состоит в том, что контролируется правильность приема кодового слова только в определенной зоне (апертуре), которая устанавливается вокруг последнего переданного значения. В соответствии со статическими характеристиками источника сообщений появление соседних отсчетов, отличающих-

Таблица 3.17. Зависимость $m(h)$ и допустимые отклонения

m	1	2	3	3	4	5
h	0	1	2	3	4, ..., 7	8 ... 15
Отклонение, %	0	$\pm 0,4$	$\pm 0,8$	$\pm 1,2$	$\pm 1,6 \dots \pm 2,8$	$\pm 3,2 \dots \pm 6$

ся друг от друга более чем на h квант, мало вероятно и квалифицируется как ошибка при передаче*.

Каждое сообщение порождает свою зону разрешенных значений Y , которые удовлетворяют условию $|Y - x| \leq h$, где x — принятое ранее значение ТИ. Кодовое расстояние $d > 1$, обеспечивающее помехоустойчивое кодирование, должно соблюдаться не для всего множества кодовых слов, а лишь для кодовых слов, входящих в контролируруемую зону.

Пусть формат безыбыточного двоичного кода содержит n разрядов, величина апертуры содержит $2h + 1$ уровней квантования. Исходные кодовые слова в пределах апертуры отличаются лишь m младшими разрядами, число которых связано с h следующей зависимостью:

$$h = 2^{m-1} - 1, \quad (3.23)$$

откуда

$$m = 1 + \text{ЦЧ} \{ \lg_2(h + 1) \} .$$

Зависимость необходимого числа m для обеспечения заданной апертуры h и соответствующие отклонения параметра при 8-разрядном исходном коде приведены в табл. 3.17.

Защите подлежат только m младших разрядов исходного кода, а искажения в $n - m$ старших разрядах обнаруживаются апертурным контролем.

Защитные разряды $k = n - m$ ставятся в соответствие m информационным разрядам, обеспечивая заданное кодовое расстояние для кодовых комбинаций из младших разрядов. При этом защитные разряды совмещаются со старшими информационными разрядами путем суммирования с ними по модулю 2.

При декодировании осуществляется обратная операция: по m младшим разрядам принятого слова вычисляются защитные k разрядов, которые суммируются по модулю 2 с $n - m$ старшими разрядами принятого кода. В результате суммирования образуются старшие информационные разряды принятого сообщения.

* Метод апертурного контроля параметров в ТИ предложен Г. А. Майбородой.

Рассмотрим предлагаемый метод кодирования на примерах линейных (n, m) -кодов, которые могут быть представлены образующей матрицей $G(n, m)$. Контрольные k разрядов записываются для m единичных векторов, образующих верхние строки матрицы. Остальные $n - m$ строчек соответствуют незащищенным старшим разрядам, которые при формировании кодовых слов накладываются на k защитных разрядов суммирования по модулю 2.

Определение k защитных разрядов для m младших разрядов, которые играют роль информационных разрядов в линейном коде, производится любыми известными способами синтеза помехозащищенных линейных кодов, например выбором соответствующих образующих полиномов для циклических кодов.

В соответствии с известными границами Хэмминга–Плоткина [16] (n, m) -код может обеспечить кодовое расстояние не более d' для всех значений кодовых слов, входящих в зону апертурного контроля, только в том случае, когда в пределах зоны старшие разряды сохраняются неизменными. Если же в общем случае внутри зоны есть изменение старших разрядов (всегда не более одного кванта), то это может привести к уменьшению кодового расстояния. Для того чтобы это уменьшение не превосходило 1, предлагается старшие разряды кодировать кодом Грэя. При этом во всех контролируемых зонах обеспечивается кодовое расстояние не менее $d = d' - 1$. Код Грэя является линейным кодом и представляется порождающей матрицей обычного двоичного кода с добавлением одной единицы в младшем разряде.

Ниже приводятся примеры образующих матриц безызбыточных n -разрядных кодов, обеспечивающих в пределах апертур $\pm h$ кодовое расстояние d [23].

Пример 3.5. Дано: $n = 8, m = 2, h = \pm 1, d = 4$. Защитные разряды $k = 6$ определены по образующему полиному $P(x) = x^6 + x^4 + x^3 + x + 1$. Полученная матрица:

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{c} m \\ \left\{ \begin{array}{l} 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \\ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \end{array} \right. \\ \hline \\ \left\{ \begin{array}{l} 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \\ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \\ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \\ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \\ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \\ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \end{array} \right. \\ k \end{array}
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \begin{array}{c} k = n - m \\ \left\{ \begin{array}{l} 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \\ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \end{array} \right. \\ \hline \\ \left\{ \begin{array}{l} 0 \ 0 \\ 0 \ 0 \\ 0 \ 0 \\ 0 \ 0 \\ 0 \ 0 \\ 0 \ 0 \end{array} \right. \\ \end{array}
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \begin{array}{c} m \\ \left\{ \begin{array}{l} 0 \ 1 \\ 1 \ 0 \end{array} \right. \\ \hline \\ \left\{ \begin{array}{l} 0 \ 0 \\ 0 \ 0 \\ 0 \ 0 \\ 0 \ 0 \\ 0 \ 0 \\ 0 \ 0 \end{array} \right. \\ \end{array}
 \end{array}$$

Пример 3.6. Дано: $n = 8, m = 4, h = \pm 7, d = 3, k = 4$. Образующий полином $P(x) = (x^3 + x^2 + 1)(x + 1)$. Полученная матрица:

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{cc}
 \overbrace{}^k & \overbrace{}^m \\
 \left. \begin{array}{l} 1\ 1\ 0\ 1 \\ 0\ 1\ 1\ 1 \\ 1\ 0\ 1\ 1 \\ 1\ 1\ 1\ 0 \end{array} \right\} m & \left| \begin{array}{l} 0\ 0\ 0\ 1 \\ 0\ 0\ 1\ 0 \\ 0\ 1\ 0\ 0 \\ 1\ 0\ 0\ 0 \end{array} \right. \\
 \end{array} &
 \begin{array}{cc}
 \overbrace{}^k & \overbrace{}^m \\
 \left. \begin{array}{l} 0\ 0\ 0\ 1 \\ 0\ 0\ 1\ 1 \\ 0\ 1\ 1\ 0 \\ 1\ 1\ 0\ 0 \end{array} \right\} k & \left| \begin{array}{l} 0\ 0\ 0\ 0 \\ 0\ 0\ 0\ 0 \\ 0\ 0\ 0\ 0 \\ 0\ 0\ 0\ 0 \end{array} \right. \\
 \end{array}
 \end{array}$$

Пример 3.7. Данные те же, что в примере 3.6. Защита повторением с инверсией (код предложил Г. А. Майборода). Полученная матрица:

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{cc}
 \overbrace{}^{k=4} & \overbrace{}^{m=4} \\
 \left. \begin{array}{l} 1\ 1\ 1\ 0 \\ 1\ 1\ 0\ 1 \\ 1\ 0\ 1\ 1 \\ 0\ 1\ 1\ 1 \end{array} \right\} m & \left| \begin{array}{l} 0\ 0\ 0\ 1 \\ 0\ 0\ 1\ 0 \\ 0\ 1\ 0\ 0 \\ 1\ 0\ 0\ 0 \end{array} \right. \\
 \end{array} &
 \begin{array}{cc}
 \overbrace{}^{k=4} & \overbrace{}^{m=4} \\
 \left. \begin{array}{l} 0\ 0\ 0\ 1 \\ 0\ 0\ 1\ 1 \\ 0\ 1\ 1\ 0 \\ 1\ 1\ 0\ 0 \end{array} \right\} k & \left| \begin{array}{l} 0\ 0\ 0\ 0 \\ 0\ 0\ 0\ 0 \\ 0\ 0\ 0\ 0 \\ 0\ 0\ 0\ 0 \end{array} \right. \\
 \end{array}
 \end{array}$$

Пример 3.8. Дано: $n = 16$, $m = 11$, $h = \pm 1023$ ($\pm 1,6\%$), $d = 3$, $k = 5$ (код предложил А. Л. Вулис). Полученная матрица

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{cc}
 \overbrace{}^k & \overbrace{}^m \\
 \left. \begin{array}{l} 1\ 0\ 0\ 1\ 1 \\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1 \\ 1\ 0\ 1\ 1\ 0 \\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1 \\ 1\ 1\ 0\ 0\ 1 \\ 1\ 1\ 0\ 1\ 0 \\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1 \\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0 \\ 0\ 1\ 1\ 0\ 1 \\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0 \\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1 \end{array} \right\} m & \left| \begin{array}{l} 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1 \\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0 \\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0 \\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0 \\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0 \\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0 \\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0 \\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0 \\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0 \\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0 \end{array} \right. \\
 \end{array} &
 \begin{array}{cc}
 \overbrace{}^k & \overbrace{}^m \\
 \left. \begin{array}{l} 0\ 0\ 0\ 0\ 1 \\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1 \\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0 \\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0 \\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0 \end{array} \right\} k & \left| \begin{array}{l} 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0 \\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0 \\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0 \\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0 \\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0 \end{array} \right. \\
 \end{array}
 \end{array}$$

Таким образом, предложенные безыбыточные помехозащищенные коды позволяют повысить эффективность передачи коррелированных сообщений ТИ. По сложности реализации они близки к обычным корректирующим кодам. Эти коды являются подклассом более общего класса кодов, уменьшающих, а не только исключаящих избыточность за счет апертурного контроля. Так, коды в примерах 3.7 и 3.8 могут быть дополнены общей проверкой на четность и дать $d = 4$ при одном избыточном разряде.

Глава четвертая

ПЕРЕДАЧА СООБЩЕНИЙ В ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

4.1. ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕДАЧИ СООБЩЕНИЙ В ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Системы телемеханики должны обеспечивать высокую достоверность передачи сообщений (телеконтроль) и высокую надежность передачи команд (телеуправление) в режиме реального времени, т. е. с наименьшим запаздыванием по отношению к контролируемым процессам.

Основные требования к передаче данных в системах телемеханики, используемых в энергосистемах, сводятся к следующему:

обеспечение высокой достоверности передачи в сложных условиях эксплуатации, в частности в условиях высокого уровня помех в каналах связи. В этих условиях передаваемые сигналы должны быть надежно защищены от необнаруживаемых искажений (ошибок), от неправильного приема кодовых форматов вследствие ошибок синхронизации, от потерь сообщений и возникновения ложных сообщений, в том числе их трансформации;

обеспечение минимального времени передачи в условиях узкополосных каналов связи с повышенным уровнем помех путем применения короткоформатных кодов;

обеспечение передачи произвольной последовательности бит от источника данных, т. е. применение "бит-ориентированных" кодов.

4.2. КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Достоверность (целостность) данных

Нарушение достоверности (целостности) передачи данных может возникать по причине появления необнаруживаемых ошибок в принятом сообщении и (или) из-за потерь информации.

Количественной оценкой обнаруживаемых ошибок является частота обнаруживаемых ошибок, равная отношению числа обнаруженных ложных сообщений к общему числу переданных сообщений, либо соответствующая вероятность появления ложных обнаруживаемых сообщений (вероятность того, что принятое сообщение окажется ложным).

Количественной оценкой потерь сообщений является частота потери сообщения, равная отношению числа обнаруженных (потерянных) сообщений к общему числу переданных сообщений, либо вероятность потери сообщения (вероятность того, что переданное сообщение будет потеряно).

Следует заметить, что лишь обнаруженные ошибки или потери сообщений определяют достоверность передачи данных, поскольку обнаруженные ошибки или потери приводят к переспросу данных либо к сигнализации ошибочного приема, в результате чего истинные данные могут быть восстановлены, хотя и с некоторой задержкой.

Требования к достоверности передачи данных в системах телемеханики

Согласно стандарту МЭК на системы телемеханики существуют три класса достоверности передачи данных: I_1 , I_2 и I_3 . Применение того или иного класса достоверности определяется характером (важностью) передаваемых сообщений. На рис. 4.1 пунктиром представлены зависимости верхних пределов вероятности ложных сообщений (необнаруживаемых ошибок) R от вероятности ошибочного приема бит p для трех классов достоверности. Ось абсцисс заканчивается значением $p = 0,5$, соответствующим приему случайной помехи (без сигнала). Величины R и p на рис. 4.1 представлены в логарифмическом масштабе.

Граничные характеристики $R = f(p)$ для классов достоверности I_1 , I_2 и I_3 задаются следующим образом: граничные характеристики проходят через точки, в которых значения R при $p = 10^{-4}$ должны быть соответственно равны: $R = 10^{-6}$ для класса I_1 , $R = 10^{-10}$ для класса I_2 , $R = 10^{-14}$ для класса I_3 .

Значение $p = 10^{-4}$ соответствует удовлетворительному качеству канала передачи.

Наклон граничных характеристик к оси абсцисс определяется кодовым расстоянием (расстоянием Хэмминга) d : для класса I_1 $d = 2$, для классов I_2 и I_3 $d = 4$. Это означает, что в классе I_1 должны обнаруживаться все однократные ошибки, а в классах I_2 и I_3 — все ошибки кратности не более 3.

То, что наклон граничных характеристик определяется величиной d ,

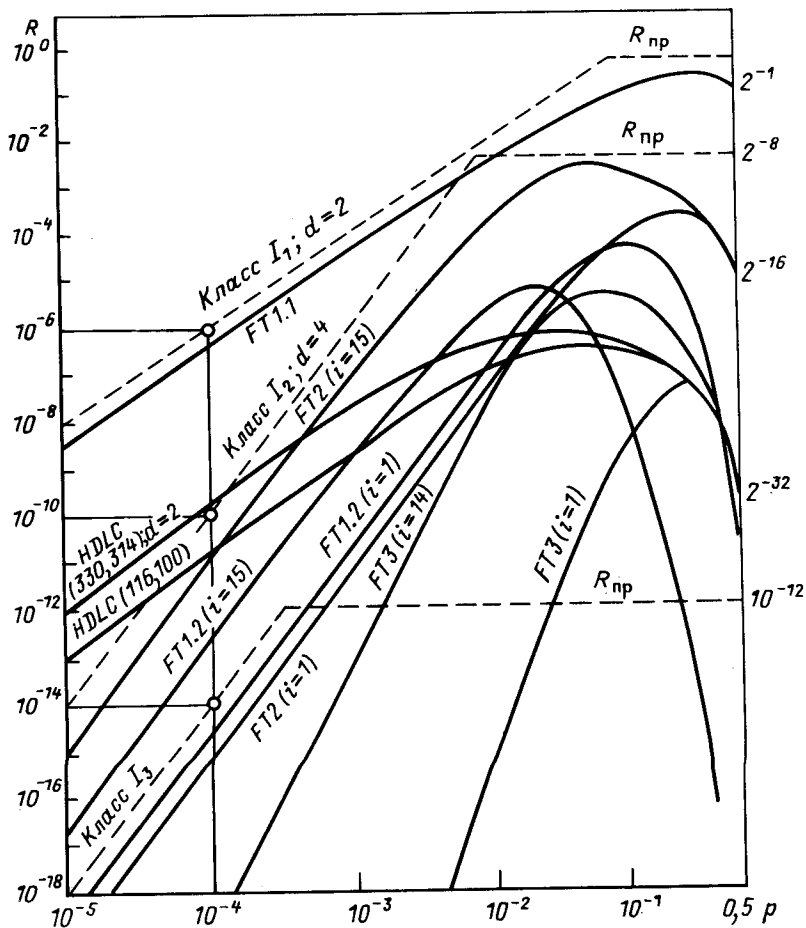


Рис. 4.1. Вероятность необнаруживаемых ошибок стандартных кодовых форматов FT1.1, FT1.2, FT2, FT3:

i – число информационных байт в блоке; p – вероятность ошибки бита; R – вероятность необнаруживаемых ошибок кодового формата

можно убедиться из следующих соображений. Как известно,

$$R = \sum_{i=d}^{i=n} A_i p^i (1-p)^{n-i}. \quad (4.1)$$

При малых p ($p \leq 10^{-4}$) $(1-p) \approx 1$ и выражение (4.1) может быть

принято равным

$$\sum_{i=d}^{i=n} A_i p^i, \quad (4.2)$$

где A_i — число ошибок кратности i .

Наибольший вклад в сумму (4.2) вносит слагаемое при $i = d$, т. е. $R = A_d p^d$, откуда

$$\log R = \log A_d + d \log p,$$

т. е. зависимость $R = f(p)$ в логарифмическом масштабе имеет наклон к оси абсцисс, пропорциональный d .

Горизонталь, ограничивающая допустимые значения R , проводится на уровне $R = R_{\text{пр}}$: для класса I_1 $R_{\text{пр}} = 2^1$; для класса I_2 $R_{\text{пр}} = 2^{-8}$; для класса I_3 $R_{\text{пр}} = 10^{-12}$.

Это означает, что при любой вероятности ошибки на бит (вплоть до $p = 0,5$) значение R не должны превосходить оговоренных значений $R_{\text{пр}}$.

Поскольку при $p = 0,5$ защитные биты с равной вероятностью могут принимать любые значения (в том числе и ложные), вероятность ложной комбинации k контрольных бит, т. е. вероятность пропуска ложного сообщения, равна

$$R_{\text{пр}} = 0,5^k,$$

где k — число контрольных символов в коде. Отсюда находим необходимое число контрольных символов k , обеспечивающих заданные величины $R_{\text{пр}}$: $k = \frac{\log R_{\text{пр}}}{-\lg 2}$. Для двоичных логарифмов $k = -\lg R_{\text{пр}}$.

Следовательно, для класса I_1 $R_{\text{пр}} = 2^1$ обеспечивается при $k = 1$; для класса I_2 $R_{\text{пр}} = 2^{-8}$ обеспечивается при $k = 8$; для класса I_3 $R_{\text{пр}} = 10^{-12}$ обеспечивается при $k \approx 40$.

Таблица 4.1. Расчетные данные классов достоверности

Класс достоверности	Вероятность ложных сообщений R при $p = 10^{-4}$	Ожидаемое время T между ложными сообщениями	Основная область применения
I_1	10^{-6}	1 день	Циклические телеизмерения
I_2	10^{-10}	26 лет	Передача ТС, ТИ важных параметров
I_3	10^{-14}	260 000 лет	Телеуправление, телеавтоматика

Для иллюстрации характеристик классов достоверности рассмотрим следующий пример. Положим, что $p = 10^{-4}$. Система телемеханики непрерывно передает сообщение блоками, состоящими из 100 бит со скоростью 1200 бит/с. Определим ожидаемое значение времени T между возможными ложными сообщениями: $T = n/(vR)$, где n — длина блока сообщений, бит; v — скорость передачи; R — вероятность ошибочных сообщений. Расчетные значения T для разных классов достоверности сведены в табл. 4.1.

Эффективность передачи кодовых форматов

Сообщения, передаваемые по каналам связи, формируются в кодовые конструкции (кодовые форматы) длиной n бит, содержащие информационные $n_{\text{и}}$, контрольные k и служебные биты (биты синхронизации, адресные, функционального назначения и пр.).

Правильно (без ошибок) принятый кодовый формат гарантирует правильность содержащихся в нем сообщений. Эффективность передачи кодового формата (EFF) определяется отношением правильно принятых информационных бит к общему числу бит в формате:

$$\text{EFF} = \frac{n_{\text{и}}q^n}{n},$$

где $q = (1 - p)$ — вероятность правильного приема бита; q^n — вероятность правильного приема всех n бит в формате.

При подсчете эффективности телепередачи данных в телемеханических системах следует также учитывать служебные сигналы, необходимые для ведения диалога между передатчиками и приемником, квитирующие сигналы и пр.

Согласно [1] скорость передачи информации определяется средним числом бит информации в секунду, переданных от источника данных и правильно принятых приемником. В соответствии с этим скорость передачи кодовых форматов определяется как эффективность передачи в единицу времени: $\text{EFF} \times v$, где v — скорость передачи сигналов, бит/с.

4.3. СТАНДАРТНЫЕ КODOVЫЕ ФОРМАТЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ ТЕЛЕМЕХАНИКИ

Стандарт МЭК по системам телемеханики предусматривает определенные кодовые форматы для обеспечения заданных классов достоверности передаваемых данных в широком диапазоне информационной емкости, различной степени "интеллектуальности" устройств и предназначенных для выполнения телемеханических функций на различных уровнях передачи диспетчерского управления.

К январю 1989 г. МЭК разработал [41] стандартные кодовые форматы для систем телемеханики, ориентированные на асинхронный метод передачи данных в "одном окне"* при использовании последовательности двоичных взаимонезависимых сигналов (двоичный симметричный канал без памяти) для полудуплексной и дуплексной связи.

В ближайшем будущем в рамках того же комитета МЭК предстоит разработка рекомендаций по применению стандартных протоколов синхронной передачи данных МКТТ в системах телемеханики. Эти протоколы должны быть адаптированы к требованиям систем телемеханики для обеспечения необходимых классов достоверности. В частности, известный протокол HDLC, определяемый стандартом ISO/DIS 3309.2, использует взаимозависимые сигналы и предназначен для синхронного метода передачи данных в системах связи общего назначения. Обычно он используется в условиях полного дуплекса. В Советском Союзе разработана система телемеханики ГРАНИТ, в которой используется одна из версий протокола HDLC (см. § 5.3).

Рекомендуемые МЭК стандартные кодовые форматы асинхронной передачи для телемеханических систем сведены в табл. 4.2.

Формат FT1.1 обеспечивает расстояние Хэмминга $d = 2$, кодовое слово содержит 11 бит: 1 бит — старт, 8 бит — информация, 1 бит — защита по четности (нечетности) и 1 бит — стоп. Добавление в конце предложения одного контрольного 11-битового слова образует формат FT1.2 с кодовым расстоянием $d = 4$.

Контрольное слово, так же как все остальные кодовые слова, имеет биты старт, стоп, бит четности и, кроме того, 8 бит — контрольную сумму CS, образованную арифметическим суммированием всех информационных байт предшествующих кодовых слов по модулю 256.

Форматы FT2 и FT3 образуются кодовыми блоками длиной до 16 байт ($n = 128$ бит). Информационные кодовые слова этих форматов содержат по 8 бит (байт, октет). Контрольные слова формируются по законам циклического кода. Контрольное слово формата FT2 имеет длину 8 бит, что обеспечивает $d = 4$ при числе информационных байт до 15.

Контрольное слово формата FT3 имеет длину 16 бит, что обеспечивает $d = 6$ при числе информационных байт до 14.

* Асинхронная (старт-стопная) передача в системах телемеханики — метод передачи, при котором передаются группы синхронных сигналов, разделенные интервалами произвольной длительности (МЭС, гл. 371 "Телемеханика", 371-07-07).

При синхронной передаче момент начала передачи сообщения, определяемый моментом отправки стартового сигнала, может быть произвольным.

Размер "окна передачи" — число кодовых предложений, которые можно передавать без подтверждения приема перед тем, как обнаружена ошибка в предложении, требующая автоматического повторения передачи [12].

Таблица 4.2. Стандартные кодовые форматы

Тип формата	Кодовый блок ($n; m$)*	Расстояние Хэмминга	Класс достоверности	Формат кодового предложения	Защита от ошибок
FT1.1	$(11i; 8i)$	2	I_1		Для каждого информационного байта: 1 бит "старт" (0) 1 бит "стоп" (1) 1 бит "четность" (P)
FT1.2	$(11i + 11; 8i)$	4	I_2		Для каждого информационного и контрольного байта: 1 бит "старт" (0) 1 бит "стоп" (1) 1 бит "четность" (P)
FT2	$(8i + 8; 8i)$ $i = 1, 2, \dots, 15$	4	I_2		Для кодового предложения 8 бит - контрольная сумма CS
FT3	$(8i + 16; 8i)$ $i = 1, 2, \dots, 14$	6	$I_2; I_3^{**}$		Для каждого кодового блока: циклический код (254, 238); $P(x) = x^7 + x^6 + x^5 + x^2 + 1$, расширенный битом четности: инверсия всех контрольных бит CS-8

* Обозначения: n - общее число бит в кодовом слове блока; m - число информационных бит в кодовом слове блока; i - число кодовых слов в блоке (предложении).

** Класс достоверности I_3 обеспечивается при $p \leq 10^{-3}$.

Форматы FT1.1 обеспечивают класс достоверности I_1 и могут использоваться при передаче информации с относительно невысокой достоверностью, например в циклических системах ТИ.

Форматы FT1.2 и FT2 обеспечивают класс достоверности I_2 и должны применяться при передаче сообщений с повышенной достоверностью, например информации ТС, важных параметров ТИ и т. п.

Формат FT3 обеспечивает класс достоверности I_2 во всем диапазоне изменения вероятности ошибки на бит ($p < 0,5$) и класс I_3 при $p \leq 10^{-3}$. Этот формат используется при передаче особо важных сообщений, например команд ТУ и т. п.

4.4. КОДОВЫЕ ФОРМАТЫ С ПОСТОЯННЫМ И ПЕРЕМЕННЫМ ЧИСЛОМ ИНФОРМАЦИОННЫХ КОДОВЫХ СЛОВ

В системах телемеханики могут использоваться кодовые форматы различной длины L (L — число информационных кодовых слов в кодовом предложении). При использовании кодовых форматов с переменной длиной число L должно указываться в специальном кодовом слове (или словах) в начале кодовых предложений. В процессе передачи кодовых предложений могут возникать различные искажения, вызываемые случайными помехами, в том числе нарушение синхронизации, кратковременные нарушения канала, приводящие к несинхронному сдвигу кодовой последовательности, и т. п.

Во всех этих случаях передача информации должна соответствовать оговоренному классу достоверности, обеспечиваемому выбранным кодовым форматом. Для удовлетворения этого требования должны выполняться определенные правила передачи стандартных кодовых форматов, оговоренные стандартом МЭК.

Для всех форматов сигнал спокойного состояния канала (перед посылкой сообщений) — 1. Интервалы между словами предложения не допускаются (т. е. кодовое предложение следует непрерывно во времени — без перехода в спокойное состояние канала).

Длина L передается в начале кодового предложения и для форматов FT1.1 не превосходит 127, для форматов FT1.2, FT2 и FT3 — 255 информационных слов.

Форматы FT2 и FT3 имеют блочную структуру с максимальным числом информационных байт в блоке $i = 15$ (для FT2) и $i = 14$ (для FT3). После каждого блока в этих форматах должны передаваться контрольные байты: для FT2 контрольный байт (8 бит) формируется образующим полиномом $P(x) = x^7 + x^6 + x^5 + x^2 + 1$, расширенным восьмым битом защиты по четности всего блока с инверсией всех восьми контрольных бит; для FT3 контрольное слово содержит 16 бит и формируется образующим полиномом $P(x) = x^{16} + x^{13} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^6 + x^5 + x^2 + 1$ с инверсией всех 16 бит.

Таблица 4.3. Формат FT1.1 с переменным числом информационных слов, $d = 2$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Последовательность бит в линии												
Информационные биты (D_1 — младший бит)		D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7	D_8			
Число информационных слов в предложении	0	0	←							→	P	
											L	
Информационные слова	1	0									P	
	2	0									P	
	⋮	0									P	
	$L - 1$	0									P	
L	0									P	1	
	старт										паритет	стоп

П р и м е ч а н и я: 1. В начальном кодовом слове передается число L информационных слов в предложении ($L = 0 \div 127$). Бит D_1 в начальном слове всегда 0.

2. При обнаружении ошибки при приеме старт-бита, стоп-бита, бита четности, бита $D_1 = 0$ в начальном слове все кодовое предложение бракуется и не выдается пользователю. При этом должен устанавливаться интервал длиной минимум 22 единицы свободного состояния до следующего кодового предложения ($L \geq 22$ бит).

Таблица 4.4. Формат FT1.2 с фиксированным числом информационных слов, $d = 4$

Последовательность бит в линии	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Информационные биты (D_1 – младший бит)		D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7	D_8		
НАЧАЛО	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
	0	0	0	0	0	1	0	0	0	P	1
	0	0	0	0	0	1	0	0	0	P	1
Информационные слова	$\left. \begin{array}{l} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ L \end{array} \right\}$										
Контрольная сумма	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
КОНЕЦ	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
	старт	←			CS					→	паритет стоп (четность)

Примечания: 1. Кодовое предложение содержит фиксированные слова: НАЧАЛО – $10H^*$ (00010000) и КОНЕЦ – $16H$ (0010110); заранее известное число L информационных слов и одно контрольное слово CS – арифметическую сумму значений всех информационных слов.

2. При обнаружении ошибки при приеме старт-бита, стоп-бита, бита четности или контрольной суммы (а также в словах НАЧАЛО и КОНЕЦ в пределах кодового предложения) все предложение бракуется и устанавливается интервал длиной минимум 33 единицы спокойного состояния до последующего кодового предложения ($L \geq 33$ бит).

* Здесь и далее даны обозначения в двоично-шестнадцатеричном коде.

Таблица 4.5. Формат FT1.2 с переменным числом информационных слов, $d = 4$

Последовательность бит в линии	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Информационные биты (D_1 — младший бит)		D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7	D_8		
НАЧАЛО	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1
Число информационных слов в предложении	0	←									
То же (повтор)	0	← L (повтор) →									
НАЧАЛО (повтор)	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1
	0	←									
Информационные слова	$\left. \begin{array}{c} 1 \\ \vdots \\ \vdots \\ L \end{array} \right\}$										
Контрольная сумма	0	←									
КОНЕЦ	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1
	← CS →										паритет (четность)
	←										старт

Примечания: 1. Кодовое предложение начинается заголовком, содержащим четыре слова: 1-е слово — НАЧАЛО — 68H (01101000); 2-е слово — число информационных слов L ; 3-е слово — L (повтор); 4-е слово — повтор НАЧАЛО — 68H. Затем следует L (0–255) информационных слов, одно контрольное слово CS (арифметическая сумма значений всех информационных слов), последнее слово — КОНЕЦ — 16H (00010110).

2. При обнаружении ошибки при приеме старт-бита, стоп-бита, бита четности и в приеме фиксированного заголовка с двумя одинаковыми словами "начало" второе и третье слова заголовка), а также в контрольной сумме CS и в слове "конец" все предложение бракуется и устанавливается интервал длиной минимум 33 единицы до следующего кодового предложения ($L \cdot 3 = 33$ бит).

Таблица 4.6. Формат FT2 с фиксированным числом информационных байт, $d = 4$

Последовательность бит в линии	1	2	3	4	5	6	7	8
Информационные биты (1-й бит — D_8 — старший)	D_8	D_7	D_6	D_5	D_4	D_3	D_2	D_1
НАЧАЛО (27 Н)	0	0	1	0	0	1	1	1
Блок 1	Информационные байты							
Информационные слова	1							
	2							
	·							
	·							
	max 15							
	Контрольный байт							
Блок 2	Информационные байты							
Информационные слова	1							
	2							
	·							
	·							
	max 15							
	Контрольный байт							
Блок N	Информационные байты							
Информационные слова	1							
	2							
	·							
	·							
	max 15							
	Контрольный байт							

Продолжение табл. 4.6

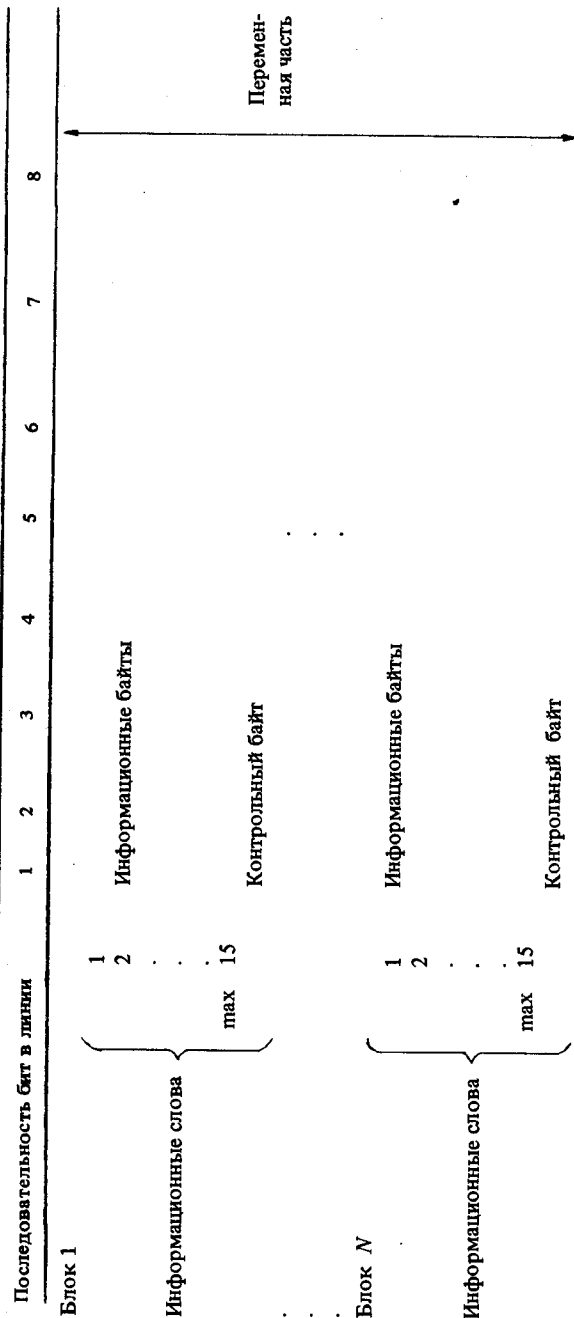
Последовательность бит в линии	1	2	3	4	5	6	7	8
--------------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---

П р и м е ч а н и я: 1. Кодовое предложение фиксированной длины начинается указанным в таблице байтом НАЧАЛО 27Н (00100111) или 14Н (00010100). Выбор того или иного бита "начало" зависит от протокола диалоговых процедур (см. § 4.7).
 2. При обнаружении ошибок при приеме бита НАЧАЛО, контрольного бита все предложение бракуется и устанавливается интервал спокойного состояния между последующим предложением длиной $L' = (L + 3)$ байт, если $L < 45$ байт; при $L \geq 45$ байт $L' = 48$ байт.

Таблица 4.7. Формат FT2 с переменным числом информационных байт, $d = 4$

Последовательность бит в линии	1	2	3	4	5	6	7	8
Информационные биты (1-й бит — D_8 — старший)	D_8	D_7	D_6	D_5	D_4	D_3	D_2	D_1
НАЧАЛО (27 Н)	0	0	1	0	0	1	1	0
Блок 0	Число информационных байт (L)							
Информационные слова	1	Информационные байты						
	2							
	...							
	max 14							
								Заголовок
								Контрольный байт

Продолжение табл. 4.7



Примечания: 1. Кодовое предложение начинается фиксированным заголовком, содержанием: 1 байт НАЧАЛО (27H или 14H в зависимости от протокола диалоговых процедур, см. § 4.7); 16 байт блока 0, в который входят: 1 байт L — число информационных байт в переменной части предложения (кроме заголовка), 14 информационных байт, 1 контрольный байт. Переменная часть предложения содержит N < 16 блоков до 15 байт в каждом.

2. Интервал L' после обнаружения ошибки в пределах предложения, так же как для формата FT2 с фиксированной длиной, составляет (L + 3) байт при L < 45 байт и L' = 48 байт при L > 45 байт.

Таблица 4.8. Формат FT3 с фиксированным числом информационных байт, $d = 6$

Последовательность бит в линии	1	2	3	4	5	6	7	8
Информационные биты (1-й бит — D_8 — старший)	D_8	D_7	D_6	D_5	D_4	D_3	D_2	D_1
НАЧАЛО	05H 0	0	0	0	0	1	0	1
	64H 0	1	1	0	0	1	0	0
Блок 1	Информационные байты							
Информационные слова	1							
	2							
	...							
	...							
	max 14							
Блок 2	Контрольные байты							
Информационные слова	1							
	2							
	...							
	...							
	max 14							
Блок 2	Контрольные байты							
...								
...								
...								

Последовательность бит в линии	1	2	3	4	5	6	7	8
Блок N								
Информационные слова	1	Информационные байты						
	2							
	.							
	.							
	max 14							
Контрольные байты	1							
	2							

П р и м е ч а н и я: 1. Кодовое предложение фиксированной длины начинается словом НАЧАЛО, содержащим 2 байта: 05 H, 64 H (00000101, 01100100) либо 12 H, 3 DH (00010010, 00111101). Выбор того или иного слова НАЧАЛО определяется протоколом диалоговых процедур (см. § 4.7).

2. При обнаружении ошибок при приеме слова НАЧАЛО, контрольных байт в блоках, фиксированной длины предложения все предложение бракуется и устанавливается интервал спокойного состояния до последующего предложения длиной минимум $L, \mathcal{U} = (L + 6)$ байт, если $L < 42$ байт, и $L, \mathcal{U} = 48$ байт, и $L, \mathcal{U} = 42$ байт, если $L \geq 42$ байт.

Таблица 4.9. Формат ГТЗ с переменным числом информационных байт, $d = 6$

Последовательность бит в линии	1	2	3	4	5	6	7	8
Информационные биты (1-й бит - D_8 - старший)		D_7	D_6	D_5	D_4	D_3	D_2	D_1
НАЧАЛО	05H 0	0	0	0	0	1	0	1
	64H 0	1	1	0	0	1	0	0
Блок 0	Число информационных байт (L)							
	1	Информационные байты						
	2	Информационные байты						
						
						
	max 13	...						
Информационные слова	1	Контрольные байты						
	2	Контрольные байты						
Блок 1	Информационные байты							
	1	Информационные байты						
	2	Информационные байты						
						
						
	max 14	...						
Информационные слова	1	Контрольные байты						
	2	Контрольные байты						
						
						

При фиксации ошибки (ошибок) в предложении оно полностью бракуется приемником, и перед посылкой последующего кодового предложения требуется определенный минимальный интервал спокойного состояния (посылка подряд $L \mathcal{V}$ единиц). Величина $L \mathcal{V}$ указывается для каждого стандартного формата.

Построение кодовых предложений с использованием стандартных форматов и относящихся к ним специальных правил передачи поясняется табл. 4.3–4.9 и примечаниями к ним.

4.5. ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОСТОВЕРНОСТИ СТАНДАРТНЫХ КОДОВЫХ ФОРМАТОВ

На рис. 4.1 и 4.2 приведены зависимости вероятности необнаруживаемых ошибок R и эффективности передачи кодовых форматов EFF, %, от вероятности ошибочного приема бита p для рассмотренных выше стандартных кодовых форматов при различных числах i кодовых блоков в кодовом предложении.

При построении характеристик на рис. 4.2 исходят из следующего общего соотношения, определяющего вероятность необнаруживаемых ошибок (т. е. ложных сообщений) в формате FT, содержащем i кодовых блоков при общей длине блока n бит:

$$R(i, FT) = [R(FT) + q^n]^i - q^n \approx iR(FT) \text{ при } (1 - q) \ll 0,5, \quad (4.3)$$

где $R(FT)$ – вероятность необнаруживаемых ошибок в кодовом слове формата FT; q – вероятность правильного приема бита.

Соотношение (4.3) предполагает, что все кодовое предложение, состоящее из i слов, считается ложным, если имеется необнаруженная ошибка хотя бы в одном слове.

В соответствии с (4.1) определяются характеристики для оговоренных выше стандартных форматов.

Формат FT1.1. Вероятность приема ложного слова

$$R(FT1.1) = (\sum A_e p^e q^{9-e})q^2,$$

где A_e – число необнаруживаемых ошибок, кратности e , в 9 битах

$$A_e = C_9^e, \quad e = 2, 4, 6, 8.$$

Сомножитель q^2 учитывает вероятность правильного приема двух битов: старт – стоп.

Эффективность передачи кодового слова формата FT1.1

$$EFF(FT1.1) = \frac{8}{11} q^{11} = 0,73q^{11}.$$

Если первое слово отводится для передачи числа L информационных слов в кодовом предложении, то эффективность передачи составит

$$\text{EFF}(\text{FT1.1}L) = \frac{8}{11(i+1)} q^{11(i+1)},$$

где i — число информационных байт в предложении.

Формат FT1.2 $d=4$. Вероятность ложного сообщения

$$R^p(\text{FT1.2}) \approx 0,5R(\text{FT1.2})q^{11s},$$

где $R(\text{FT1.2})$ — вероятность необнаруживаемых ошибок в кодовом блоке формата FT1.2, состоящем из i кодовых слов (11.8), защищенных по паритету по горизонтали и вертикали (см. § 3.2); $R^p(\text{FT1.2})$ — то же, что $R(\text{FT1.2})$, но с заменой контрольного слова, образованного защитой по паритету по вертикали, контрольной арифметической суммой всех информационных бит по вертикали по модулю 256 [см. (3.9a)]. При этом вероятность ложных сообщений уменьшается примерно вдвое.

Коэффициент q^{11s} соответствует вероятности правильного приема кодовых слов "старт" и "стоп" и кодового слова L , означающего число информационных байт в предложении. Для формата с фиксированной длиной $s=2$ (слово "старт" и слово "стоп").

Для формата с переменной длиной $s=5$ (два слова "старт", два слова длина L и одно слово "стоп").

Эффективность передачи формата FT1.2

$$\text{EFF}(\text{FT1.2}) = \frac{8i}{11(i+s+1)} q^{11(i+s+1)},$$

где s — число дополнительных контрольных слов, исключая слово контрольной суммы.

Формат FT2. Число необнаруживаемых ошибок кратности e в укороченном циклическом коде длиной $n=128$ приблизительно равно

$$A(\text{FT2}) = \frac{C_{128}^e}{128}; \quad e = 4, 6, 8, \dots, n.$$

Вероятность ложных сообщений

$$R(\text{FT2}) = \left(\sum_e A(\text{FT2}) p^e q^{n-e} \right) q^8.$$

Коэффициент q^8 определяет вероятность правильного приема контрольного слова длиной 8 бит.

Эффективность передачи формата FT2 при числе информационных

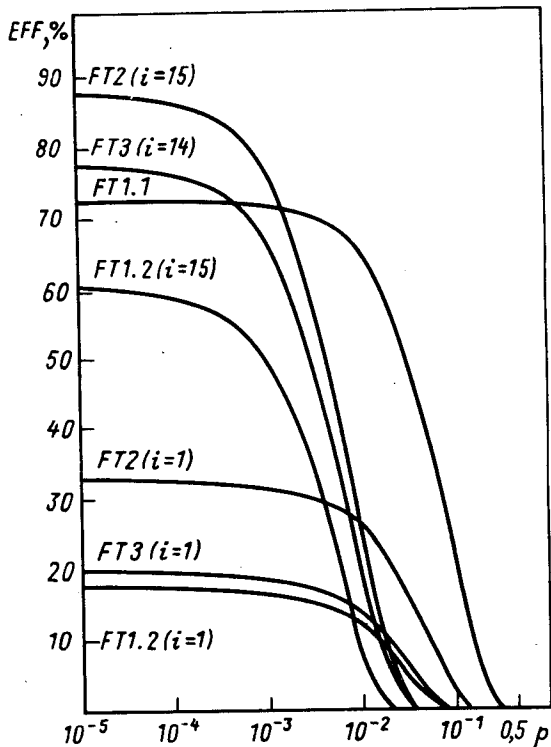


Рис. 4.2. Эффективность передачи кодовых форматов FT1.1, FT1.2, FT2, FT3

байт $i \leq 15$ и одном байте старт

$$\text{EFF}(\text{FT2}) = \frac{i}{i+2} q^{8(i+2)}.$$

Формат FT3. Число необнаруживаемых ошибок кратности e в циклическом коде длины $8i$, $i = 3, 4, 5, \dots, 16$ приблизительно равно

$$A(\text{FT3}) \approx \frac{1}{2^{15}} C_n^e, \quad e = 6, 8, \dots, 256.$$

Вероятность ложных сообщений

$$R(\text{FT3}) = \left(\sum_e A(\text{FT3}) p^e q^{n-e} \right) q^{16}.$$

Коэффициент q^{16} определяет вероятность правильного приема контрольного слова длиной 16 бит.

Эффективность передачи формата FT3 при числе информационных байт $i \leq 14$ и двух байтах старт

$$EFF(FT3) = \frac{i}{i+4} q^{8(i+4)}$$

На рис. 4.2 представлены зависимости эффективности передачи кодовых форматов EFF, %, от вероятности ошибки на бит для рассмотренных кодовых форматов.

Из сравнения кривых на рис. 4.1 и 4.2, в частности, следует, что чем длиннее кодовый блок, тем выше эффективность передачи информации. Однако при этом увеличивается вероятность ложных сообщений. Например, для формата FT2 при $p = 10^{-4}$ имеем

$$i = 15, \quad EFF = 86\%, \quad R \approx 10^{-11};$$

$$i = 1, \quad EFF = 32\%, \quad R \approx 10^{-15}.$$

4.6. КОДОВЫЙ ФОРМАТ ПРОТОКОЛА HDLC

Протокол HDLC – один из наиболее распространенных протоколов в системах связи, используемых для передачи данных различного назначения. Он предложен фирмой IBM и принят в качестве стандарта МККТТ. В разрабатываемых стандартах МЭК (ICE) по телемеханике наряду с принятыми протоколами асинхронной передачи, рассмотренных выше (см. § 4.3), ставится также вопрос об использовании протокола HDLC для синхронной передачи в системах телемеханики.

При отсутствии передачи сообщений (спокойное состояние канала) первичная станция (станция, начинающая диалоговую процедуру передачи сообщений) посылает в канал связи чередующуюся последовательность единиц и нулей (1010 . . .), называемую меандром. Меандр обеспечивает постоянную синхронизацию генераторов первичной и вторичной станций системы. Именно из-за наличия меандра в спокойном состоянии канала протокол HDLC может быть использован в системах с синхронным методом передачи данных.

Основная проблема использования протокола HDLC в качестве стандартного для систем телемеханики состоит в том, что формат HDLC обладает низким кодовым расстоянием, не превосходящим $d = 2$, т. е. в принципе возможны ложные сообщения при двукратных ошибках (хотя вероятность этих ошибок невелика).

Типовая структура кадра сообщений в протоколе HDLC представлена на рис. 4.3.

Кадр состоит из трех частей: заголовка, в который входят байт начала (открывающий флаг), байты адреса A , управления C и длины L (числа); основы – информационный байт данных D ; "концевика", содержащего защитные байты CS и конец (закрывающий флаг). От-

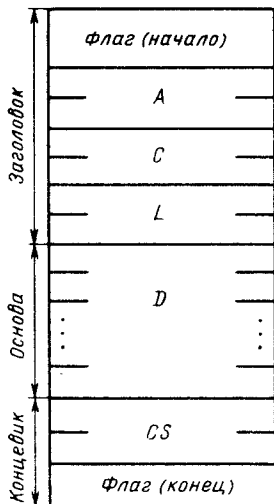


Рис. 4.3. Кадр сообщений в протоколе HDLC:

A – поле адреса, обычно 1, 2 байта; *C* – поле управления, обычно 1 байт; *L* – поле длины данных, обычно 1 байт; *D* – данные (число байт определяется *L*); *CS* – поле защиты (контроля), обычно 1, 2 байта

крывающий и закрывающий флаги обычно совпадают и имеют всегда фиксированную последовательность бит: 01111110. Указанная последовательность (шесть единиц подряд, обрамленные нулями) встречается только во флагах кадра, благодаря чему они легко отличимы от прочих слов кадра. Такие слова носят название "прозрачных" маркеров. Для того чтобы обеспечить отличие флагов от остальных слов кадра и чтобы не вводить ограничения при передаче сообщений, в прото-

токоле HDLC вводится специфическая операция при кодировании всех слов кадра, кроме флагов, называемая бит-стаффингом. Она состоит в том, что после кодирования последовательности из пяти единиц подряд принудительно вставляется разделительный бит 0, т. е. информационная последовательность, содержащая подряд шесть единиц (111111), в результате бит-стаффинга выглядит следующим образом: 1111101.

При декодировании такой последовательности производится удаление вставленного после пяти единиц нуля (т. е. операция, обратная бит-стаффингу). Тем самым достигается "прозрачность" флагов.

Однако именно из-за бит-стаффинга протокол HDLC уязвим для однократных ошибок (при отсутствии закрывающего флага) или двукратных ошибок (при наличии закрывающего флага).

На рис. 4.4 представлен пример кодовой последовательности в протоколе HDLC при отсутствии закрывающего флага, иллюстрирующий возможность ложного сообщения при однократной помехе, в результате которой 0 бит-стаффинга, подлежащий отбрасыванию при декодировании, превращается в информационный 0 из-за перехода бита № 6 из 1 в 0. Положим, что начиная с бита № 16 (после отброса бит-стаффинга) начинается проверочное слово *CS*.

В результате однократного искажения происходит сдвиг последовательности информационных символов: бит № 7 в переданном кадре принимается как бит № 8, № 8 – как № 9 и т. д.).

При этом образуется код ошибки (начиная с бита № 6): 10010011101, т. е. $E(x) = x^10 + x^7 + x^4 + x^3 + x^2 + x^1$. Если этот вектор ошибки $E(x)$ разделится на образующий полином $P(x)$ без остатка, то однократная



Рис. 4.4. Формирование вектора ошибки $E(x)$ при однократной помехе (!) в формате HDLC:

a – переданная последовательность, v – бит-стаффинг; б – принятая последовательность; e – вектор ошибки $E(x)$

ошибка даст ложное сообщение. Положим, что высшая степень $P(x)$ равна r , т.е. в контрольном слове CS осуществляется r проверок на четность. Следовательно, вероятность необнаружения ошибки составляет при случайном наборе битов $1/2^r$.

Аналогичные ошибки при приеме возможны при ложном бит-стаффинге.

При наличии закрывающего флага всякая однократная помеха обнаруживается приемником. Для образования ложного сообщения необходимо минимум двойное искажение ($d = 2$).

Ложные сообщения могут возникнуть, например, при подавлении бит-стаффинга (одна ошибка) и одном ошибочном (инверсном) бите (вторая ошибка).

Вычисление вероятностей ложных сообщений в протоколе HDLC представляет определенные трудности. Наиболее целесообразный метод определения вероятности необнаруживаемых ошибок – метод перебора всех возможных ошибочных комбинаций с помощью ЭВМ.

На рис. 4.1 приведены результаты такого расчета для кодов (330,314) и (116,100) в протоколе HDLC при $d=2$.

При больших вероятностях ошибок ($p \geq 10^{-3}$) код HDLC обеспечивает класс достоверности I_2 . Однако при малых вероятностях ошибок ($p \leq 10^{-4}$) кривая вероятности ошибок располагается выше границы класса I_2 ; т.е. не обеспечивает помехозащищенности этого класса.

Для ориентированной оценки вероятности необнаруживаемых ошибок в коде HDLC можно рекомендовать следующие формулы, определяющие усредненные вероятности по всем возможным кодовым комбинациям и фазе воздействия ошибок в кадре:

для однократных ошибок

$$R_1 = pq^{n-1}2^{-r} A_1, \quad \text{где } A_1 = \frac{5}{62} (n-r) \frac{1}{2};$$

для двукратных ошибок

$$R_2 = p^2 q^{n-2} 2^{-r} A_2, \quad \text{где } A_2 = \frac{5}{62} \frac{5}{124} C_{n-r}^2.$$

4.7. ДИАЛОГОВЫЕ ПРОЦЕДУРЫ ПЕРЕДАЧИ ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

В процессе функционирования телемеханических систем, включающих станции, передающие информацию, и станции, принимающие информацию, между станциями осуществляется определенный обмен (диалог) служебной информацией, обеспечивающий заданный уровень достоверности передаваемых сообщений. В зависимости от конфигурации системы, используемых каналов связи, важности передаваемых сообщений процедуры обмена информацией между станциями могут быть различными.

В стандартах МЭК по телемеханике предусматриваются три класса диалоговых процедур на канальном уровне протокола передачи информации:

класс S1 — посылка без ответа: передача информации от передающей станции, не требующая ответа (подтверждения, квитанции) от принимающей станции;

класс S2 — посылка с подтверждением: передача информации, требующая подтверждения (квитанции);

класс S3 — запрос-ответ: передача информации по запросу (в ответ на запрос).

С точки зрения диалоговых процедур различаются первичные и вторичные станции телемеханической системы. Первичная станция — это станция, инициирующая диалог, т. е. вызывающая начало передачи сообщений. Для классов S1 и S2 передающая станция является первичной, поскольку по ее инициативе начинается передача данных, а принимающая станция — вторичной. Для класса S3 первичной является запрашивающая станция, которая требует передачи сообщений от вторичной (вторичных) станций.

Процедура класса S1 (посылка без ответа) не обеспечивает защиты от потери передаваемых сообщений. Это означает, что сообщение не восстанавливается, если оно забраковано приемной станцией или если приемная станция не может принять его из-за переполнения буфера памяти. Поэтому этот класс процедуры передачи применим в системах телемеханики, в которых более высокий уровень протокола передачи ответствен за защиту от потерь сообщений, либо в циклических системах с медленно меняющейся информацией, в которых слу-

чайные потери информации допустимы. Процедура S1 предусматривает использование однонаправленного (симплексного) канала связи.

Процедура класса S2 предусматривает подтверждение (квитирование) приемником предназначенной ему передачи. Применяется в системах передачи случайных, спорадически возникающих сообщений.

Квитирование может быть двух видов: положительное (КВП) и отрицательное (КВО). При КВП квитующий сигнал посылается приемником передатчику в ответ на правильно принятое сообщение, при обнаружении ошибки квитания не посылается и передатчик должен повторить сообщение. При многократном отсутствии квитирования фиксируется неисправность системы.

При КВО приемник посылает сигнал передатчику в случае обнаружения ошибки, в результате чего передатчик должен повторить передачу сообщения; при отсутствии ошибки квитания не посылается. При многократном повторении отрицательной квитанции фиксируется неисправность системы.

Процедура посылка — подтверждение применяется для передачи важных сообщений, а также команд (например, ТУ, уставки и т. п.).

Процедура класса S3 предусматривает получение информации от контролируемой станции (КП) по запросу контролирующей станции (ПУ). При невозможности (по той или иной причине) передачи сообщений КП должно ответить отрицательной квитанцией (КВО). При обнаружении ошибки при приеме ответа или при получении КВО запрос повторяется оговоренное число раз, после чего на вышестоящий уровень протокола передачи передается сигнал "неисправность системы".

Процедуры S2 и S3 предусматривают непрерывный диалог между передающей и принимающей станциями и требуют двусторонней связи между ними (дуплексные либо полудуплексные каналы). Процедура обмена информацией между станциями должна занимать "одно окно" (размер информационного окна равен 1). Это означает, что запрашиваемая станция принимает запрос на передачу новых сообщений только после успешного приема на ПУ предшествующей передачи либо после фиксации на ПУ ошибки при приеме.

Для процедуры S2 это означает, что новая посылка данных возможна лишь после того, как предшествующая передача полностью окончена, т. е. либо получена квитанция об успешном приеме данных, либо зафиксирована ошибка, требующая их повторения (после определенного интервала времени).

Для процедуры S3 запрашиваемая станция (КП) принимает запрос на передачу новых сообщений только после успешного приема запрашивающей станцией (ПУ) предшествующей передачи либо после фиксации на ПУ ошибки при приеме. Число запросов и интервал времени между последующими после ошибки передачами оговаривается специальными правилами.

С точки зрения диалоговых процедур различаются небалансные и балансные системы телемеханики.

В балансных системах любая станция может быть первичной (передающей или запрашивающей), т. е. выполнять функции КП и ПУ. В небалансных системах первичные и вторичные станции зафиксированы, обычно одна станция (ПУ) является главной (запрашивающей), остальные станции — запрашиваемые или передающие информацию (КП).

Для небалансных систем характерны многоточечные структуры с полудуплексными или дуплексными каналами связи, т. е. с разделением во времени передачи КП—ПУ. Балансные системы обычно используют структуру точка—точка и дуплексные каналы связи с независимой и одновременной передачей данных в обоих направлениях.

Кадры сообщений

Содержание и функциональное назначение сигналов, которыми обмениваются передающая и принимающая станции в системах телемеханики с многоточечной структурой, в процессе реализации того или иного класса диалоговых процедур задаются специальными служебными байтами, которые наряду с информационными байтами входят в кодовую конструкцию, образующую кадры сообщений.

Кадр сообщений состоит из следующих частей: заголовка кадра и тела кадра, которые в свою очередь подразделяются на функциональные поля, содержащие один или несколько байт (рис. 4.5). Заголовок — это начальный кодовый блок кадра, который включает поле длины кадра L , поле адреса A , поле управления данными C , поле данных D и, как всякий кодовый блок, поле контроля CS .

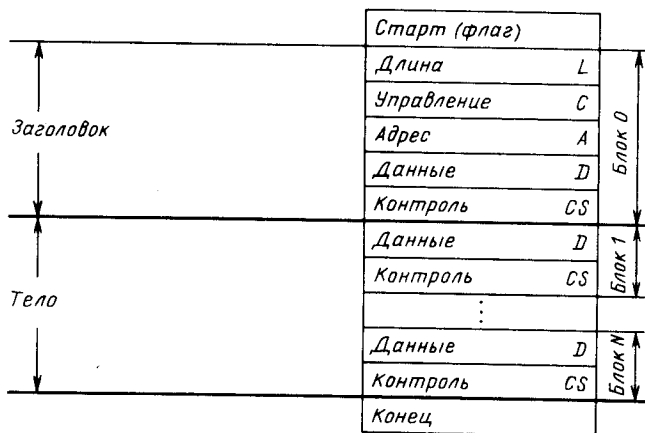


Рис. 4.5. Структура кадра сообщений

Тело кадра содержит несколько информационных блоков (в зависимости от заданной длины L), оканчивающихся байтом (или байтами) контроля CS. Кадр обрамляется байтами начала (который также именуется флагом кадра) и конца кадра. Байты начала и конца кадра выполняют функции кадровой синхронизации и контроля длительности кадра.

В процессе диалога используются так называемые полные (длинные) кадры, которые применяются для передачи данных, либо укороченные (короткие) кадры — для передачи запросов, подтверждений и т.п.

Кадры сообщений, предусмотренные стандартом МЭК, базируются на стандартных кодовых форматах FT1.2, FT2, FT3, рассмотренных в § 4.3. При этом они соответствуют классам достоверности I_2 и I_3 .

Длинный кадр на базе формата FT1.2 (с переменной длиной). В качестве слова "начало" используется байт $68H$, который повторяется в четвертом байте. Второй и третий* байты отводятся для обозначения длины L ; перед информационными байтами следуют байт управления C и байт адреса A (рис. 4.6).

Укороченный кадр формата FT1.2 начинается байтом "начало" $10H$. В качестве квитанций о приеме информации используются фиксированные байты $E5H$ либо $A2H$.

Аналогично формируются кадры на базе форматов FT2 и FT3.

Назначение полей кадра. Поле — длина L — обычно содержит один байт и обозначает число байт данных D в информационных блоках кадра (в теле кадра). Значение L лежит в пределах 0—127 либо 0—255.

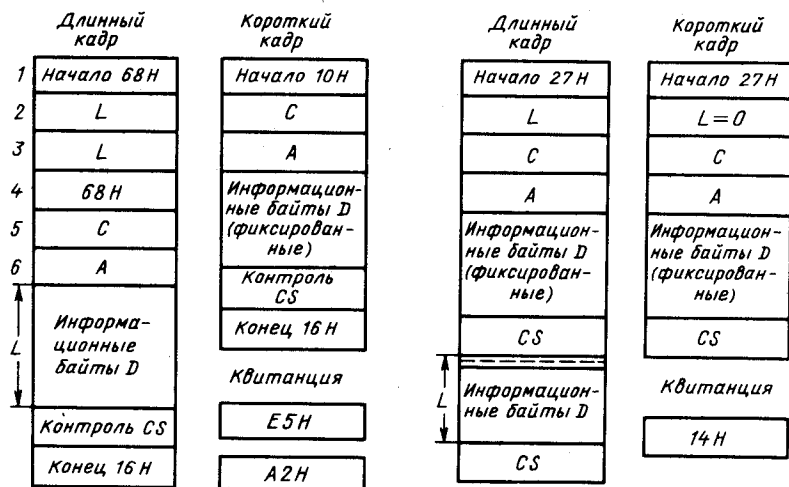
Адресное поле A кадра сообщения, посылаемого от передающей (первичной) к принимающей (вторичной) станции, содержит адрес принимающей станции (адрес назначения). Адресное поле кадра отвечающей (запрашиваемой) станции содержит адрес этой станции (адрес источника информации). Число байт адресного поля i зависит от конкретных условий применения. Число адресов составляет от 0 до $2^{8i} - 1$. Первым передается адресный байт, соответствующий наименьшему (по номеру) адресу.

Адрес, предназначаемый всем станциям (циркулярный адрес), соответствует номеру $2^{8i} - 1$.

Поле управления C содержит информацию о направлении сообщения (от первичной станции ко вторичной или наоборот), о функциональном назначении кадра, о классе диалоговых процедур ($S1$, $S2$ или $S3$), а также сигналы, обеспечивающие функции защиты от потерь и повторения сообщений (рис. 4.7).

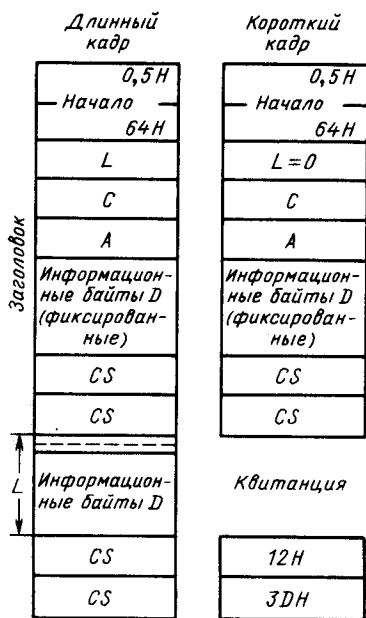
Последовательность передачи бит в линию, начиная со старшего разряда:

* Третий байт является повторением второго.



а)

б)



в)

Рис. 4.6. Кадры сообщений для стандартных кодовых форматов:

а – кадры формата FT1.2; б – кадры формата FT2; в – кадры формата FT3; L – поле длины; С – поле управления; А – поле адреса; CS – байт защиты

Резерв	1 НПР	СЧБ	ОСБ	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰	От первичной станции
	0	ТЗД	БФК	Функция				От вторичной станции
8	7	6	5	4	3	2	1	Номер бита

Рис. 4.7. Структура поля управления С

бит № 8 – резерв;

бит № 7 НПР – направление сообщения: 1 – от первичной станции ко вторичной, 0 – от вторичной к первичной;

бит № 6 НПР = 1, СЧБ – счетный бит; чередующиеся значения 0, 1 при успешной операции посылка – квитанция или запрос – ответ для данной станции. Предназначен для защиты от потерь и дублирующих (повторных) посылок сообщений. Первичная станция при каждой новой процедуре посылка–квитанция или запрос–ответ чередует значение СЧБ. Тем самым первичная станция как бы сохраняет копию номера посылки (четного–нечетного) до ее квитанции или ответа со стороны вторичной станции. Если ответ или подтверждение (квитанция) отсутствуют, то новая посылка посылается с тем же значением СЧБ;

бит № 5 НПР = 1, ОСБ – отмена функции счетного бита: если ОСБ равна 0, функция СЧБ отменяется (т. е. не следует ожидать перемены бита СЧБ); при ОСБ равной 1 функция смены бита СЧБ действует.

В случае посылки команды "установка в 0" (RESET) (табл. 4.10, код № 0,1) значение СЧБ всегда 0 и ОСБ равна 0.

Для класса процедуры S1 (посылка, не требующая ответа) для циркулярных сообщений и др., т. е. для процедур, в которых не контролируются потери или дублированные сообщения, изменение счетного бита не контролируется и ОСБ является свободным битом;

бит № 6 НПР = 0, ТЗД – бит требования запроса данных. Предусматривается два класса данных (по приоритету передачи): класс 1 и класс 2. Передается от вторичной станции при наличии у нее данных класса 1. При процедуре S3 бит ТЗД равен 1, если вторичная станция располагает данными класса 1 и готова их передать. При процедуре S2 ТЗД = 1 означает, что вторичная станция хочет получить от первичной данные 1-го класса и запрашивает их. При ТЗД = 0 соответственно речь идет о данных не 1-го класса. К данным 1-го класса относятся случайные эпизодические сообщения (например, ТС) или другие важнейшие данные. К данным класса 2 могут быть отнесены циклические ТИ или данные с низким приоритетом;

бит № 5 НПР = 0, БФК – контроль переполнения приемного буфера. БФК = 0 означает, что прием сообщений станцией возможен. БФК = 1 указывает, что прием сообщений невозможен ввиду переполнения буфера.

**Таблица 4.10. Функциональные коды для поля управления С.
Передача от первичной станции (НПР = 1)**

Номер кода	Код	Диалоговые процедуры (класс)	Назначение функционального кода	Значение бита ОСБ
0	0000	Посылка с подтверждением (S2)	Установка в 0 устройств канала (RESET)	0
1	0001	То же	Установка в 0 устройств пользователя	0
2	0010	То же	Резерв для балансной процедуры точка-точка	-
3	0011	То же	Информационные данные D	1
4	0100	Посылка, не требующая ответа (S1)	Информационные данные D	0
5	0101	-	Резерв по согласованию с заказчиком	-
6	0110	-		
7	0111	-		
8	1000	Запрос-ответ (S3)	Запрос наличия данных на вторичной станции	0
9	1001	То же	Запрос состояния канала связи	0
10	1010	То же	Запрос данных 1-го класса	1
11	1011	То же	Запрос данных 2-го класса	1
12-15	1100	-	Резерв по согласованию с заказчиком	-
	1101			
	1110			
	1111			

**Таблица 4.11. Функциональные коды поля управления С.
Передача от вторичной станции (НПР = 0)**

Номер кода	Элемент диалоговой процедуры	Назначение функционального кода
0	Квитанция	Положительное подтверждение (положительная квитанция) - КВП
1	Квитанция	Отрицательное подтверждение (отрицательная квитанция) - КВО
2-5	-	Резерв по согласованию с пользователем
6-7	-	
8	Ответ	Ответ-сообщение (информационные данные)
9	Ответ	Отрицательное сообщение: требуемые данные не готовы к передаче
10	Ответ	Отрицательное сообщение: требуемые данные не могут быть переданы
11	Ответ	Состояние канала связи или наличие данных для передачи
12-13	-	Резерв по согласованию с пользователем
14-15	-	

Коды функционального назначения поля управления (функция) образуются четырьмя битами контрольного поля (№ 1, 2, 3, 4), определяют класс диалоговой процедуры и функциональное назначение сообщения (табл. 4.10 и 4.11).

Диалоговые процедуры и сигналы обмена между канальным и пользовательским уровнями протокола передачи сообщений

Стандартом МЭК рекомендуется определенное соответствие между диалоговыми процедурами передачи сообщений (канальный уровень) и сигналами обмена канального и пользовательского уровней на КП и ПУ.

Выделяются следующие четыре вида сигналов между канальным и пользовательским уровнями:

заказ – ЗАК (S_i): сигнал от пользовательского уровня к канальному с заказом определенного класса процедуры передачи – S_1 , S_2 или S_3 ;

уведомление от канала – УВК: сигнал от канального уровня к пользовательскому о завершении процедуры по предшествующему заказу. Лишь после получения УВК пользователь может послать следующий ЗАК;

разрешение исполнения – РИ: сигнал от канального уровня к пользовательскому о готовности принятых данных к использованию;

уведомление от пользователя – УВП: сигнал от пользователя о завершении приема предшествующего сообщения с канального уровня.

На рис. 4.8 представлены схемы обмена сигналами между канальными и пользовательскими уровнями при различных диалоговых процедурах.

Процедура передачи посылка без ответа – класс S_1

а) Сигналы между пользовательскими и канальными уровнями (первичная процедура)

Первичная станция. От пользовательского уровня посылается сигнал ЗАК (S_1) на установку процедуры S_1 в канале связи. Если канальный уровень не способен осуществлять передачу сообщений (неисправность модема или неисправность передатчика и т. п.), то он уведомляет об этом пользовательский уровень сигналом уведомления УВК (отрицательная квитанция).

Вторичная станция. При правильном приеме сообщения (без обнаружения ошибок) канальный уровень посылает сигнал "разрешение исполнения принятых данных" РИ (D), означающий, что пользователь может использовать полученные данные. После завершения приема сообщения пользователь может уведомить об этом канальный уровень сигналом уведомления УВП.

б) Сигналы передачи по каналу связи (интерфейс канал–канал)

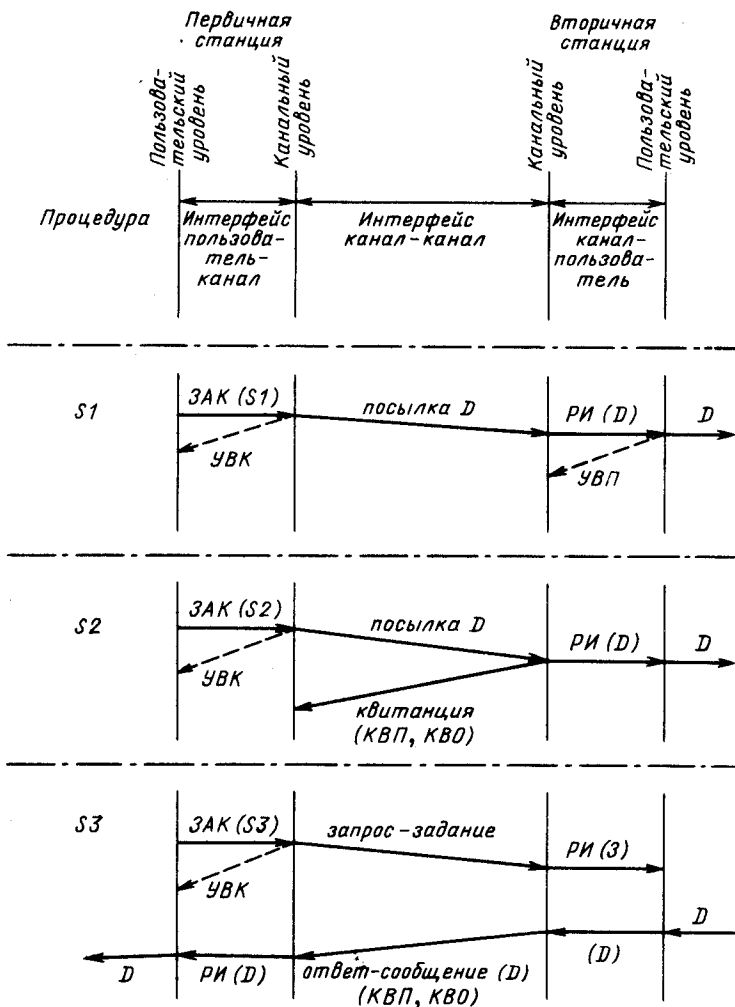


Рис. 4.8. Диалоговые процедуры и сигналы обмена между уровнями протокола передачи сообщений

В канал посылается кадр (посылка D) с функциональным кодом в поле управления № 4 (0100), соответствующий классу процедуры S_1 (см. табл. 4.10), и информационными данными D . Между посылками очередных кадров необходимо выдерживать интервал спокойного состояния L в соответствии с выбранными кодовыми форматами FT1.2, FT2 или FT3 (см. § 4.4). Принимающая станция сохраняет принятый кадр в буфере.

Процедуры передачи посылка—подтверждение — класс S2

а) Сигналы между пользовательским и канальным уровнями

Первичная станция. От пользовательского уровня поступает сигнал ЗАК (S2) на выполнение процедуры S2 с указанием числа повторных посылок данных в случае неуспешной передачи (отсутствие квитанции). Если канальный уровень не в порядке (неисправности модема или передатчика и т. п.), то он сразу же уведомляет об этом пользовательский уровень уведомлением УВК (отрицательная квитанция). Если посылка данных по каналу оказывается неуспешной, о чем вторичная станция сообщает первичной соответствующей квитанцией, то канальный уровень передает пользовательскому уровню отрицательную квитанцию УВК. Это же уведомление передается пользователю, если процедура передачи данных оказывается неуспешной после заданного числа повторений (попыток).

Вторичная (квитирующая) станция. Сигнал РИ (D) от канального уровня означает, что прием данных D прошел правильно (без ошибок) и пользователь может ими воспользоваться. Сигнал РИ(D) не выдается, если новая посылка получена ранее установленного времени исполнения предшествующего сообщения. Разрешение на выдачу РИ(D) может производиться специальным сигналом от пользовательского уровня УВП, сообщающим об освобождении пользователя для приема нового кадра данных (на рис. 4.8 этот сигнал не обозначен).

б) Сигналы передачи по каналу связи

По каналу связи от первичной станции посылается кадр сообщения с функциональным кодом в поле управления, соответствующим процедуре S2 (см. табл. 4.10, коды № 0—3), если предшествующая передача завершена. При успешном приеме данных вторичная станция отвечает положительной квитанцией (КВП). При неприеме данных, например из-за переполнения буфера памяти, от вторичной станции посылается отрицательная квитанция (КВО) (см. табл. 4.11, коды № 0, 1).

Защита от потери и от дублирования (повтора) сообщений. Первичная станция отмечает посылку каждого нового кадра сообщений сменной значения счетного бита СЧБ (0 → 1 или 1 → 0). Процедура передачи сообщения оканчивается, когда первичная станция получает неискаженную положительную квитанцию от вторичной станции. Если квитанция искажается или вообще отсутствует, то посылка данных D от первичной станции повторяется с неизменным значением СЧБ. Максимальное число повторений задается на пользовательском уровне сигналом ЗАК (S2).

Вторичная станция запоминает значение полученного счетного бита СЧБ и посланную квитанцию к первичной станции. Если значение бита СЧБ в следующем кадре изменилось (что означает передачу новых данных), то записанная квитанция (или ответное сообщение) стирается и может быть заменена новой. Передача записанной в памяти вторичной станции квитанции (или ответные сообщения) повторяется, если вновь принятые данные содержат ошибку.

а) Сигналы между пользовательским и канальным уровнями

Первичная (запрашивающая) станция. От пользовательского уровня поступает заказ ЗАК (S3) на процедуру S3 с указанием числа повторных запросов. Если канал не может (по тем или иным причинам) передать запрос, то пользователю немедленно выдается уведомление УВК (отрицательная квитанция). Канальный уровень передает кадр запрос, если предыдущая процедура запрос—ответ закончена.

Если процедура запрос—ответ заканчивается успешно, то канальный уровень выдает пользовательскому уровню запрашиваемые данные в сопровождении сигнала РИ(D).

При получении отрицательного ответа от вторичной станции (когда запрашиваемые данные не могут быть переданы) канальный уровень выдает пользовательскому сигнал УВК (отрицательную квитанцию). Этот же сигнал УВК передается при неуспешных запросах, повторяемых оговоренное число раз.

Вторичная (запрашиваемая) станция. Если запрос принять без ошибки, то канальный уровень выдает на пользовательский уровень сигнал РИ(З), после которого запрашиваемые данные D поступают в канал для передачи ответа — сообщения.

б) Сигналы передачи по каналу связи

В канал от запрашивающей станции посылается кадр запрос — задание, соответствующий процедуре запрос—ответ с функциональным кодом № 8—11 в поле управления (см. табл. 4.10), если окончена предшествующая процедура запроса.

По получении кадра запрос—задание вторичная станция посылает: либо ответ-сообщение (D), если запрашиваемые данные готовы, либо отрицательную квитанцию (КВО) в поле управления ответного кадра, если данные не готовы (см. табл. 4.11, код № 9), либо отрицательную квитанцию в виде отдельного фиксированного байта (либо нескольких байт) при обнаружении ошибки при запросе (см. рис. 4.6).

Защита от потерь и повторных сообщений. Первичная станция отмечает каждый новый кадр процедуры запрос—ответ сменой значения счетного бита (0 → 1, 1 → 0). Если предшествующий кадр окончился неуспешно (т. е. вместо запрашиваемых данных пришла отрицательная квитанция), то кадр запрос задания повторяется с прежним значением бита СЧБ.

Вторичная станция принимает счетный бит СЧБ и запоминает его в буферной памяти, так же как и посланный ответ данных. Если новый кадр запроса приходит с изменившимся значением СЧБ, то вторичная станция отвечает новыми запрашиваемыми данными и буферная память перезаписывается. Однако если запрос пришел с тем же значением СЧБ, то посланный ранее ответ данных D повторяется.

Процедура класса S3 применяется для целей сбора данных с рассредоточенных КП (вторичных станций). При общем (циркулярном) запросе КП используется кадр запроса постоянной длины. При индивидуальном запросе кадр запроса должен содержать адреса КП и вид запрашиваемой информации.

4.8. ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДИАЛоговых ПРОЦЕДУР

В реальных многоточечных структурах систем телемеханики могут одновременно использоваться диалоговые процедуры различных классов. В качестве примера на рис. 4.9 представлена диаграмма, иллюстрирующая процедуру обмена данными в многоточечной структуре, с одной главной станцией и n периферийными станциями.

Главная станция A выполняет роль первичной, посылает данные к вторичным станциям B_i ($i = 1 \div n$), используя процедуру S2 – посылка с подтверждением (квитанцией).

Положим, что вторичные станции B_1 и B_2 приняли данные от станции A правильно и подтверждают это положительными квитанциями КВП (специально выделенный байт E5H в формате FT1.2, 14H в формате FT2, два байта 12H и 3DH в формате FT3). Посылка данных на станцию B_n требует более подробного ответа (например, при посылке команды ТУ требуется получить подтверждение приема посланной команды). При этом от станции B_n следует подтверждение в виде короткого кадра фиксированной длины (см. рис. 4.6), в котором содержится адрес вторичной станции и данные о принятой команде.

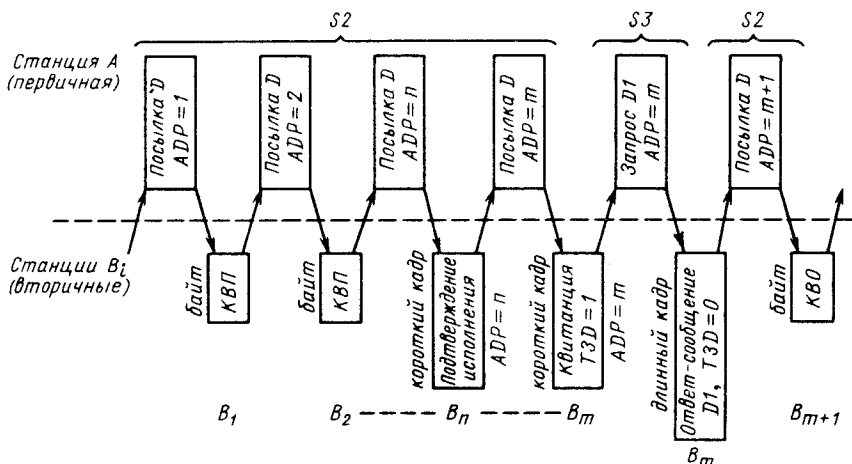


Рис. 4.9. Диалоговые процедуры S2 и S3

Затем следует посылка данных от станции A по адресу B_m ($ADP = m$). Ответ от B_m также осуществляется коротким кадром, в котором кроме подтверждения правильности приема данных от станции A содержится сообщение, что станция B_m имеет данные 1-го класса, которые необходимо срочно передать на станцию A . Для этой цели в байте управления от B_m к A посылается бит $T3D$ о наличии на станции B_m данных 1-го класса (приоритета). Получив это сообщение, станция A переходит в режим диалоговой процедуры S3 — запрос—ответ: станция A посылает кадр запроса данных 1-го класса (код № 10 в табл. 4.10), а станция B_m отвечает полным кадром "ответ" с данными 1-го класса. После приема этого кадра станция A еще раз повторяет запрос с адресом B_m , и так продолжается до тех пор, пока станция B_m в своем ответе сообщит, что больше данных 1-го класса не имеет (бит $T3D = 0$ в байте управления).

Если посылка данных D от первичной станции принята правильно, но не может быть передана пользователю из-за переполнения буфера памяти вторичной станции, то она отвечает однобайтной отрицательной квитанцией (КВО). Эта ситуация иллюстрируется на рис. 4.9 для станции B_{m+1} (процедура S2).

На рис. 4.10 иллюстрируется процедура S2 при обнаружении ошибок при передаче данных (по отсутствию ответа от вторичной станции).

При отсутствии ответа в течение оговоренного времени первичная станция повторяет посылку D с неизменным битом СЧБ (например, $СЧБ = 1$) по прежнему адресу вторичной станции (например, B_1).

Если квитанция от вторичной станции (например, B_n) повреждается при передаче, то первичная станция через некоторое время t также

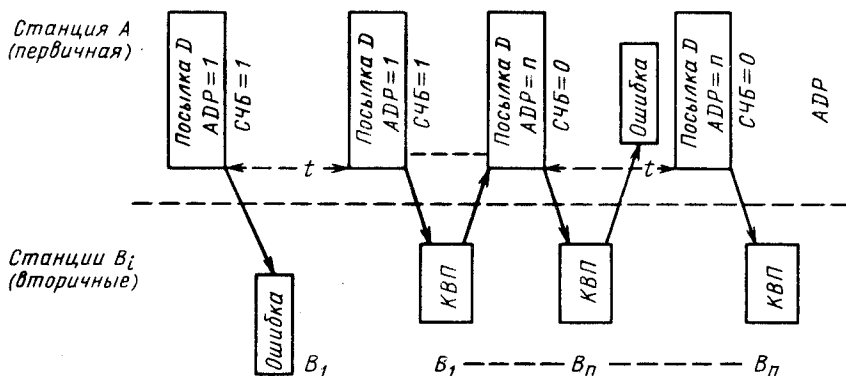


Рис. 4.10. Ошибка при передаче посылки данных и приеме квитанции в процедуре S2

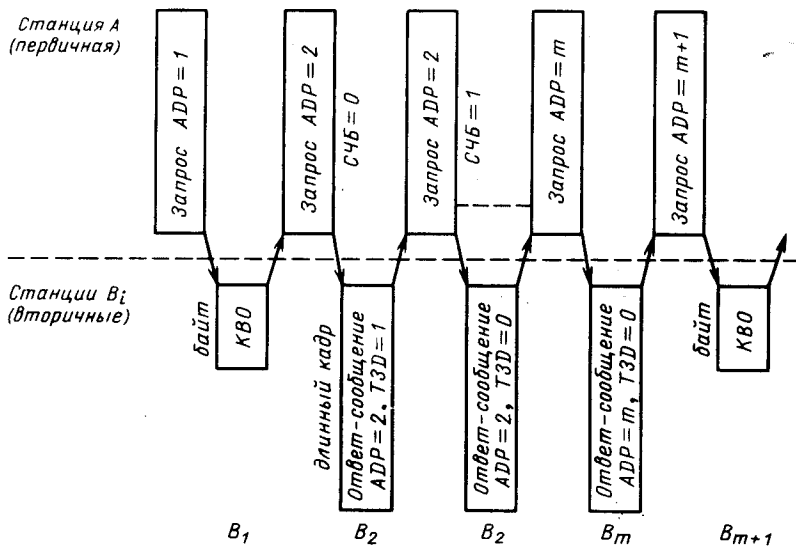


Рис. 4.11. Диалоговая процедура S3—запрос—ответ

повторяет посылку D по прежнему адресу ($ADP = n$) с неизменным счетным битом (например, СЧБ = 0). Станция B_n , вновь получив данные с СЧБ = 0, определяет, что ее квитанция (подтверждение приема) не принята, т. е. процедура S2 оказалась неуспешной, и повторяет предыдущий ответ еще раз.

Число повторных посылок-ответов задается заранее и является параметром диалоговой процедуры.

На рис. 4.11 иллюстрируется диалоговая процедура S3 — запрос—ответ при наличии и отсутствии новых данных на вторичных (запрашиваемых) станциях. На станциях B_1 и B_{m+1} нет новых данных, и они отвечают отрицательной однобайтной квитанцией КВО. На станции B_2 имеются данные 1-го класса, и она опрашивается дважды, пока все данные D_1 1-го класса не будут переданы, что подтверждается наличием в поле управления кадра ответ—сообщение станции B_2 бита $T3D = 0$. На станции B_m нет данных 1-го класса, но есть новые данные, которые и передаются в ответе—сообщении с $T3D = 0$.

На рис. 4.12 иллюстрируется процесс диалоговой процедуры S3 при обнаружении ошибок при передаче запроса и получении ответа. При посылке *Запрос* на вторичную станцию B_1 ($ADP = 1$) произошла ошибка, т. е. станция не приняла запроса и, естественно, не ответила. Тогда станция А по истечении некоторого времени t посылает вторично *Запрос* с тем же адресом $ADP = 1$ и тем же счетным битом СЧБ = 1. Если этот *Запрос* проходит успешно, то следует *ответ—сообщение*, который принимается станцией А, и процедура S3 со станцией B_1

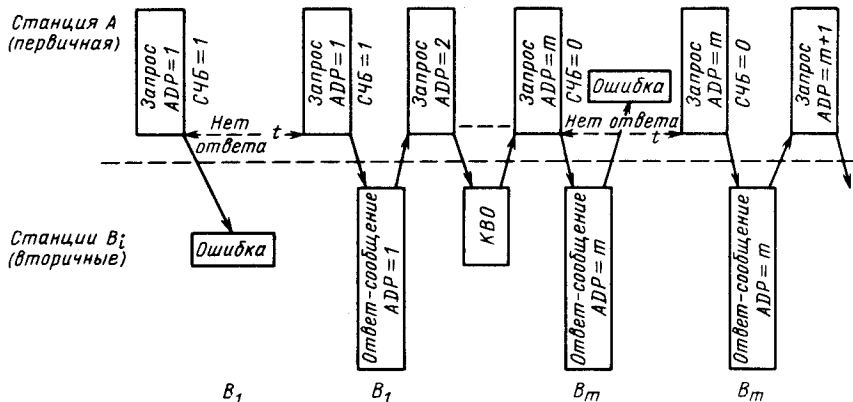


Рис. 4.12. Ошибки при запросе и ответе в процедуре S3

заканчивается. При запросе станции B_m (по адресу $ADP = m$) обнаруживается ошибка при приеме *Ответа*, станция A через некоторое время повторяет *Запрос* с неизменным СЧБ = 0 и станция B_m повторяет *Ответ* с теми же данными, которые раньше не были приняты станцией A . Повторение данных происходит по признаку необновленного счетного бита (СЧБ = 0). Число повторений является параметром диалоговой процедуры.

Глава пятая

МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕХАНИКИ

5.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Новый этап развития телемеханики характеризуется разработкой и широким внедрением программируемых телекомплексов, построенных по принципу микроЭВМ на программируемых микросхемах. Роль центрального программного устройства в таких телекомплексах выполняют либо универсальные, либо специализированные микроЭВМ на микропроцессорных модулях, ориентированные на выполнение телемеханических функций.

Принципиальное отличие микропроцессорных систем от традиционных систем телемеханики предыдущего поколения (на интегральных микросхемах низкого и среднего уровня интеграции) состоит в том, что функции и параметры микропроцессорных систем задаются программными средствами при неизменной электрической схеме и конструкции устройств.

Возможность изменения функционального назначения и параметров системы программным путем существенно повышает гибкость и универсальность систем на различных объектах управления, снижает затраты на производство аппаратуры, облегчает адаптацию системы к изменяющимся условиям эксплуатации и т. п.

Микропроцессорные телекомплексы позволяют реализовать значительно более широкие функции по сбору, передаче и обработке телеинформации, чем традиционные телемеханические системы. Так, на базе микропроцессорных устройств на уровне диспетчерских пунктов (ДП) выполняются центральные приемо-передающие станции (ЦСТ), осуществляющие сбор информации по каналам связи с множества контролируемых пунктов (КП) и информационный обмен с ЦСТ смежных и вышестоящих уровней диспетчерского управления. В функции ЦСТ кроме традиционных телемеханических задач входят также телеобработка данных, управление средствами отображения индивидуального и общего пользования, слежение за пределами изменения параметров, достоверизация, регистрация, хранение данных, формирование схем, таблиц, ведомостей в виде, удобном для оперативного использования диспетчерским персоналом.

Программным путем реализуются различные адаптивные алгоритмы передачи информации, повышающие эффективность использования каналов связи и обеспечивающие гибкие приоритеты передачи сообщений. Эти алгоритмы реализуются как на уровне КП при обработке первичных параметров ТИ и ТС, так и на уровне ДП при ретрансляции информации на вышестоящие уровни управления и при вводе данных в ЭВМ оперативно-информационного комплекса.

Благодаря применению программируемых микропроцессорных элементов устройства КП приобретают свойства так называемых интеллектуальных терминалов, которые занимают канал передачи информации только при необходимости (изменение состояния ТС, нарушения заданных пределов изменения ТИ и т. п.).

В микропроцессорных системах достаточно просто реализуется принцип самотестирования аппаратуры, включая аппаратуру каналов связи. При этом могут быть обеспечены непрерывный контроль исправности телекомплекса и регистрация статистических данных по повреждаемости его элементов. Для обеспечения высокой надежности работы телекомплекса его центральная часть выполняется в виде сдвоенной микроЭВМ, обеспечивающей 100%-ный резерв. Каждая микроЭВМ рассчитана на выполнение полного объема задач телекомплекса. В нормальном режиме микроЭВМ могут работать независимо друг от друга. При выходе из строя одной из машин другая берет на себя весь объем обработки. Аппаратура телекомплекса должна быть рассчитана на непрерывный режим работы без постоянного обслуживания, с автоматическим перезапуском системы после восстановления питания, устранения повреждений каналов связи, самопроизвольного заклинивания про-

грамм и т. п. Условия эксплуатации телекомплексов должны соответствовать требованиям стандартов на устройства телемеханики.

Важной особенностью микропроцессорных телекомплексов является возможность совместимости ЦСТ на программном уровне с устройствами телемеханики различных типов. Это дает возможность использования на объектах существующих устройств ТМ и поэтапной их замены на интеллектуальные терминалы.

Структура микропроцессорных телекомплексов

Микропроцессорный телекомплекс (МТК), как и любая система телемеханики, состоит из устройств, расположенных в пунктах управления (устройства ДП) и на объектах контроля и управления (устройства КП). Основным устройством ДП является центральная приемопередающая станция (ЦСТ), к которой сходятся каналы связи от всех КП телекомплекса, на которых расположены периферийные станции (ПСТ) системы. В зависимости от конфигурации, образованной каналом связи и устройствами ДП (ЦСТ) и КП (ПСТ), различаются следующие структуры* МТК (см. рис. В.3):

структура точка—точка;

многоточечная радиальная структура один—один (с одновременным обменом ЦСТ—ПСТ);

многоточечная радиальная структура один— N (с последовательным во времени обменом ЦСТ—ПСТ);

многоточечная магистральная структура;

многоточечная кольцевая структура;

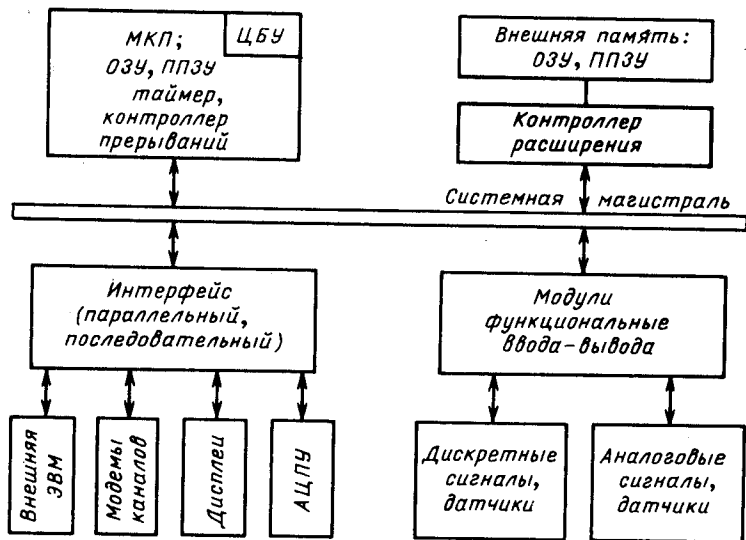
структура "каждый с каждым".

Телекомплекс может объединять несколько видов структур, образуя смешанную иерархическую структуру, содержащую несколько ЦСТ и ПСТ.

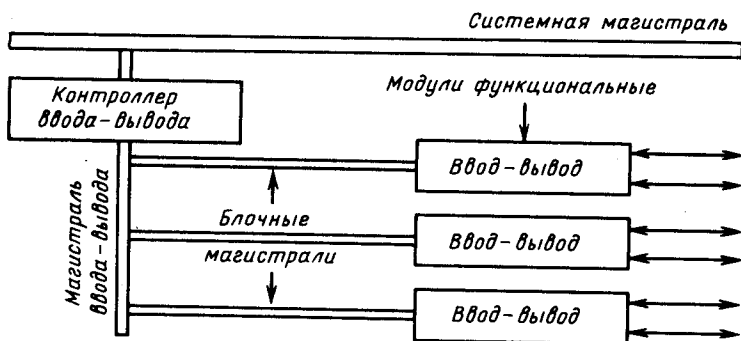
Центральная часть ЦСТ представляет собой микроЭВМ с магистральной-блочной структурой. Центральный блок управления (ЦБУ) содержит модуль микропроцессора (МКП) с элементами оперативной (ОЗУ) и программируемой постоянной (ППЗУ) памяти, элементами прерывания, системного контроллера, таймером и т. п. (рис. 5.1). В некоторых телекомплексах роль ЦБУ выполняет стандартная встроенная микроЭВМ либо внешняя микроЭВМ (а иногда и мини-ЭВМ). Примерами МТК со встроенными микроЭВМ являются ГРАНИТ [31], а с внешней микроЭВМ — GEADAT-81 (см. § 5.3).

Микропроцессорный модуль управляет системной магистралью, к которой подключаются: модули дополнительной внешней памяти ОЗУ и ППЗУ (через соответствующий контроллер расширения) в количест-

* Классификация структур дана в соответствии с [1] и [41, публикация 870.1.1].



а)



б)

Рис. 5.1. Обобщенная структура микропроцессорных телекомплексов (МТК):
 а – с единой системной магистралью; б – с вторичными (блочными) магистралями ввода-вывод; ЦБУ – центральный блок управления; МКП – модуль микропроцессора; ОЗУ, ППЗУ – модули оперативной и перепрограммируемой постоянной памяти

ве, определяемом требуемой функциональной емкостью, модули интерфейса (параллельного, последовательного) для подключения внешней ЭВМ, каналов связи (модемов), дисплеев, АЦПУ и функциональные модули ввода-вывода технологического назначения (ТУ, ТИ, ТС и т. п.).

По способу подсоединения модулей ввода-вывода к системной магистрали могут быть выделены две структуры: микроЭВМ с единой

системной магистралью и с вторичной магистралью ввода—вывода. В первой структуре (рис. 5.1, а) модули ввода—вывода присоединяются непосредственно к общей системной магистрали. Такая структура при значительном числе модулей требует специальных расширителей магистрали для компенсации запаздывания сигналов с увеличением протяженности магистрали. Примером структуры с единой магистралью является ЦСТ, построенная на базе микроЭВМ СМ-1800.

Наиболее распространенной для МТК является структура с выделенными вторичными блочными магистралями ввода—вывода, которые через общую магистраль ввода—вывода подсоединяются к системной магистрали (рис. 5.1, б). Вторичные магистрали организуются в пределах конструктивного блока с набором определенного числа функциональных модулей ввода—вывода. Эти магистрали обеспечивают возможность удаления отдельных внешних устройств на значительные расстояния (десятки и сотни метров) от ЦБУ. Для большей помехозащищенности на вторичных магистралях ввода—вывода устанавливается повышенное напряжение сигналов (по сравнению с системной магистралью).

В состав телекомплексов входит ограниченный набор функциональных (технологических) модулей ввода—вывода, обеспечивающих сопряжение станций с контролируемым процессом на КП и средствами управления и отображения информации на ПУ.

Периферийные станции телекомплексов могут выполняться либо в виде программируемых (интеллектуальных) устройств, либо в виде устройств с жесткой логикой (неинтеллектуальные КП). В первом случае общая структурная схема для ЦСТ и ПСТ совпадает и станции отличаются лишь объемом памяти и набором функциональных модулей ввода—вывода и внешнего интерфейса. Неинтеллектуальные ПСТ предназначены преимущественно для необслуживаемых КП со сложными метеорологическими условиями.

5.2. МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ АДАПТИВНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА АИСТ

Общая характеристика системы [30]

Назначение. Система АИСТ является телеинформационно-управляющей системой для диспетчерского управления производством и распределением электроэнергии в энергосистемах. Основная область применения — диспетчерские пункты энергосистем и предприятий электросетей и связанные с ними крупные электростанции и высоковольтные подстанции (35 кВ и выше). Система АИСТ может также применяться при телемеханизации управления электроснабжением крупных промышленных предприятий, магистральными водо-, газо- и нефтепроводами и другими промышленными объектами.

Аппаратура системы АИСТ должна использоваться в комплексе с техническими устройствами, обеспечивающими сбор оперативной информации на контролируемых пунктах (КП), передачу по каналам связи, обработку, отображение и регистрацию полученной информации на пункте управления (ПУ), а также посылку команд телеуправления с ПУ и реализацию их на КП.

К таким устройствам относятся: автоматические датчики информации, аппаратура каналов связи, средства отображения общего и индивидуального пользования (диспетчерский щит с мнемосхемами, сигнальными символами, указывающими приборами, дисплей), аппаратура управления (командно-квитирующие ключи на пульте, аппаратура телеуправления на КП).

Структура системы. Система состоит из аппаратов пунктов управления (АПУ) и контролируемых пунктов (АКП). При этом подключение аппаратов КП предусматривается по многоточечной радиальной структуре ("один- N ") и многоточечной магистральной структуре. Возможна и смешанная (кустовая) структура.

Многоточечная радиальная структура (рис. 5.2, а) обеспечивает непрерывный взаимонезависимый обмен информацией между пунктом управления и каждым пунктом по радиальным каналам связи "точка-точка". В качестве КП могут использоваться как аппараты КП системы АИСТ (АКП АИСТ), так и приемо-передающие устройства телемеханики различных типов. Каждый АКП АИСТ может передавать информацию на несколько (до четырех) направлений.

Многоточечная магистральная и смешанная структуры (рис. 5.2, б) обеспечивают поочередный обмен информацией между ПУ и КП, объединенными общим магистральным каналом связи, и независимый обмен между ПУ и каждым КП, имеющим радиальные каналы связи.

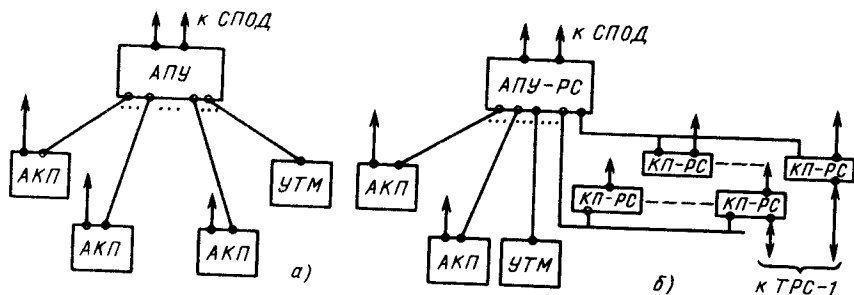


Рис. 5.2. Структура системы АИСТ:

а - радиальная многоточечная структура; б - смешанная радиально-магистральная структура; АПУ - аппарат пункта управления; АКП - аппарат контролируемого пункта; АПУ-РС, КП-РС - аппараты ПУ и КП для распределительных сетей; УТМ - устройство телемеханики; ТРС-1 - УТМ для распределительных сетей 10 кВ

Магистральная и смешанная структуры чаще встречаются на уровнях диспетчерского управления распределительными электрическими сетями (ДП ПЭС и РЭС). Поэтому соответствующая модификация аппаратуры системы АИСТ обозначается АИСТ-РС.

Каждая магистраль взаимонезависима. Аппарат КП-РС может работать на два независимых направления.

Подсоединение аппаратуры ПУ и КП к модемам каналов связи производится через канальные адаптеры, представляющие собой одноплатные микроЭВМ. Программа, записанная в ППЗУ канальных адаптеров, обеспечивает протокол обмена информацией по заданной структуре канала (радиальная или магистральная). Скорость передачи информации при радиальной структуре может устанавливаться равной 50, 100, 200, 300, 600 или 1200 Бод, при магистральной — 50, 100, 200 Бод. Всего в аппарате ПУ располагается до восьми канальных адаптеров. Таким образом, если один КА программируется по магистральной структуре, а остальные семь — по радиальной, то к каждому ПУ могут быть подключены до 32 КП-РС и 28 АКП; если два КА по магистральной структуре — то до 64 КП-РС и 24 АКП и т. д.

Аппаратура системы АИСТ сопрягается по каналам связи с приемопередающими станциями системы передачи оперативных данных (СПОД), выполняемых на базе микроЭВМ типа РПТ (производства ВНР) и типа СМ-1800, образуя с ними *многоуровневую телеинформационно-управляющую систему*. В этой многоуровневой системе аппаратура АИСТ АПУ наряду с микроЭВМ РПТ и СМ-1800 выполняет функции центральных приемопередающих станций, устанавливаемых на диспетчерских пунктах соответствующих уровней управления, а аппаратура АИСТ АКП — функции интеллектуальных периферийных станций, устанавливаемых на энергообъектах.

Аппаратура ПУ имеет выход на дисплей и мини-ЭВМ по параллельному или последовательному интерфейсу. Скорость передачи информации в мини-ЭВМ в последовательной форме составляет 9600 бит/с.

Аппаратура КП-РС сопрягается через специально предусмотренный параллельный интерфейс с устройством ТРС-1, выпускаемым заводом "Электропульт" (г. Ленинград) и обеспечивающим телеконтроль и телеуправление объектами распределительной сети 6–10 кВ.

Принципы функционирования системы АИСТ. Центральные аппараты системы АИСТ построены по принципу *многопроцессорных микроЭВМ*. Выполнение всех функций системы, а также заданных объемов и видов передаваемой информации обеспечивается соответствующими программами без изменения электронной схемы устройств.

В системе реализован принцип совместимости с устройствами и аппаратами телемеханики, находящимися в эксплуатации. В качестве периферийных станций могут использоваться как АКП системы АИСТ, так и полуккомплекты КП устройств телемеханики различных типов (МКТ-1, МКТ-2, ТМ-512, ТМ-800 и др.).

При замене УТМ требуется изменить программу обмена информацией в соответствующем канальном адаптере ЦСТ. ЦСТ системы АИСТ может ретранслировать информацию как в аналогичную станцию на базе АПУ АИСТ, так и в ЦСТ на базе микроЭВМ РПТ-70, РПТ-80 или СМ-1800. Принцип совместимости очень важен для внедрения в эксплуатацию системы АИСТ в условиях существующей системы сбора телеинформации, так как обеспечивает возможность поэтапного перехода к новой системе без перерыва информационного обеспечения.

В системе АИСТ осуществлен принцип *интеллектуальных терминалов*. Периферийная станция сама принимает решение о необходимости передачи в ЦСТ тех или иных сообщений в зависимости от состояния контролируемых процессов в текущий момент времени. Тем самым исключается передача излишней рутинной информации, повышается эффективность использования каналов связи, снижается загрузка ЦСТ и мини-ЭВМ, обрабатывающей телеинформацию. Система, обладающая свойством приспособляемости к текущей ситуации, называется *адаптивной*, а метод передачи информации в такой системе — *адаптивным*. Реализация адаптивного метода передачи определяется соответствующей программой.

Резервирование центральных станций и каналов связи. В системе АИСТ все периферийные станции, располагаемые на различных КП, обслуживаются общей центральной станцией (ЦСТ). Выход из строя центрального аппарата ЦСТ может привести к нарушению информационного обеспечения всего ПУ. Поэтому предусмотрено дублирование аппарата АИСТ АПУ. Оба аппарата нормально находятся в работе. Ввод информации в ЭВМ и ретрансляция на верхний уровень ведутся с одного из аппаратов ПУ. В случае его повреждения производится автоматическое переключение на другой АПУ.

Каналы связи от ПСТ к ЦСТ, как правило, также дублированы. Обмен информацией ведется по основному каналу, при неисправности которого приемное устройство в ЦСТ автоматически переключается на резервный канал.

Состав технических средств системы АИСТ

В состав технических средств системы АИСТ входят следующие аппараты:

центральный аппарат пункта управления — АПУ;
центральный аппарат контролируемого пункта — АКП (радиальная структура);

аппарат контролируемого пункта — КП-РС (магистральная структура);

периферийные аппараты:

ТИС 16/64 — аппарат ввода 16 аналоговых величин ТИ и 64 бит дискретной информации;

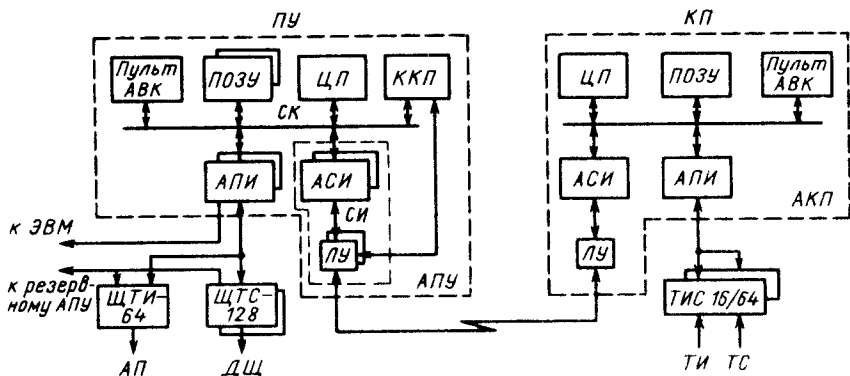


Рис. 5.3. Структурные схемы аппаратов ПУ и КП системы АИСТ:

АПУ – центральный аппарат пункта управления; *АКП* – центральный аппарат контролируемого пункта; *СК* – спецконтроллер; *ЦП* – центральный процессор; *ПОЗУ* – узлы постоянной и оперативной памяти; *АВК* – блок визуального контроля; *ККП* – контроль канала и программатор; *АПИ* – адаптер параллельного интерфейса; *АСИ* – адаптер последовательного (серийного) интерфейса; *СИ* – модуль связанного интерфейса; *ЛУ* – линейный узел; *ТИС 16/64* – периферийный аппарат ввода ТИ и ТС на КП; *ЩТИ-64* – периферийный аппарат (кассета) вывода ТИ на аналоговые приборы (АП); *ЩТС-128* – периферийный аппарат вывода сигналов ТС на диспетчерский щит (ДС)

ЩТС-128 – аппарат вывода 128 сигналов ТС;

ЩТИ-64 – аппарат вывода 64 аналоговых ТИ;

РТУ-16 – аппарат выходных реле телеуправления.

Центральный аппарат *АПУ* и соответствующие периферийные аппараты образуют центральную станцию (ЦСТ) АИСТ. Центральный аппарат *АКП* с соответствующими периферийными аппаратами образует периферийную интеллектуальную станцию (ПИСТ).

Структурные схемы аппаратов ПУ и КП системы АИСТ приведены на рис. 5.3.

Центральные аппараты *АПУ* и *АКП* содержат в своем составе спецконтроллеры СК, выполненные по принципу микроЭВМ,

Принцип работы аппаратов *АПУ* и *АКП* основан на программируемости всех выполняемых ими функций. Программы работы *АПУ* и *АКП* физически размещены в ПЗУ их спецконтроллеров.

Центральные аппараты системы АИСТ являются функционально и конструктивно законченными устройствами, выполненными в виде кассет со съёмными печатными платами (модулями).

Кассеты и модули (узлы) АПУ и АКП

Кассета спецконтроллера СК. Спецконтроллеры аппаратов *АПУ* и *АКП* унифицированы по номенклатуре модулей и отличаются лишь их

количеством; СК содержит следующий набор модулей: центрального процессора ЦП; постоянной и оперативной памяти ПОЗУ; параллельного интерфейса АПИ; канального адаптера КА, состоящего из узлов АСИ и ЛУ; визуального контроля АВК; контроля каналов и программатора ККП.

Модуль ЦП содержит: микропроцессор КР580ИК80А; генератор тактовых импульсов, стабилизированный кварцем; системный контроллер; восьмиуровневый контроллер прерываний; делитель частоты, формирующий для всех канальных адаптеров набор опорных частот для синхронизации приема и передачи, а также организации периодических прерываний процессора; ПЗУ емкостью 2 Кбайта, в котором размещены общесистемные программы (операционная программа реального времени, программы работы сервисных модулей, тестовые программы и т. п.); шинные формирователи системной магистрали СК.

Модуль ПОЗУ содержит семь сменных микросхем, ППЗУ по 2 Кбайта каждая и восемь микросхем ОЗУ также по 2 Кбайта; АПУ содержит два модуля ПОЗУ, а АКП — один. Таким образом, объем памяти СК АПУ составляет 28 Кбайт ППЗУ и 32 Кбайта ОЗУ. Соответственно АКП имеет в 2 раза меньший объем памяти.

Модуль АПИ обеспечивает ввод-вывод информации в параллельном виде с помощью микросхем параллельного интерфейса КР580ИК55. Число программируемых шин параллельного интерфейса — 48. Направление работы каналов ввода-вывода определяется программой, управляемой дуплексными шинными формирователями с перестраиваемым уровнем сигнала. Входные-выходные сигналы устанавливаются либо на уровне ТТЛ ("0" $\leq 0,3$ В, "1" $\geq 2,4$ В), либо повышенного уровня 12 В с порогом 5 В. Перестройка осуществляется одной переключкой для всех усилителей модуля. Модули АПИ организуют вторичные магистрали ввода-вывода для подключения периферийных аппаратов, а также обеспечивают подключение дисплеев и обмен информацией с мини-ЭВМ ОИК. Использование сигналов обмена повышенного уровня позволяет существенно повысить помехоустойчивость цепей ввода-вывода и увеличить длину вторичных магистралей до 200 м при скорости обмена до 1 Кбайт/с.

Аппарат АКП содержит один модуль АПИ, АПУ — четыре модуля АПИ.

Модуль КА состоит из двух узлов — адаптера серийного интерфейса АСИ и линейного узла ЛУ. Канальный адаптер обеспечивает обмен информацией в последовательном коде по четырем независимым дуплексным каналам связи.

Аппарат АПУ содержит восемь канальных адаптеров (один из них входит в кассету СК, семь остальных — в кассету СИ). Таким образом обеспечивается возможность обмена информацией по 32 независимым дуплексным каналам связи.

Узел АСИ содержит микропроцессор КР580ИК80А, формирователь

тактовых сигналов, системный контроллер, ППЗУ емкостью 2 Кбайта, ОЗУ емкостью 1 Кбайт, четыре универсальных программируемых синхронно-асинхронных приемо-передатчика (УСАПП) на микросхемах серийного интерфейса КР580ИК51 и логический узел обмена с ЦП. Каждый АСИ может быть запрограммирован по одному протоколу обмена информацией через все четыре канала связи.

Принятая во всех АСИ информация предьявляется ЦП в единой форме с единой адресацией независимо от разновидностей протоколов обмена информацией по каналам связи. Для обмена информацией между АСИ и ЦП используется общее поле памяти: ЦП имеет прямой доступ (ППД) к процессорным магистралям узлов АСИ.

Узел ЛУ выполняет функции формирования входных и выходных линейных сигналов, гальванической развязки от канальных модемов, а также переключения на резервный канал связи в случае обнаружения неисправности основного канала. Синхронизация тактовых генераторов обслуживаемых устройств телемеханики, в том числе и не имеющих кварцевой стабилизации (например, МКТ-1, -2), обеспечивается программой.

Пульт визуального контроля (сервисный модуль) АВК предназначен для обнаружения и локализации аппаратных повреждений и проверки функционирования программ. Блок содержит цифровую шестнадцатеричную клавиатуру, 16 функциональных клавиш, 16-разрядное табло цифровой информации, восемь программно-управляемых светодиодов, контрольные гнезда, тумблеры, кнопки, вспомогательные светодиоды, а также регистр опознания адреса РА. При совпадении адреса на системной магистрали с содержимым регистра РА он формирует импульс "совпадение адреса", который используется для выполнения специальных сервисных программ, а также для запуска осциллографа.

Модуль АВК позволяет оператору читать содержимое ПЗУ и ОЗУ, писать в ОЗУ короткие программы, вести их отладку, запускать сервисные программы и т. п.

Модуль контроля каналов и программатор ККП выполняет вспомогательные и сервисные функции контроля каналов связи и программирования ППЗУ. Он может быть включен как в спецконтроллер АПУ, так и в АКП, но поставляется только в составе АПУ. Модуль ККП позволяет контролировать любой из 32 основных и 32 резервных каналов, а именно: измерять преобладание, "дрожание" фронтов импульсов, отклонение скорости передачи от номинальной. Модуль ККП имеет разъем для установки микросхемы ППЗУ типов К573РФ1 или К573РФ2 и предусматривает операции записи и чтения информации.

Кассета связного интерфейса СИ является составной частью центрального аппарата АПУ. В кассете размещены семь канальных адаптеров, аналогичных канальному адаптеру, установленному в кассете спецконтроллера, и два модуля параллельного интерфейса АПИ. Магистраль кассеты СИ является продолжением системной магистрали СК.

Периферийные аппараты

Выполняются в виде самостоятельных конструкций (кассет или отдельных стоек), подключаются к центральным аппаратам АПУ или АКП через вторичные магистрали ввода-вывода и получают питание от их блоков питания.

Аппарат ШТИ-64 предназначен для вывода на щит 64 параметров ТИ в аналоговой форме. Кассета ШТИ-64 является составной частью аппаратуры АПУ. Аппарат ШТИ-64 представляет собой 64-канальный ЦАП с широтно-импульсной модуляцией, выходной ток 0–5 мА при сопротивлении нагрузки 0–2,0 кОм.

Интерфейс подключается ШТИ-64 к модулю АПИ спецконтроллера СК, унифицирован с интерфейсом подключения периферийных аппаратов ШТС-128.

Аппарат ШТС-128 предназначен для вывода на диспетчерский щит 128 телесигналов (ТС). Информация ТС выводится группами по восемь ТС. Обеспечивает воспроизведение ТС по схеме светлого и мимического щита с миганием символов ТС при несоответствиях, с групповым квитированием сигналов, организацией проверки ламп, записи новых сигналов с блокировкой мигания и т. п. Выходные элементы — тиристорные оптроны, обеспечивающие ток до 100 мА при напряжении до 100 В и гальваническую развязку до 500 В.

Аппарат АПУ может управлять 16 аппаратами ШТС-128, т. е. позволяет выводить на щит до 4048 сигналов ТС. Конструктивно аппараты ШТС-128 представляют собой кассеты, которые комплектуются в отдельную стойку до шести кассет (аппаратов) в стойке. Завод выпускает также дополнительную стойку ШТС-128С с установкой одного аппарата ШТС-128 и возможностью установки дополнительного числа этих аппаратов (до шести).

Существенной особенностью периферийных аппаратов ШТИ-64 и ШТС-128 является то, что они унифицированы по интерфейсным связям со спецконтроллером СК и рассчитаны на подключение одновременно к двум резервирующим друг друга аппаратам АПУ через независимые интерфейсные узлы. Они могут принимать и воспроизводить информацию с одного из двух направлений. В такой системе повреждение любого элемента периферийных аппаратов, подключенных к магистрали, не мешает выполнению ею своих функций: повреждение обнаруживается системой и устраняется обслуживаемым персоналом без перерыва работы системы. При подключении аппаратов ШТИ-64 и ШТС-128 к общей магистрали ввода-вывода предусматривается вывод до 256 байт информации, т. е. если к выходной магистрали подключен один аппарат ШТИ-74 (64 байта), то возможно подсоединение еще 12 аппаратов ШТС-128 (192 байта), т. е. 1536 сигналов ТС.

Аппарат ТИС-16/64 предназначен для ввода 16 аналоговых величин от датчика ТИ и 64 ТС от контактных датчиков коммутационной аппа-

ратуры. Схема опроса состояния контактов датчиков работает на напряжении 24 В и гальванически изолирована для каждого аппарата ТИС. Вместе с тем аппарат позволяет использовать датчики дискретных сигналов уровня ТТЛ. Это дает возможность ввода информации от стандартных цифровых приборов, например от частотомера Ф246 и вольтметров Ф219.

Для ввода параметров ТИ используется 16 индивидуальных АЦП с гальванической развязкой входов. Диапазоны входного тока 0–5 мА и $-5 \div +5$ мА при входном сопротивлении 1 кОм. Число двоичных разрядов – восемь. Основная приведенная погрешность 0,6%, время преобразования 40 мс.

Кодирование сообщений и протокол обмена информацией в системе АИСТ (радиальная многоточечная структура)

Виды передаваемых сообщений

Информация, циркулирующая в системе АИСТ, подразделяется на рабочую и служебную. К рабочей информации относятся сообщения, определяющие рабочие функции системы:

ТИ – телеизмерение текущих значений от аналоговых и цифровых датчиков;

ТС – телесигнализация положения двухпозиционных объектов;

ТСЧ (телесчет) – передача показаний счетчиков электроэнергии от специальных датчиков телеизмерения энергии (ТИЭ) в системе АИСТ–РС;

ТУ – телеуправление двухпозиционными и многопозиционными объектами в системе АИСТ–РС;

ЦБИ – цифро-буквенная информация;

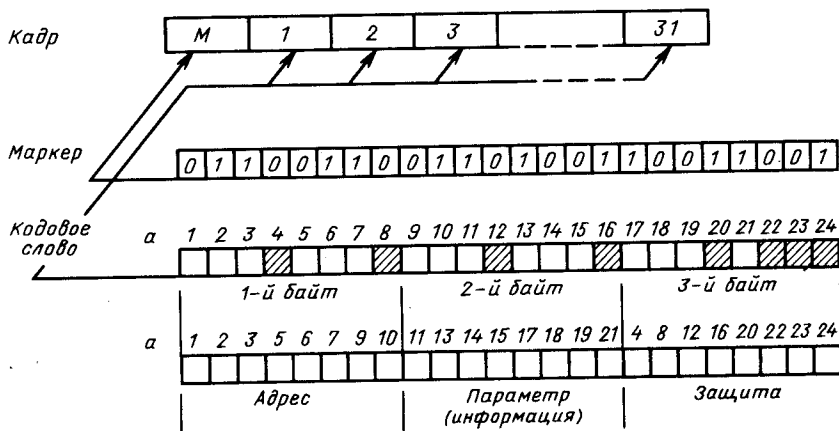


Рис. 5.4. Структура кода АИСТ

РТИ, РТС — ретрансляция ТИ и ТС на ДП вышестоящего уровня диспетчерского управления;

РТУ — ретрансляция команд телеуправления на КП нижестоящего уровня (в системе АИСТ—РС).

Служебная информация объединяет сообщения о режимах передачи, квитанции и пр.

Передача сообщений от всех КП к ПУ производится по независимым дуплексным каналам связи непрерывно в обоих направлениях (от КП к ПУ — прямой и от ПУ к КП — обратный каналы). При этом используется синхронный метод передачи сигналов. Длина одного сообщения (кодированного слова) составляет 24 бита, последовательность из 32 кодированных слов образует кадр (рис. 5.4). Первое кодированное слово "МАРКЕР" служит для синхронизации кадров и образуется 24-битной комбинацией 0110 0110 0110 1001 1001 (число 666999 в двоично-шестнадцатеричном коде). Расстояние Хэмминга для маркерного слова равно 6 ("Прозрачный" маркер).

Код АИСТ

Все сообщения кодируются специальным кодом АИСТ (групповой помехозащищенный код с кодовым расстоянием $d = 4$). Длина кодированных слов 24 бита, из которых 16 информационных и 8 контрольных; 24 разряда кодированного слова разбиваются на три байта (рис. 5.4): первый байт — адрес слова ($a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9, a_{10}$), второй байт — информация ($a_{11}, a_{13}, a_{14}, a_{15}, a_{17}, a_{18}, a_{19}, a_{21}$), третий байт — защита ($a_4, a_8, a_{12}, a_{20}, a_{22}, a_{23}, a_{24}$).

Защитные (контрольные) символы определяются следующими проверочными уравнениями (знак "+" означает сумму по модулю 2):

$$a_4 = a_1 + a_2 + a_3 + 1;$$

$$a_8 = a_5 + a_6 + a_7 + 1;$$

$$a_{12} = a_{13} + a_{14} + a_{15} + 1;$$

$$a_{20} = a_{17} + a_{18} + a_{19} + 1;$$

$$a_{24} = a_{11} + a_{22} + a_{23} + 1;$$

$$a_{22} = a_1 + a_2 + a_5 + a_6 + a_9 + a_{10} + a_{13} + a_{14} + a_{17} + a_{18} + a_{21} + 1;$$

$$a_{23} = a_1 + a_3 + a_5 + a_7 + a_9 + a_{11} + a_{13} + a_{15} + a_{17} + a_{19} + a_{21} + 1.$$

Кодирование и передача ТИ, ТС. Каждый параметр ТИ или группа из 8 ТС кодируется одним кодовым словом (24, 16), содержащим 8 бит адреса ТИ (или группы ТС), 8 информационных бит (256 дискретных уровней параметра ТИ либо 8 двухпозиционных ТС) и 8 контрольных бит. Таким образом, с каждого КП может передаваться до 256 байт (ТИ + ТС). Предусмотрена возможность передачи двух

Таблица 5.1. Протокол АИСТ: коды сообщений по прямому каналу (с нижнего

№ п.п.	Наименование сообщения	Обозначение	Формат	Кодо
				1-й байт
1	Маркер	М	24	66
2	Предмаркер	ПМ	24 × 3	55
3	Телесигнализация (в том числе по вызову)	ТС- (ТСВ)	(24, 16)	Адрес 00-КК
4	Телеизмерения (в том числе по вызову)	ТИ (ТИВ)	(24, 16)	(КК + 1) - - .F8
5	Цифро-буквенная информация	ЦБИ	Блок: 24 (L + 2)	
	Начало блока	НЦБИ	(24, 16)	.FE
	Информация ЦБИ	ЦБИ	(24, 16)	.FF
	Конец блока	КЦБИ	(24, 16)	.FF
6	Заявка на передачу	ЗяЦБИ	(24, 16)	.FB
7	Запрос ЦБИ по обратному каналу (сверху)	ЗпЦБИ	(24, 16)	.FB
8	Квитанция о приеме ЦБИ	КвЦБИ	(24, 16)	.FB
9	Переспрос ЦБИ при сбоях в канал	ПЦБИ	(24, 16)	.FB
10	Извещение об отсутствии обратного канала	ПОК	(24, 16)	.FD
11	Извещение о восстановлении обратного канала	ВОК	(24, 16)	.FD
12	Квитанция перехода на резервный путь передачи (запасной)	КвЗП	(24, 16)	.FD
13	Переспрос слов, переданных по обратному каналу	ПСЛ	(24, 16)	.FC
14	Извещение об отсутствии приема по одному из каналов с нижнего уровня	ОПКН	(24, 16)	.FA
15	Извещение о восстановлении канала, поврежденного по п. 14	ВПКН	(24, 16)	.FA

уровня на верхний)

вое слово		Номер слова в кадре	Примечания
2-й байт	3-й байт		
69	99	0	—
55	55	—	Передается трижды при включении питания или после рассинхронизации
Информация	Защита	Любой (кроме 0)	КК — граница между адресами ТС и ТИ
”	”	То же	
<i>L</i>	”	”	<i>L</i> — количество байт в блоке: $L = 1 \div 250$
Знак, цифра, буква	”	”	1-е слово ЦБИ — вид ЦБИ (ведомость, обмен и т. п.)
Контрольная сумма	”	”	—
Вид ЦБИ	”	”	Заявка ”снизу” для получения разрешения на передачу ЦБИ
.01–7F	Защита	”	Запрос ”снизу” на передачу ЦБИ с верхнего уровня по обратному каналу
Вид ЦБИ	”	”	Посылается по прямому каналу по окончании приема ЦБИ по обратному каналу
.80–.FD	Защита	Любой (кроме 0)	Посылается однократно при сбоях в приеме ЦБИ
.FF	”	То же	
.40	”	”	Посылается по прямому каналу при нарушении обратного канала
.20	”	”	То же
.00–.03	”	”	”
.01–.FF	”	”	Второй байт кодового слова определяет в распределительном коде адреса забракованных слов в буфере переспроса передатчика
Адрес поврежденного канала .80–9F	”	”	”Наверх” передается номер поврежденного канала с нижнего уровня (всего 32 номера)
00–.1F	”	”	32 номера

№ п.п.	Наименование сообщения	Обозначение	Формат	Кодо
				1-й байт
16	Квазициклическая передача	КВЦКЛ	(24, 16)	00-.F8
17	Циклическая передача	ЦИКЛ	(24, 16)	00-.F8
18	Отсутствие информации	ОИ	(24, 16)	.FD

байтных ТИ, для чего используются два следующих подряд кодовых слова с заранее установленными адресами.

Сообщения ТИ и ТС передаются адаптивному алгоритму. Адаптивный алгоритм для ТС состоит в однократной (спорадической) передаче кодового слова, соответствующего группе из 8 ТС, в котором изменился хотя бы один сигнал ТС. Адаптивный алгоритм для ТИ может быть двух видов. Первый алгоритм состоит в поиске и передаче наиболее отклонившегося параметра по сравнению с ранее переданными значениями. Второй алгоритм — поочередная передача параметров ТИ, отклонившихся от ранее переданных значений на заданную величину (апертуру).

При этом для обоих алгоритмов все ТИ могут быть разбиты на одну, две или три группы, причем каждая группа может иметь свою апертуру допустимого отклонения. В первой группе располагаются наиболее важные ТИ, которым задается наименьшая апертура, затем менее важные и т. д. Разбивка на группы и установка апертуры выполняется пользователем в соответствии с технологической важностью параметров.

Прием сообщений ТИ и ТС производится по методу отрицательного квитирования: квитанция посылается по обратному каналу только при обнаружении ошибки в принятом кодовом слове. В результате приема этой квитанции передатчик должен повторить забракованное слово, т. е. отрицательная квитанция выполняет функцию переспроса забракованной информации.

Для возможности адаптивной передачи информации ТИ и ТС при отсутствии обратного канала, а также для повышения надежности передачи предусмотрена передача ТИ — ТС в режиме квазицикла. Для этой цели выделены кодовые слова № 7 и № 23 в кодовых предложениях. На этих местах передаются принудительно (независимо от величины изменения) очередные параметры ТИ (или группы ТС), благодаря чему значения всех параметров принудительно обновляются с периодом длинного "квазицикла".

вое слово		Номер слова в кадре	Примечания
2-й байт	3-й байт		
00-.FF	"	7,23	По очереди передаются все ТИ и ТС на словах № 7 и № 23
00-.FF	"		По очереди передаются все ТИ и ТС
.30	"	7,23	Посылается при отсутствии новой информации

Имеется также возможность передачи всего объема ТИ, ТС в циклическом режиме передачи. Для этой цели по обратному каналу ("сверху") посылается команда КЦКЛ – перейти в циклический режим. По окончании выдачи полного объема восстанавливается режим адаптивной передачи. Для упорядочения формирования массивов адреса с 00 до КК присваиваются ТС, с КК + 1 до .F8 – ТИ. Граница КК может быть в любом месте (табл. 5.1).

В обратном канале сообщений ТИ, ТС ввиду небольших объемов обычно передаются циклически. При необходимости может быть организована приоритетная передача тех или иных адресов параметров ТИ, ТС.

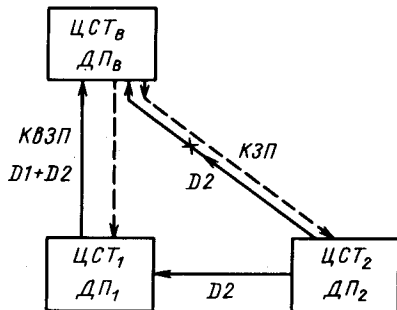
Передача по обратному каналу. Виды передаваемых сообщений по обратному каналу (с верхнего уровня на нижний) и их коды в основном такие же, как и в прямом канале. Основные отличия состоят в следующем:

1) на месте маркера может посылаться слово переспроса ПСЛ поврежденного слова (в целях снижения времени переспроса);

2) основная информация ТИ–ТС передается циклически (ввиду ее меньшего объема, чем при передаче по прямому каналу). Квазициклическая передача отсутствует;

Рис. 5.5. Схема организации обходного канала через ЦСТ₁ при повреждении прямого канала с ЦСТ₂:

КЗП – команда перехода на запасной канал; КвЗП – квитация перехода на запасной канал; Д1, Д2 – информация от ДП₁ и ДП₂



3) предусмотрены передачи различных команд изменения режима работы передатчика нижнего уровня:

КЗП — команда перехода на запасной путь передачи; передается при приеме сообщения об отсутствии приема по прямому каналу. Запасной путь может быть реализован при наличии канала связи между станциями нижнего уровня (рис. 5.5);

ОКЗП — команда отмены КЗП;

КЦКЛ — команда передатчику нижнего уровня перейти в циклический режим передачи;

ВТИС — вызов ТИ или ТС по адресам вызываемых параметров.

В обратном канале сообщения ТИ, ТС ввиду небольших объемов обычно передаются циклически. При необходимости может быть организована приоритетная передача тех или иных адресов параметров ТИ, ТС.

Цифро-буквенная информация. ЦБИ в прямом и обратном каналах передается одинаково в виде "блока ЦБИ". Блок ЦБИ состоит из кодовых слов (24, 16) кода АИСТ и имеет следующую структуру:

начало блока (НЦБИ) — первое кодовое слово блока ЦБИ, в котором передается байт начала (.FF) и байт числа (L) передаваемых информационных слов ЦБИ;

информационное слово ЦБИ. Каждое информационное слово содержит признак ЦБИ (.FF) и байт цифро-буквенной информации;

контрольная сумма — последнее кодовое слово блока ЦБИ, содержит признак ЦБИ и число переданных слов ЦБИ.

Перед началом ЦБИ передатчик и приемник обмениваются служебными словами. Если передатчик передает ЦБИ по своей инициативе, то он посылает заявку ЗяЦБИ для получения разрешения на передачу. Если приемник готов принять информацию, то он отвечает тем же кодом ЗяЦБИ, после чего следует передача блока ЦБИ.

Таблица 5.2. К определению номеров переспрашиваемых слов

Номер ячейки БЗУ	0	1	2	3	4
Номера слов в пред- ложении	0 .00	1 .01	2 .02	3 .03	4 .04
	8 .08	9 .09	10 .0A	11 .0B	12 .0C
	16 .10	17 .11	18 .12	19 .13	20 .14
	24 .18	25 .19	26 .1A	27 .AB	28 .1C
Распределительный код номера ячейки БЗУ	10000000	00000001	00000010	00000100	00001000

Станция ЦСТ может запросить информацию ЦБИ со смежного уровня (нижнего или верхнего). Для этого посылается запрос на получение ЦБИ, содержащий тот вид информации, который требуется получить (ЗпЦБИ). Передатчик получает ЦБИ от мини-ЭВМ ДИС и передает в канал связи.

По окончании приема блока ЦБИ в обратный канал посылается квитанция КвЦБИ, которая сообщает передатчику ЦБИ о нормальном приеме. В случае сбоя при приеме ЦБИ посылается переспрос ЦБИ (ПЦБИ), после чего следует повторная передача всего блока ЦБИ, при этом передача повторяется только один раз. Если при повторной передаче опять фиксируется сбой, то приемник и передатчик фиксируют сбой ЦБИ. Протокол передачи ЦБИ рассчитан на дуплексную связь между станциями.

Служебная информация СЛИ. Все виды служебной информации передаются как однословные сообщения в коде АИСТ (24, 16). Соответствие отдельных видов служебной информации кодовым комбинациями кода (24, 16) дано в табл. 5.1.

Переспрос забракованного кодового слова — ПСЛ. При приеме информации выполняется проверка принятого слова в соответствии с кодовой защитой. В случае обнаружения ошибки принятое слово бракуется и приемная станция по обратному каналу посылает слово переспроса ПСЛ забракованной информации. В ответ на этот переспрос повторяется передача забракованного слова. Переспрос забракованного слова осуществляется следующим образом. Передатчик и приемник информации имеют счетчики слов, которые фиксируют номера переданных (и соответственно принятых) кодовых слов в кадре. Счет слов начинается от маркера и содержит 31 номер (.00 ÷ .1F). В нормальных условиях счетчики слов работают синхронно. В передающем устройстве имеется буферное запоминающее устройство (БЗУ), рассчитанное на

запоминание последних (по времени) восьми кодовых слов, переданных по каналу связи. Каждому слову соответствует одна из восьми ячеек БЗУ. В каждой ячейке БЗУ записанная информация обновляется с периодом, равным восьми словам.

В 0-й ячейке БЗУ может быть записана информация по переданному слову № 0 (по счетчику слов), либо № 8, либо № 16, либо № 24 (соответственно № .0; .8; .10; .18); в 1-й ячейке соответственно слова № 1, 9, 17, 25 (№ .1; .9; .11; .19) и т.д.

5	6	7
5	6	7
.05	.06	.07
13	14	15
.0D	.0E	.0F
21	22	23
.15	.16	.17
29	30	31
.1D	.1E	.1F
00010000	00100000	01000000

Соответствие номеров ячеек БЗУ и номеров переданных слов по счетчику слов дано в табл. 5.2.

Кодовое слово переспроса ПСЛ содержит признак переспроса (один байт .FC) и байт номеров ячеек БЗУ в распределительном коде, из которых информация должна быть передана вновь. Распределительный код принят для того, чтобы в одном байте можно было послать переспрос более чем одного слова (в пределе до восьми слов). Необходимость переспроса более чем одного слова одним словом ПСЛ вызвана тем, что к моменту посылки ПСЛ по обратному каналу приемник может зафиксировать искажения более чем одного слова, особенно если учесть, что посылка ПСЛ может задерживаться из-за занятости в данный момент обратного канала. Формируется распределительный код запроса следующим образом.

В двоичном восьмиразрядном номере принятого слова, соответствующем забракованному слову, отбрасываются четыре старших разряда. Оставшиеся четыре младших разряда записываются в виде байта распределительного кода. Например: пусть повреждено кодовое слово № 21 (.15). Двоичный номер этого слова 00010101, оставшиеся четыре младших разряда 0101, т. е. цифра 5. Соответствующий байт распределительного кода: 0001 0000. Если кроме № 21 повреждено также и слово № 23 (.17), то соответствующий распределительный код этого слова будет 01000000, а результирующий байт распределительного кода составит 01010000. Всего в одном слове ПСЛ может быть передано одновременно до восьми адресов номеров ячеек БЗУ с забракованными словами (в двоично-шестнадцатеричном коде от .01 до .FF). Таким образом, во втором байте слова ПСЛ будет столько единиц, сколько обнаружено поврежденных слов до момента передачи ПСЛ. Описанный протокол переспроса рассчитан на работу по дуплексному каналу с равными и различными скоростями передачи сигналов в обоих направлениях.

При браковке приемником трех слов подряд прием информации прекращается до прихода маркерного слова и сигнализируется повреждение канала. После приема маркера информация начинает приниматься вновь, сигнал повреждения снимается.

Маркерные сигналы. В режиме нормальной работы приемных и передающих станций (режим синхронной работы) прием маркера (М) всегда производится на определенном слове кодового кадра (слово № 0). При отсутствии маркера на своем месте приемник ждет следующего нормального маркера в течение трех-четырёх предположений подряд. При отсутствии маркера в течение этого времени производится перезапуск передачи по данному направлению. В результате перезапуска приемник переходит в режим ожидания маркера, а передатчик передает три предмаркера (ПМ) и затем М. Если синхронная работа не восстановится, то приемник выдает сигнал о повреждении канала приема. После восстановления приемного канала по каналу обратно-

Таблица 5.3. Приоритеты сообщений. Прямой канал

Номера приоритета	Номера слов предложения		
	0	1 – 31 (кроме 7, 23)	7, 23
0	М	–	–
1	–	Переспрос (ПСЛ)	ПСЛ
2	–	ПИ* ¹	ПИ
3	–	ПОК, ВОК	ПОК, ВОК
4	–	ЦИКЛ* ²	КвЦКЛ* ⁶
5	–	ТС	ЦИКЛ
6	–	ТИ с $\Delta > Н$ * ³	–
7	–	ЦБИ	–
8	–	СЛИ* ⁴	–
9	–	ТИ с $\Delta < Н$ * ⁵	–
10	–	КвЦКЛ	–

*1 Повторная информация (результат переспроса по обратному каналу).

*2 Циклическая передача ТИ–ТС по запросу или после включения питания.

*3 Телеизмерения с отклонением Δ больше заданной апертуры Н.

*4 Прочая служебная информация.

*5 Телеизмерения с отклонением Δ меньше заданной апертуры Н.

*6 Передача по квазициклу (см. п. 16 табл. 5.1).

го направления передается сообщение о восстановлении приемного канала.

При включении (восстановлении) питания передатчик трижды посылает ПМ и затем М. В прямом канале при этом начинается выдача информации ТИ–ТС в циклическом режиме. После выдачи полного объема ТИ–ТС передатчик переходит в адаптивный режим работы.

Дополнительные служебные сообщения. Отсутствие нормального приема по данному направлению сопровождается сообщением, передаваемым передатчику, о нарушении канала приема и соответствующим сигналом для обслуживающего персонала приемной станции. При восстановлении приема передается сообщение со снятием соответствующего сигнала повреждения.

При отсутствии информации по одному из прямых каналов приемная станция верхнего уровня может передать по обратному каналу связи команду о переходе на резервный (дополнительный) путь передачи. После выполнения команды станция нижнего уровня посылает сообщение о переходе на резервный путь передачи КвЗП (см. рис. 5.5).

В приемном устройстве кроме кодовой защиты (работа которой

приводит к переспросу кодового слова) имеется защита от искажений длительности принимаемых из канала связи сигналов (так называемая фазовая защита). При работе фазовой защиты выдается сигнал, отмечающий неудовлетворительное состояние канала связи.

Приоритеты передачи сообщений. Порядок передачи сообщений определяется заданной приоритетностью сообщений и адаптивным алгоритмом отбора кодовых слов. На определенных номерах кодовых слов кадра порядок передачи изменяется. Кроме того, имеется некоторое отличие в порядке передачи сообщений для прямого и обратного каналов. В табл. 5.3 приведены номера приоритетов сообщений. При одновременном возникновении сообщений, подлежащих передаче на данном номере кодового слова, раньше передаются сообщения с меньшим порядковым номером приоритета.

В прямом канале связи все кодовые слова кадра, кроме № 0, 7 и 23, имеют одинаковые приоритеты сообщений. Слово № 0 отведено только для передачи маркерного слова М. В этом смысле маркер М обладает на слове № 0 нулевым (безусловным) приоритетом.

Слова № 7 и 23 отведены для передачи информации ТИ и ТС из квазицикла. Поэтому номера приоритетов сообщений на них иные, чем на всех остальных словах № 1–31.

Система АИСТ–РС

Основная область применения АИСТ–РС – телемеханизация диспетчерского управления распределительными электрическими сетями 35–220 кВ. Для этого уровня управления характерны магистральная и смешанная структуры каналов связи.

При магистральной структуре КП подключается к общему каналу связи по вызову.

Система АИСТ–РС содержит один или два (для большей надежности) аппарата АПУ–РС, выполняющих функции ЦСТ на ДП РЭС или ДП ПЭС, и *N* аппаратов КП–РС, располагаемых на подстанциях КП. Кроме того, на ДП устанавливаются аппараты ЩТС-128 для связи АПУ–РС с диспетчерским щитом, на КП – аппараты РТУ для сопряжения КП–РС с объектами ТУ.

Аппаратура АИСТ АПУ–РС выполняется на базе аппаратуры АИСТ АПУ с той лишь разницей, что в последней на месте двух (из восьми) канальных адаптеров устанавливаются модули ТУ. В остальном устройства АИСТ АПУ и АПУ–РС отличаются лишь программами.

Таким образом, АПУ–РС располагает шестью КА. Два из них предназначены для обслуживания КП–РС с магистральной структурой каналов связи. К каждой магистрали может быть подключено до восьми аппаратов КП–РС. Всего к двум КА может быть подключено до 64 КП–РС, объединенных восемью магистралями по восемь КП–РС на каждой магистрали. Остальные четыре КА используются для связи

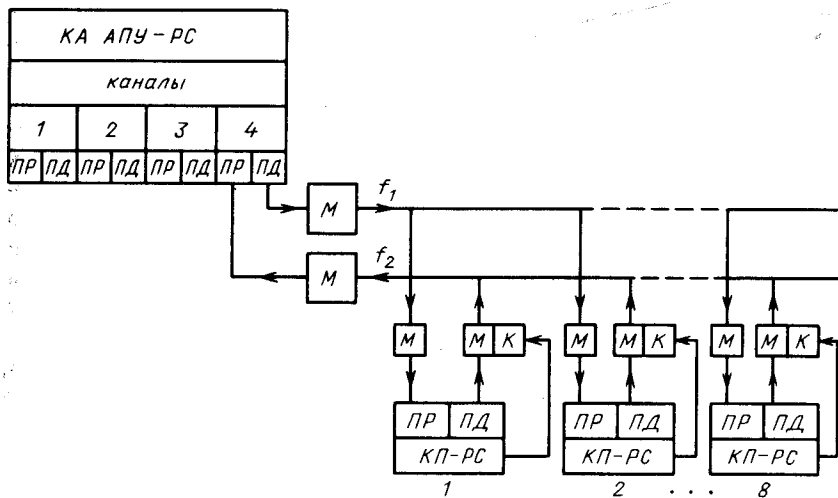


Рис. 5.6. Структурная схема подключения КП-РС к каналному адаптеру АПУ-РС в системе АИСТ-РС:

КА – каналный адаптер; ПД – канал передачи; ПР – канал приема; М – модем; К – каналный ключ

со станциями по радиальной структуре каналов в протоколе системы АИСТ. Все магистрали, так же как и радиальные каналы, взаимне-зависимы.

Структурная схема подключения аппаратов КП-РС к одному из четырех дуплексных каналов КА АПУ-РС при магистральной структуре канала приведена на рис. 5.6. АПУ-РС осуществляет поочередный адресный опрос КП-РС, приемники которых подключены параллельно к каналу ПУ-КП (несущая частота f_1). Передатчики КП-РС подключаются к ответному каналу (несущая частота f_2) через каналные ключи К по мере запроса соответствующего КП. Каждый аппарат КП-РС может выдавать информацию одновременно по двум независимым направлениям (например, на ДП РЭС и ПЭС) в протоколе АИСТ-РС.

Аппарат КП-РС выполняет роль интеллектуальной периферийной станции и содержит две кассеты: спецконтроллера и ввода-вывода СК ВВ и блока питания БП.

В состав кассеты СК ВВ входят следующие узлы (модули), такие же как в аппарате АПУ и АКП:

ЦП – узел центрального процессора – 1 шт.;

АПИ – узел параллельного интерфейса – 1 шт.;

АВК – пульт адаптера визуального контроля – 1 шт.

Кроме того, имеются специальные модули КП-РС:

ПАСИ – узел памяти и серийного интерфейса – 1 шт. (содержит 4 Кбайт ПЗУ и 4 Кбайт ОЗУ и два УСАПП КР580ВВ51);

ТУ – узел вывода 16 команд ТУ – 1 шт.;
 ТС 32 – узел ввода 32 сигналов ТС – 1 шт.;
 ВДТИ – узел ввода ТИ – 4 шт.;
 АЦП – узел общей части АЦП – 1 шт.

В состав кассеты входят:

ЛУ – узел линейных узлов – 2 шт.;
 КК – субблок канальных ключей – 1 шт.;

субблоки питания со стабилизаторами разного уровня напряжения и узел визуального контроля БП.

Протокол обмена информацией в системе АИСТ–РС. В основу протокола обмена положен асинхронный метод передачи со стандартным форматом (11, 8). В качестве кодового слова используется следующая конструкция (табл. 5.4).

Инициатива обменом информацией между ПУ и КП принадлежит АПУ–РС, который посылает по каналу ПУ–КП сообщение *запрос–задание*, содержащее адрес КП, с которым ПУ вступает в диалог, и вид (содержание) диалога. Получив *запрос–задание*, соответствующий КП со своим адресом посылает *ответ–сообщение*. Информационный байт *запрос–задание* (от ПУ к КП) имеет следующий вид:

биты $D_7 D_6 D_5$ – адрес КП (всего восемь адресов);

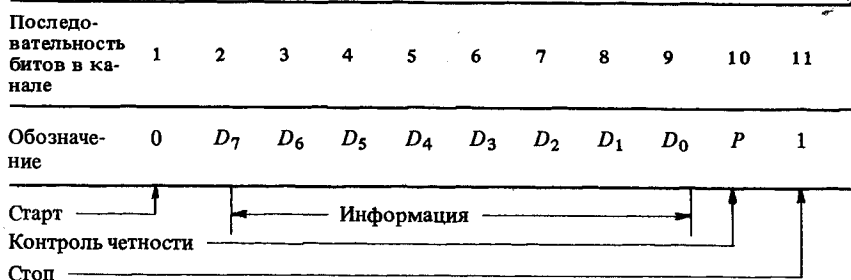
значения битов $D_4–D_0$ соответствуют следующим сообщениям:

D_4	D_3	D_2	D_1	D_0	
0	0	0	0	0	запрос всей информации КП
0	0	0	0	1	признак ТУ
0	0	0	1	0	запрос ТС
0	0	1	0	0	запрос 1 гр. ТИ (ТИ1)
0	1	0	0	0	запрос 2 гр. ТИ (ТИ2)
0	1	1	1	1	запрос (ТС + ТИ)
1	0	0	1	0	запрос ТИЭ
1	0	1	0	0	запрос РТС1
1	1	0	0	0	запрос РТС2
1	1	1	1	0	установка часов

Для большей надежности и соблюдения правильной последовательности подключения передатчиков КП кодовое слово *запрос–задание* передается 2 раза подряд (рис. 5.7). Получив первое слово, передатчик соответствующего КП подключается к каналу связи и выдает в него "единицу". После получения второго слова, точно совпадающего с первым, КП посылает *ответ–сообщение*. Содержание байта *ответ–сообщение*:

биты D_7, D_6, D_5 – адрес КП;

Таблица 5.4. Кодовое слово АИСТ-РС



значение D_4-D_0 битов соответствуют следующим сообщениям:

D_4	D_3	D_2	D_1	D_0	
0	0	0	0	0	– новой информации нет
0	0	0	0	1	– готов к приему ТУ
0	0	0	1	0	– есть ТС
0	0	1	0	0	– есть ТИ1
0	1	0	0	0	– есть ТИ2
1	0	0	1	0	– есть РТС1
1	1	0	0	0	– есть РТС2

В зависимости от содержания *ответа-сообщения* далее передаются слова соответствующих сообщений: байты ТС, ТИ, РТС или ТИЭ (параметр ТИЭ содержит два байта). Новые сообщения передаются только при наличии в них новой информации. Каждый цикл сообщений от КП заканчивается контрольным байтом, в котором передается контрольная сумма, и установкой контрольной 1 до момента отключения передатчика от канала связи. При этом все КП опрашиваются поочередно.

Команда ТУ передается посылкой с ПУ двух слов: номера КП с признаком ТУ и кодового слова ТУ. Информационный байт кодового слова ТУ следующий:

- D_7D_6 – "10" операция ВК, "01" операция ОТ;
- D_5 – "1" команда ТУ, "0" команда РТУ;
- D_4D_3 – 16 команд ТУ;
- D_0 – "1" признак ТУ.

В *ответе-сообщении* КП сообщает свой номер и признак "готов к приему ТУ". Затем следует ответный байт ТУ, точно соответствующий принятому первому байту ТУ. В канале связи КП-ПУ устанавливается 1, а с ПУ передается повторное слово ТУ. При точном совпадении с принятой ранее командой ТУ она выводится на исполнение. В про-

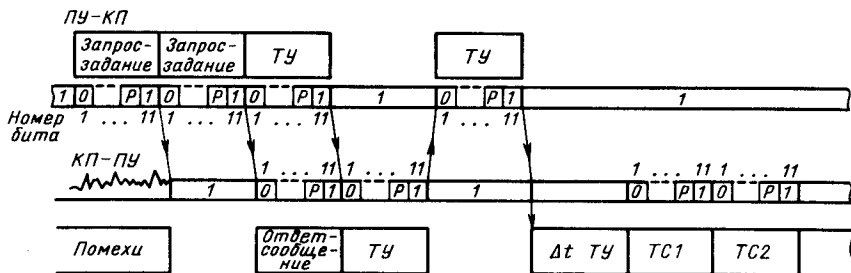


Рис. 5.7. Временная диаграмма команды ТУ АИСТ-РС:

ПУ-КП – сигналы в канале от ПУ к КП; КП-ПУ – сигналы в канале от КП к ПУ

грамме предусматривается выдержка времени "ожидание исполнения команды" Δt ТУ, после которой начинается передача сообщений ТС.

Посылка кодовых слов от ПУ к КП и обратно в режиме ТУ иллюстрируется временной диаграммой на рис. 5.7.

Математическое обеспечение системы АИСТ

Математическое обеспечение (МО) включает в себя программы: общесистемные реального времени (РВ), функционально-тестовые, сервисные и прикладные.

Общесистемные программы образуют упрощенную операционную систему РВ, которая управляет таймером, прерыванием, диспетчеризацией приоритетов задач различных уровней. Операционная система РВ поставляется заводом-изготовителем в виде запрограммированной микросхемы ППЗУ № 00, устанавливаемой на плате ЦП.

Функционально-тестовые программы предназначены для контроля правильности выполнения основных функций аппаратуры и выявления неисправностей системы в процессе ее эксплуатации путем набора тестов различных модулей и узлов системы. Контрольно-тестовые функции реализуются оператором с помощью сервисных блоков АВК, входящих в состав АПУ и АКП. Блок АВК содержит цифровую шестнадцатеричную клавиатуру, 16 функциональных клавиш, шестнадцатеричное табло цифровой индикации, программно управляемые светодиоды. Функционально-тестовые программы поставляются в виде запрограммированной микросхемы ППЗУ, установленной на плате ПОЗУ.

Прикладные программы (пользовательские) обслуживают периферийные аппараты, каналные адаптеры, а также выполняют первичную обработку принимаемой и передаваемой информации. Прикладные программы реализуются в ППЗУ центрального процессора и КА и поставляются в виде запрограммированных микросхем для стандартного набора периферийных устройств и типов обслуживаемых УТМ.

В процессе проектирования или эксплуатации системы пользователю предоставляется возможность внесения изменений или дополнений в систему МО, например для подключения к каналному адаптеру УТМ, не предусмотренного в МО, которое поставляется заводом-изготовителем. Для этой цели в АПУ предусмотрен узел ККП (он может быть включен и в АКП), который содержит программатор для записи в микросхемы ППЗУ К573РФ2. Этими же средствами в ППЗУ записываются табличные данные, с помощью которых аппаратура системы АИСТ настраивается на определенный объект эксплуатации: таблицы переадресации информации, объем и скорость передачи информации и т. п.

Конструкция аппаратуры АИСТ и основные технические данные

Все аппараты системы АИСТ располагаются в базовых стивах размером 1800 × 600 × 250 мм. В один стив устанавливается до шести кассет разного типа: специального контроллера, серийного интерфейса цифро-аналоговых преобразователей ЩТИ-64, блоков питания, аппаратов ЩТС-128 и ТИС 16/64. Кассеты имеют съемные платы с печатным монтажом, представляющие собой функционально законченные узлы схемы (модули).

Аппарат КП-РС располагается в настенном стиве размером 620 × 600 × 250 мм.

Информационная емкость пункта управления на базе центральной станции АИСТ АПУ:

число радиальных дуплексных каналов связи — до 32 (с автоматическим переключением на резервные каналы);

число обслуживаемых КП — до 32;

общая емкость принимаемой информации ТИ-ТС — до 1000 байт.

Информационная емкость одного КП:

ТИ — до 128 байт;

ТС — до 1024 бит.

Информационная емкость пункта управления на базе центральной станции АИСТ АПУ-РС:

число магистральных дуплексных каналов связи — до 8;

число обслуживаемых КП-РС — до 64;

число радиальных дуплексных каналов связи — до 16.

Информационная емкость одного КП-РС:

ТИ — до 16 байт;

ТС — до 32 бит;

ТИЭ — до 16 параметров;

ТУ с двухпозиционными командами — до 16 объектов;

РТС — до 64 бит;

РТУ — до 16 объектов.

Интерфейсы ввода-вывода. Аналоговые входы:

входной ток — 5 ÷ +5 мА или 0—5 мА;

входное сопротивление 1 кОм;
разрядность 8 бит, класс точности 0,6;
в аппарате КП-РС аналоговые входы имеют общую точку, соединенную с нулевой шиной аппаратуры;
в аппарате ТИС 16/64 аналоговые входы изолированы друг от друга и от общих узлов, уровень изоляции 100 В.

Аналоговые выходы:

выходной ток 0–5 мА;
сопротивление нагрузки 0–2,5 кОм;
выходной сигнал – широтно-импульсный;
разрядность 8 бит, класс точности 0,4.

Входы от контактных датчиков:

напряжение – 24 В;
ток через контакт – 3 мА;
все датчики имеют общую точку, входная схема изолирована от общих узлов оптронами, уровень изоляции 400 В.

Входы от бесконтактных датчиков – высокоуровневые и низкоуровневые

Для высокоуровневых входов могут быть использованы бесконтактные датчики любой полярности при тех же параметрах, что и контактные датчики; для низкоуровневых входов – сигналы транзисторно-транзисторной логики; ток через датчик в состоянии 0–0,7 мА; помехоустойчивость 0,4 В.

Выходы на лампы ТС диспетчерского щита:

напряжение – не более 100 В;
ток постоянный – не более 100 мА;
общая шина "минус";
выходная схема изолирована от общих узлов, уровень изоляции 500 В.

Выходы телеуправления:

контактная схема выхода с реле РП21;
стандартная схема с изоляцией выходных цепей каждого объекта ТУ;
имеется цепь блокировки АПВ.

5.3. ТЕЛЕКОМПЛЕКС ГРАНИТ

Общие сведения

Телекомплекс ГРАНИТ разработан СКТБ "Промавтоматика" ПО "Электроизмеритель" Минприбора СССР*. Промышленный выпуск

* Под руководством М. Л. Портнова.

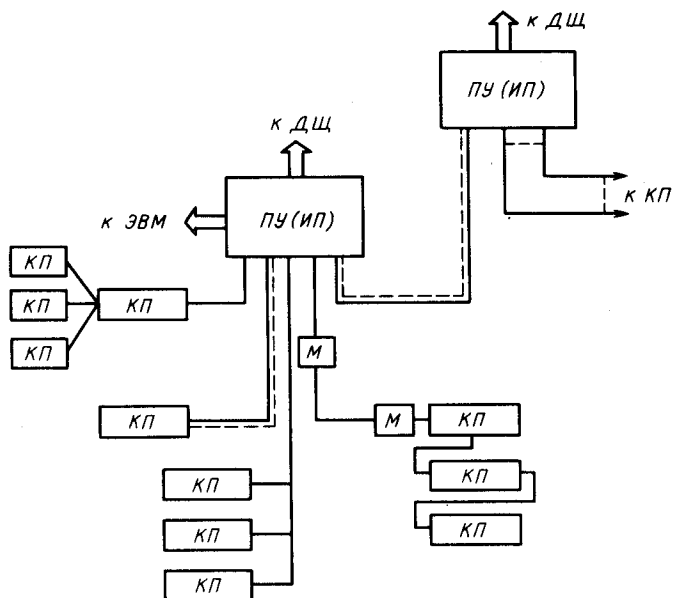


Рис. 5.8. Телекомплекс ГРАНИТ, возможные структуры соединений между ПУ и КП

осуществляется заводом "Промавтоматика" (г. Житомир). Телекомплекс предназначен для построения телемеханических систем широкого применения: в энергетике, на объектах добычи и транспорта газа, на промышленных комбинатах, в горнодобывающей промышленности, коммунальном хозяйстве и т. п. [31].

Устройства пункта управления телекомплекса характеризуются наличием двух встроенных микроЭВМ (типа ЭЛЕКТРОНИКА-60), обеспечивающих программное управление сбором, передачей, приемом, обработкой и отображением всех видов телеинформации. Благодаря программному управлению устройства ПУ именуются интеллектуальными пунктами (ИП) системы. С целью повышения надежности и производительности обе микроЭВМ работают независимо друг от друга. Базы данных обеих микроЭВМ корректируются по межмашинному обмену текущей телеинформацией, получаемой из каналов связи.

Устройства КП телекомплекса выполняются в виде схемных (неинтеллектуальных) аппаратов. Они, как правило, устанавливаются на необслуживаемых пунктах и обеспечивают ввод, вывод и ретрансляцию разнообразной телеинформации без ее представления местному персоналу.

Комплекс ГРАНИТ может включать в себя различное число ПУ и

КП при условии, что их общее число не превышает 128. Соединение между ПУ и КП возможно радиальными, магистральными и транзитными каналами связи (рис. 5.8). Число радиальных направлений с ПУ — до 128. Число КП на одном направлении при магистральной структуре — до 16. Транзитные (цепочные) линии связи обеспечивают двухнаправленную ретрансляцию информации между КП, число которых в цепочке не должно превосходить 10–15.

Наиболее важные радиальные каналы связи могут дублироваться.

Уплотненные каналы связи организуются внешними модемами (М), не входящими в состав аппаратуры телекомплекса, подсоединение модемов — по стыку С2.

Методы передачи и кодирования сообщений

Сообщение с КП на ПУ передается в двух режимах: либо по запросу (вызову) с ПУ, либо автоматически — при изменении ТС или ТИТ по сравнению с ранее переданными значениями. Приемник должен подтвердить полученную информацию посылкой квитирующего сигнала по обратному каналу (положительное квитирование). При отсутствии квитанции в течение 5–10 с источник информации автоматически повторяет несквитированную информацию.

Обмен информацией между пунктами передачи и приема осуществляется по методу синхронной передачи данных в соответствии с протоколом HDLC. Сеанс связи начинается с обмена служебными кадрами между передающей и приемной станциями. Служебный кадр содержит 6 байт (рис. 5.9, а).

Первый и последний байты *флаг* предназначены для обозначения начала и конца кадра. *Флаг* всегда передается фиксированным значением 01111110 и выполняет роль синхрокода (маркера). Во всей передаваемой последовательности бит только маркер имеет шесть единиц подряд. Во всех остальных байтах через каждые пять следующих подряд единиц вставляется 0 (эта операция называется бит-стаффинг), чтобы отличить маркер от всех остальных видов сообщений. Такой маркер называется прозрачным, т. е. легко отличимым в последовательности передаваемых бит.

Байт *адрес* содержит адрес отправителя (получателя) сообщений.

В байте *управление* передаются сообщения, необходимые для установления связи между передатчиком и приемником: "готов (не готов) к приему", "ошибка при приеме" и пр.

Далее следуют два байта защиты от ошибок в соответствии с правилами защиты циклических кодов [порождающий полином $P(x^{15})$] и байт окончания кадра, повторяющий первый байт *флаг*.

Информационный кадр имеет длину 22 байта и отличается от служебного кадра тем, что после байта *управление* передаются до 16 байт информации (рис. 5.9, б). Кроме того, в байте управления передаются

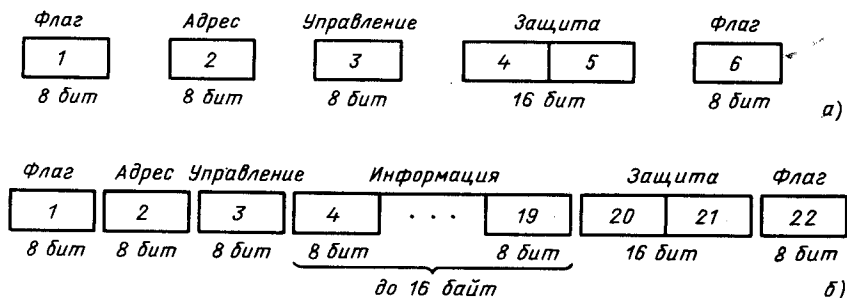


Рис. 5.9. Кадры телекомплекса ГРАНИТ:

а – служебный; б – информационный

сообщения, определяющие вид посылок (данные, квитанция, вызов, запрос и т. п.) и функциональные адреса информации (ТС, ТИТ, ТИИ, ТУ и т. п.).

Между передачами информационных кадров (при отсутствии новой информации) в канал связи посылаются чередующиеся единицы и нули (так называемый меандр), которые используются для поддержания синхронной работы тактовых генераторов передатчика и приемника.

Основные функции и аппаратно-функциональные модули

Телекомплекс ГРАНИТ выполнен из ограниченного набора функциональных модулей с унифицированными внутренними связями с общей магистралью (магистрально-модульный принцип).

Устройство ПУ

Центральную часть ПУ образует блок микропроцессов, состоящий из двух одноплатных микроЭВМ ЭЛЕКТРОНИКА МС 1201.02 (800 000 операций в секунду) с индивидуальными источниками питания. В состав каждой микроЭВМ входят: модуль процессора, ОЗУ емкостью 64 Кбайт и интерфейсные карты для сопряжения с пультовым терминалом (дисплей ВТА 2000-10) с элементами ввода-вывода, элементами внешней памяти ППЗУ и ОЗУ и с удаленными видеотерминалами (ВТА 2000-15).

МикроЭВМ конструктивно располагаются в общей части компоновочного каркаса ЭВМ, куда входят также субблоки системной магистрали и элементы управления микроЭВМ, перевода их в пультовый режим, элементы сигнализации неисправности и т. п.

К каждой микроЭВМ может быть подключен блок полупроводниковой памяти общей емкостью до 128 К (8 субблоков ППЗУ по 16 К в каждом). Элементы последовательного интерфейса ИРПС обеспечи-

вают управление дисплейными модулями типа ВТА 2000-15 (до 8 шт.) и печатающими устройствами с интерфейсом ИРПС. Удаленность устройства ПУ от дисплейных терминалов — не более 0,5 км (при использовании кабеля связи ТГ-0,5 и скорости обмена до 9600 бит/с). Информация, набранная на экране любого из восьми дисплеев ВТА, вводится нажатием клавиши в буфер элемента сопряжений, откуда она считывается в память одной из микроЭВМ (при отсутствии более приоритетных задач). Вывод информации из микроЭВМ на любой из восьми видеотерминалов осуществляется побайтно. Скорость вывода определяется интерфейсом ИРПС (4,8; 9,6; 19,2 кбит/с) и загруженностью микроЭВМ выполнением текущих, более приоритетных задач.

Набор функциональных элементов в устройстве ПУ определяет объем и характер телемеханических функций, выполняемых телекомплексом.

Устройство ПУ обеспечивает прием и передачу сигналов по каналам связи. Число линейных субблоков (элементов сопряжения с каналом связи) в устройстве ПУ — до 128 — по одному линейному субблоку на каждое радиальное направление (для резервирования каналов требуется самостоятельный линейный субблок). Линейный элемент обеспечивает прием—передачу информации при скоростях 50, 100, 200, 300, 600 или 1200 бит/с по физическим линиям связи либо при подключении внешнего модема — по уплотненному каналу связи. Режим передачи — дуплексный или полудуплексный, структура подсоединения к линии связи — радиальная, магистральная или транзитная (изменение режима передачи, скорости и структуры канала достигается с помощью перемычек в субблоке).

Обеспечивается гальваническое отделение линейных цепей приема и передачи устройства ПУ (КП), а также фазирование цепей приемника по фронтам сигналов, поступающих из линии связи, формирование и контроль поступления меандров.

Структура линейных элементов ПУ и КП одинакова.

Телекоммуникация двухпозиционных сигналов:

воспроизведение на диспетчерском пункте — до 1024 ТС;

отображение ТС в составе технологических кадров на экранах дисплеев — до 4096 ТС;

контроль по состоянию датчиков ТС за простоем оборудования — до 100 контролируемых объектов на бланке печатающего устройства.

Телеизмерение текущих значений (ТИТ):

воспроизведение ТИТ указывающими (регистрирующими) приборами, число приборов — не более 64;

воспроизведение ТИТ контрольными цифровыми приборами в коде (без масштабирования); число контрольных приборов — не более двух, число контролируемых параметров — до 256;

отображение ТИТ в составе технологических кадров на экранах дисплеев; число параметров ТИТ — не более 2048; отображаемые па-

параметры масштабируются по формуле $A = kx + b$, где A — отображаемая величина; x — записанное в памяти кодовое значение ТИТ; k — коэффициент масштаба; b — смещение шкалы. Максимальное число различных значений $k = 64$, $b = 20$;

сравнение ТИТ с уставками с выдачей результатов сравнений при обнаружении расхождения на бланк печатающего устройства и на элементы сигнализации щита (пульта). Число сравниваемых параметров — до 200. Величины "верхней" и "нижней" уставок задаются в относительных единицах с шагом, равным 5%, и зоной нечувствительности в окрестностях уставки 2%.

Телеизмерение интегральных значений ТИИ: воспроизведение ТИИ контрольным цифровым индикатором (без масштабирования), число индикаторов — до двух, число контрольных параметров — до 256;

отображение ТИИ в составе технологических кадров на экране дисплея, число отображаемых значений ТИИ — до 1024, параметры ТИИ отображаются в натуральных единицах (в отмасштабированной форме);

периодическая регистрация значений ТИИ на бланке печатающего устройства.

Передача команд телеуправления (ТУ) двух- и многопозиционными объектами, расположенными на КП. Общее число однопозиционных команд на одном КП не превышает 128.

Обмен цифро-буквенной информацией (ЦБИ) с удаленными видеотерминалами по типу "экран-экран". Число видеотерминалов типа ВТА 2000-15 — до восьми, одновременно обслуживается — до двух. Максимальное число знаков на экране 1920.

Аппаратные элементы ввода-вывода. Устройство ПУ располагает набором аппаратных элементов ввода-вывода, в число которых входят следующие функциональные модули.

Модуль вывода дискретных сигналов двух типов: 1) для "полусветлого" и "светлого" щитов и 2) для "темного" щита. Модули рассчитаны на воспроизведение до 64 ТС по схеме "полусветлого" щита и до 32 ТС по схемам "светлого" и "темного" щитов. Каждая выходная цепь модуля обеспечивает управление приборами сигнализации диспетчерского щита (сигнальными лампами, реле) при нагрузке не более 100 мА, 50 В. Предусмотрены режим мигания при изменении ТС и квитирование несоответствия сигналов и приборов сигнализации, а также режим контроля исправности сигнальных ламп.

Модуль вывода аналоговых сигналов — предназначен для управления до 16 указывающими (регистрирующими) приборами при токе до 5 мА и сопротивлении не более 2,4 кОм. Модуль позволяет проводить тестирование выходных цепей подачи фиксированного выходного тока, равного 2,5 мА, на все выходы модуля.

Модуль вывода цифровых сигналов — предназначен для контроля и цифрового отображения ТИТ и ТИИ в виде немасштабированных значений параметра от 1 до 255 и номера ТИ. Параметры ТИ отображаются на цифровом индикаторе поочередно с частотой изменения от 1 до 0,1 Гц. Число параметров ТИ для одного модуля вывода — до 128.

Модуль ввода команд ТУ — обеспечивает ввод команд ТУ от ключей управления на диспетчерском пульте (щите) или от набора клавиш дисплея с отображением команд на экране.

Устройство КП

Устройство выполнено в виде набора аппаратных функциональных модулей, выполняющих обычные телемеханические функции.

Ввод ТС от датчиков осуществляется модулем ввода дискретных сигналов, который обеспечивает спорадическую передачу ТС при изменении состояния любого датчика из общего числа, равного 1—64. Число устанавливаемых модулей определяется требованиями к объему ТС. Датчики ТС могут быть контактными (один замыкающий или размыкающий контакт) или бесконтактными. Бесконтактный ключ должен в замкнутом состоянии обеспечивать сопротивление не более 200 Ом, в разомкнутом — не менее 1 МОм. Цепи управления бесконтактными датчиками используют внешние источники, гальванически не связанные с внутренним источником питания схемы устройства КП. Датчики ТС в пределах одного модуля ввода могут объединяться в группы и соединяться с ним симметричными парами проводов. Допускается объединение общей шины на стороне датчиков с сопротивлением общего провода не более 10 Ом.

При обнаружении изменения состояния любого датчика ТС в группе модуль ввода переводится в состояние готовности и после получения разрешения от внутриблочной централи формирует прямой и инверсный коды, соответствующие текущему состоянию всех датчиков группы. Разрешение на посылку ТС выдается при отсутствии передачи информации (для случая радиального канала связи) либо при поступлении команды запроса на данный КП для случая магистрального канала.

Спорадическая передача ТС возникает только после повторной проверки несоответствия текущей информации с ранее переданной, которая задерживается на 2 или 50 мс (в зависимости от желания пользователя). Задержка одинакова для всех ТС в группе.

Модуль ввода ТС обеспечивает также передачу по вызову от ПУ. В этом режиме циркулярно передается ТС по всем группам независимо от обновления информации. Модуль ввода предусматривает режим тестирования ТС, для чего на лицевой панели модуля имеется кнопка, обеспечивающая передачу всех сигналов 1 или 0 независимо от реального состояния датчиков. В этом режиме изменяется и код функциональ-

ного признака ТС (четыре старших разряда в байте "управление" информационного кадра) для блокирования выдачи тестирующих сигналов на выходе ПУ.

В в о д Т И Т от аналоговых датчиков осуществляется модулем ввода аналоговых сигналов. Модуль обеспечивает спорадическую передачу ТИТ от 1–32 датчиков, разбитых на две группы по 16 датчиков в каждой. Вход модуля рассчитан на стандартные параметры аналоговых сигналов постоянного тока 0–5 мА, $-5 \div +5$ мА при сопротивлении нагрузки $R_n = 1$ кОм; 0–20, 4–20 мА при $R_n = 0,5$ кОм или постоянного напряжения 0–10 В при $R_n = 500$ кОм.

Модуль ввода имеет восьмиразрядный АЦП, вход которого через коммутатор подключается к выходам датчиков. На один модуль могут быть подключены 1–32 однотипных датчика, объединенные в две группы по 16. Датчики ТИТ должны соединяться с устройством КП симметричными парами проводов. Удаление датчиков не должно превышать 100 м. Информация ТИТ передается спорадически в пределах группы, если зафиксировано отклонение между текущими и переданными ранее значениями измеряемой величины от любого датчика группы на величину, большую пороговой. Порог, равный 1, 2, 4 квантам (квант – вес младшего разряда), устанавливается одинаково для всех датчиков, подключенных к одному модулю ввода. В одном информационном кадре содержатся восьмиразрядные двоичные коды ТИТ от 16 датчиков группы.

Модуль ввода аналоговых сигналов обеспечивает также передачу ТИТ по вызову с ПУ. Команда вызова – общая для всех модулей ввода. Максимальное число модулей ввода ТИТ 8. Предусмотрен режим тестирования модуля, при котором при нажатии соответствующей кнопки на передней панели модуля обеспечивается передача по всем 16 каналам каждой из двух групп заданного тестового значения параметров независимо от реальных значений сигналов от датчиков. В тестовом режиме автоматически изменяется код функциональной принадлежности информации, чем блокируется обработка на ПУ тестовой информации.

Время передачи информации ТИТ по одной группе (16 параметров) при скорости передачи сигналов в линии связи 300 бит/с – менее 1 с. Модуль ввода ТИТ обеспечивает автоматическую повторную передачу данных при непоступлении квитанции, подтверждающей их неискаженный прием на ПУ, в течение от 5 до 10 с.

В в о д ч и с л о - и м п у л ь с н ы х с и г н а л о в осуществляется модулем ТИИ, обеспечивающим накопление и периодическую передачу (например, в пятиминутном цикле) кодов от датчиков интегральных телеизмерений, сгруппированных в 1–16 каналов. К каждому каналу можно подключить до четырех число-импульсных датчиков. Модуль суммирует импульсы от всех датчиков одного канала независимо от временных характеристик каждого из них. Частота импульсов

от каждого датчика не должна превосходить 10 Гц. В качестве датчиков ТИИ могут использоваться, например, счетчики электроэнергии с встроенными генераторами импульсов, частота которых пропорциональна частоте вращения диска, т. е. потребляемой электроэнергии.

Датчики ТИИ должны соединяться с устройством КП симметричными парами проводов при удалении не более 100 м.

Накопленная в каждом канале информации ТИИ передается восьмиразрядным двоичным кодом. В одном информационном кадре передаются данные ТИИ всех шестнадцати каналов. Передача ведется периодически — через каждые 5 мин — нарастающим итогом. Значение кода в каждом очередном цикле передачи равно коду суммы ранее накопленных импульсов и поступивших за время между соседними циклами передачи. При переполнении накопителей передается новое значение без указания факта переполнения (факт переполнения легко устанавливается по уменьшению значения вновь переданного кода).

Коэффициент предварительного пересчета импульсов от датчиков ТИИ устанавливается на КП индивидуально для каждого канала и может быть равен 1, 16, 16^2 и 16^3 . Величина введенного масштабного коэффициента должна учитываться при обработке информации в устройстве ПУ. Предельная емкость накопителя при установке максимального коэффициента пересчета для каждого канала равна примерно 10^6 импульсов, что обеспечивает возможность накопления без переполнения в течение более суток даже при максимальной частоте сигналов от датчиков.

Для защиты от стирания накопленной информации может использоваться внешний источник питания постоянного тока напряжением 9–11 В при потреблении не более 5 мА для одного элемента ввода.

Передача ТИИ может быть инициирована командой вызова с ПУ. В этом режиме с разделением во времени будут переданы данные от всех установленных на КП элементов. Время передачи данных от одного КП при скорости передачи сигналов в линии связи 300 бит/с — не более 1 с.

Вывод команд телеуправления двух- и многопозиционными объектами ТУ обеспечивается модулем приема команд ТУ, осуществляющим контроль достоверности ТУ и двухступенчатый вывод команды на промежуточные реле с разделением подготовительной и исполнительной операций.

Один элемент вывода ТУ предназначен для управления 1–128 двухпозиционными объектами. Модуль обеспечивает контроль получения только одной команды ТУ. Однако с помощью режимной перемычки этот контроль может быть заблокирован и модуль может использоваться для приема многопозиционных (кодовых) команд. Имеется возможность с помощью режимной перемычки регулировать время удержания безошибочно принятой команды ТУ на выходных реле в диапазоне 0,5–60 с.

Сопряжение с исполнительными механизмами ТУ осуществляется блоком промежуточных реле (типа РП21). Один блок содержит реле для коммутации 1–16 (двух групп) исполнительных механизмов. Блок промежуточных реле может размещаться вблизи исполнительных механизмов (с целью экономии контрольного кабеля). Для управления каждым исполнительным механизмом используется цепочка – тройник, образованный замыкающим контактом индивидуального объектного реле и замыкающими контактами реле – повторителей команд "включить" или "отключить", и дополнительный замыкающий контакт объектного реле с замыкающим контактом дополнительного реле – повторителя "отключить" (в качестве последнего используется маломощное реле РЭС-22).

Модуль сопряжения с исполнительными механизмами размещается в отдельной конструкции и может удаляться от устройства КП на расстояние до 200 м. Цепи исполнительных механизмов подключаются "под винт" проводом сечением до 2,5 мм².

Сопряжение с каналом связи устройства КП осуществляется линейным модулем. Модуль обеспечивает прием–передачу информации на частоте 50, 100, 200, 300, 600 или 1200 бит/с по физическим линиям связи или при подключении внешнего модема по уплотненным каналам связи. Режим передачи – дуплексный или полудуплексный, структура подсоединения к линии связи – радиальная, магистральная или транзитная.

Линейный модуль имеет буферное устройство емкостью в один информационный кадр, обеспечивает гальваническую развязку с каналом связи и инерционную синхронизацию схемы приемного устройства с импульсами, поступающими из канала связи, а также формирование и контроль холостой серии импульсов (меандров).

Вывод аналоговых сигналов (для цифровых регуляторов) осуществляется модулем вывода кодовых команд. К одному модулю можно подключить до 16 регуляторов. Регулирующим воздействием является среднее значение выходного тока модуля.

Конструкция

Аппаратура ПУ располагается в одном основном шкафу и двух-трех шкафах дополнительных (число дополнительных шкафов зависит от информационной емкости системы). Шкафы ПУ – напольные с двусторонним доступом, с поворотной рамой, габариты 1880 × × 800 × 650.

В основном шкафу устанавливаются блок-каркас ЭВМ (верхний этаж), блок-каркас ППЗУ (второй этаж сверху), блок-каркасы с элементами сопряжения с каналами связи (третий и четвертый этажи) и блок-каркас с элементами ввода-вывода информации (пятый этаж сверху). Функциональные аппаратные элементы (модули) располагаются в компоновочных блок-каркасах, имеющих внутриблочную

магистраль. Через элементы сопряжения блочная магистраль подключается к системной магистрали микроЭВМ. В дополнительных шкафах (также шестизэтажных) устанавливаются кардасы с элементами сопряжения с каналами связи и с элементами ввода-вывода.

Устройство КП размещается в навесном кожухе, разделенном на две части, — в одной — аппаратура КП, занимающая один блок-каркас, расположенный на поворотной раме, в другой — сборка зажимов внешних связей. Габариты устройства КП (вместе с клеммниками, закрытыми съемной крышкой) $800 \times 800 \times 474$.

Для связи КП с внешними устройствами проводами "под винт" сечением до $2,5 \text{ мм}^2$ предусмотрены дополнительные соединительные ящики размерами $840 \times 500 \times 118$.

Промежуточные реле ТУ для управления (1–16) исполнительными механизмами размещены в отдельной навесной конструкции размерами $400 \times 400 \times 220$ с поворотной рамой. В нем же размещаются клеммники связи с исполнительными механизмами.

Кроме основных КП телекомплекс может содержать малогабаритные КП–М малой информационной емкости. Размеры кожуха КП–М $520 \times 160 \times 283$.

Устройства КП могут устанавливаться в неотапливаемых помещениях при температуре окружающего воздуха от -30 до $+55$ °С. Электропитание: сеть переменного тока 220_{-33}^{+22} В частотой 50 ± 1 Гц. Потребление сети — не более $40 \text{ В} \cdot \text{А}$.

Срок службы КП 10 лет, наработка на отказ для каждого канала по каждой выполняемой функции — не менее 10 000 ч.

Устройства ПУ выполняются в обыкновенном исполнении и предназначены для установки с регулируемыми климатическими характеристиками. Диапазон рабочих температур окружающей среды — от 10 до 35 °С.

Для питания устройства ПУ используется сеть переменного тока 220_{-33}^{+22} В частотой 50 ± 1 Гц. Потребление от сети — не более $300 \text{ В} \cdot \text{А}$ (без учета потребления периферийных устройств, сопрягаемых с микроЭВМ, и сигнальных ламп на диспетчерском щите).

Основной элементной базой телекомплекса ГРАНИТ являются К–МОП интегральные микросхемы серии К561.

Состав и информационная емкость базовой модели телекомплекса ГРАНИТ

Число КП — 16 при информационной емкости на каждом КП: ТИИ — до 32, ТС — до 192, ТИТ — до 96, ТУ — до 48, число команд-установок — до 16.

Информационная емкость базового ПУ: ТС — 768 (по схеме "полусветлого щита"), ТИТ — 32 (аналоговые величины), ТИИ — 128 цифровых параметров.

ТУ — 128 команд на каждый КП с вводом команд от одного диспетчера.

В базовое устройство ПУ входят 16 элементов сопряжения с каналами связи и элемент сопряжения с интерфейсом ИРПС для управления шестью дисплеями типа ВТА 2000-15.

Базовое программное обеспечение поставляется заводом-изготовителем в виде рабочей версии, включающей общие программы функционирования телекомплекса. Программы заносятся в ППЗУ. Пользователю направляются инструкции для программиста, позволяющие размещать в ППЗУ программы регенерации рабочей версии при коррекции или при необходимости дополнения программного обеспечения программами пользователя. Одновременно прикладывается вся документация заводов — изготовителей микроЭВМ и периферийного оборудования.

5.4. УПРАВЛЯЮЩИЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС УВТК-120

Комплекс УВТК-120 разработан ВНИИКА Нефтегаз и готовится к серийному производству ПО "Краснодарский ЗИП" Минприбора СССР. Предназначен для использования в автоматизированных системах управления (АСУ) газовой, нефтяной промышленности, промышленности водного хозяйства, а также в энергетике, коммунальном хозяйстве и др. Комплекс предназначен для замены устройств телемеханики типа ТМ-120.1 и всех его модификаций.

УВТК-120 выполняет следующие функции:

- ТИ — телеизмерение текущих значений контролируемых параметров;
- ТИИ — телеизмерение интегральных значений параметров;
- ТУ — телеуправление объектами с дискретными состояниями;
- ТР, ТРКУ — телерегулирование путем задания кодовых установок;
- ЦБИ — цифро-буквенная информация в двоичном коде для обмена данными между станциями системы;
- РТ — ретрансляция всех видов известительной информации;
- РТУ, РТР — ретрансляция команд ТУ, ТР (с верхних уровней на нижние);
- РТКУ — ретрансляция (сверху вниз) кодовых уставок регулирования методом передачи приращений значений уставок или их абсолютных значений;
- ЛВС — решение задач локальных вычислительных систем при управлении технологическими процессами на КП в автономном режиме.

Состав телекомплекса

Телекомплекс УВТК-120 построен по принципу микроЭВМ, содержит функциональные блоки и конструктивы по ГОСТ 10317-79*.

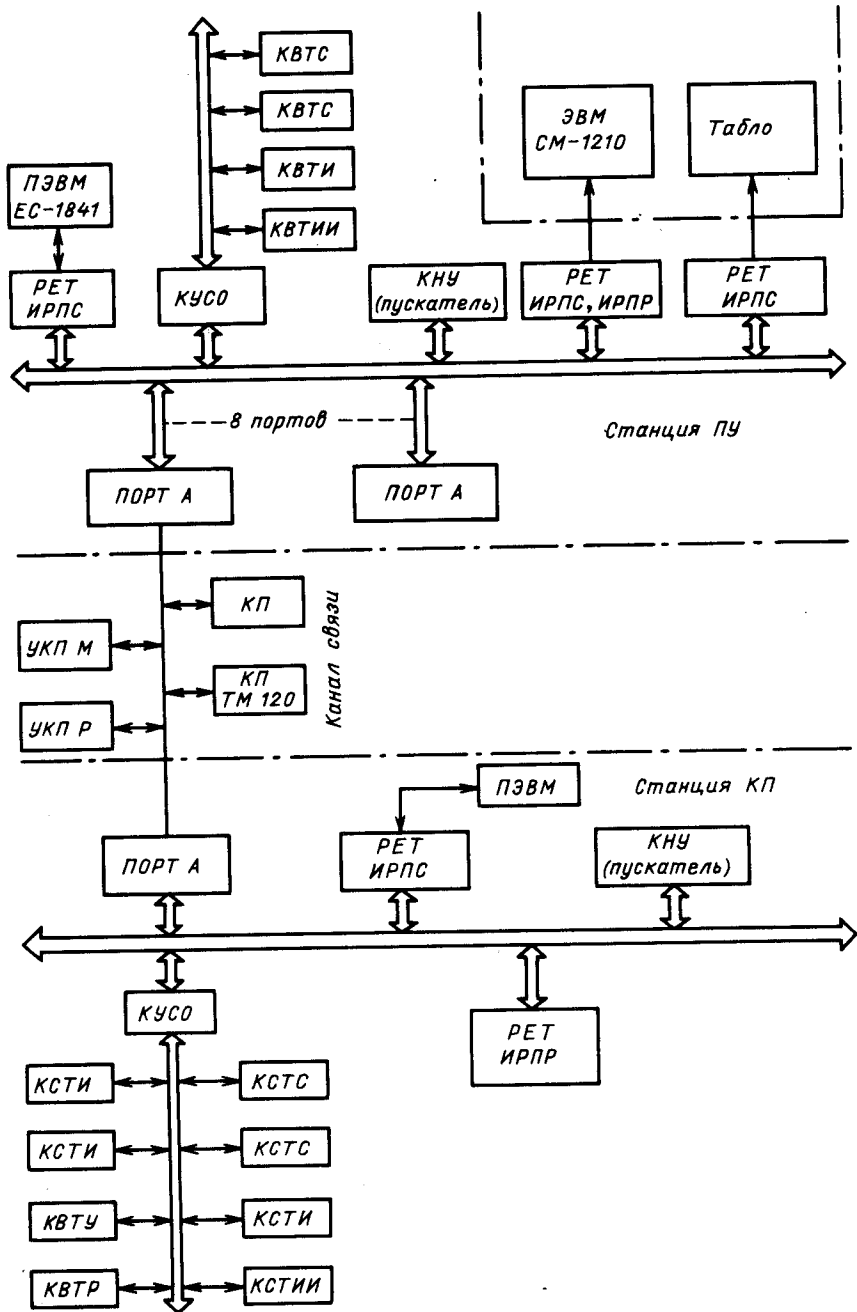


Таблица 5.5. Информационные объемы устройств телекомплекса УВТК-120

Параметры	Устройства			
	ПУ	КП*	УКП.М	УКП.Р
ТИ	25 000	$\frac{8}{2000}$	4	2000
ТС	50 000	$\frac{8}{2000}$	32	2000
ТУ	10 000	$\frac{8}{2000}$	16	2000
ТРКУ		$\frac{8}{2000}$	1	2000
ТТИ	10 000	$\frac{8}{2000}$	1	2000
ЦБИ	Длина массива 24 байт, число массивов не ограничено			

* Числа в числителе – шаг наращивания емкости для всех функций.

Состоит из станций типа ПУ, КП, малогабаритного устройства УКП.М и ретранслятора УКП.Р. Станции типа ПУ, КП комплектуются из набора функциональных блоков (рис. 5.10).

Блок КНУ является контроллером начала управления. Он содержит микропроцессор типа 1821ВМ85 (аналог INTEL 8085), элементы ПЗУ и ОЗУ и осуществляет начальный запуск и загрузку программного обеспечения функциональных модулей системы. Контроллеры ввода-вывода информации подключаются к общей системной магистрали через контроллер связи с объектом КУСО, управляющим блочными магистралями ввода-вывода. Обработка телеинформации ведется персональной ЭВМ (либо мини-ЭВМ), входы которой подключаются к системной магистрали через контроллеры ретрансляции с интерфейсом ИРПС или ИРПР.

Изменение функциональных возможностей и объемов телеинформации в любых сочетаниях обеспечивается путем установки соответ-

Рис. 5.10. Структурная схема телекомплекса УВТК-120:

КНУ – контроллер начального управления; КУСО – то же связи с объектом; КВТС – то же вывода ТС; КВТИ – то же вывода ТИ; КВТУ – то же вывода ТУ; КВТР – то же вывода ТР; КСТИ – то же сбора ТИ; КСТС – то же сбора ТС; КСТИИ – то же сбора ТТИ; РЕТ ИРПС – ретранслятор с последовательным интерфейсом; РЕТ ИРПР – ретранслятор с параллельным интерфейсом; ПОРТ А – каналный адаптер; ПЭВМ – персональная ЭВМ; УКП М – УТМ КП малогабаритное; УКП Р – УТМ КП ретранслирующее; КП ТМ 120 – УТМ КП системы ТМ 120

ствующего количества функциональных блоков в пределах установленного максимального объема.

Общее число станций типа КП и УКП, подключаемых к станции типа ПУ, не должно превышать 250.

Информационные емкости станций ПУ и КП (максимальные и минимальные значения) приведены в табл. 5.5.

Структура и каналы связи

В качестве каналов связи между ПУ и КП могут использоваться: арендованные каналы Министерства связи и ведомственные каналы, организованные различного рода системами многократного ВЧ и тонального уплотнения по ВЛ, физическим линиям связи с четырехпроводным окончанием, радиотрассам и т. п.

Структура каналов связи может быть радиальной и магистральной. Число радиальных направлений, подключаемых к станции ПУ, не должно превосходить 16. Каждое радиальное направление может иметь магистральную структуру с числом КП в магистрали до 16.

Скорости передачи на различных магистралях (направлениях) могут быть разными из ряда 50, 100, 200, 600, 1200 Бод.

Обмен информацией по каналам связи между станциями комплекса производится по протоколу системы ТМ-120.1 байтами с девятым защитным разрядом.

Станция комплекса типа ПУ выполняется по принципу локальной вычислительной сети с общим количеством абонентов до 60.

Скорость передачи сигналов по общей магистрали 1 Мбит/с на расстоянии до 100 м (ЛВС построена по принципу Ethernet).

Структурная схема телекомплекса приведена на рис. 5.10.

Станция ПУ обеспечивает сопряжение с внешними устройствами по стандартным интерфейсам ИРПС, ИРПР по стыку С2.

Количество контроллеров связи с объектами не должно превышать 250.

Станция ПУ выполняет следующие функции по обработке и воспроизведению информации:

- масштабирование параметров ТИ и ТИИ;

- сравнение с уставками параметров ТИ и с сигнализацией выхода за установленные пределы;

- цифро-буквенное воспроизведение на дисплеях обработанных значений ТИ и ТС;

- отображение информации ТИ и рассчитываемых параметров на цветных графических дисплеях, диспетчерском щите и табло.

Станции типа КП и УКП М рассчитаны на подключение следующих датчиков:

- для ТИ — датчиков токовых и напряжения с унифицированными сигналами;

- для ТИИ — датчиков, имеющих на выходе сигнал в виде импульсов

с частотой следования не более 50 имп/с, расстояние до датчика — не более 100 м;

для ТС — датчиков, имеющих один контактный или бесконтактный выход с сопротивлением в замкнутом состоянии не более 200 Ом и в разомкнутом состоянии не менее 200 кОм. Выходные элементы станции КП обеспечивают коммутацию цепей с индуктивной нагрузкой до 400 В · А при напряжении не более 220 В постоянного тока.

Программные модули, обеспечивающие функционирование устройств, хранятся в ПЗУ и ОЗУ.

Загрузка программного обеспечения контроллеров комплекса осуществляется из ПЗУ, расположенного в модуле начального управления КНУ (ПУСКАТЕЛЬ) системы.

Оперативные данные хранятся в ОЗУ.

5.5. ПРОГРАММИРУЕМЫЕ КАНАЛЬНЫЕ АДАПТЕРЫ*

Общая характеристика канальных адаптеров

Программируемый канальный адаптер (ПКА) представляет собой автономную периферийную микроЭВМ, которая выполняет сопряжение с каналами передачи данных центральных передаточных станций (ЦППС) в сети передачи оперативных данных. Необходимость применения ПКА при построении ЦППС обусловлена, во-первых, объединением в интегральную сеть телеинформационных систем и комплексов с разными протоколами обмена и, во-вторых, потребностью в большой производительности, которая обеспечивается многопроцессорной структурой.

Требование совместимости ЦППС с различными телеинформационными системами имеет два аспекта — программный и аппаратный. Объединение сетей с различными протоколами достигается путем программной реализации требуемого протокола в канальном адаптере. При внедрении ЦППС на диспетчерском пункте, где имеется система сбора оперативной информации, необходимо обеспечить поэтапный ввод новой системы в эксплуатацию. В этом случае в течение определенного времени (0,5–2 года) обе системы сосуществуют и должны принимать информацию от существующих передатчиков через одни и те же каналы передачи данных, т. е. входы ПКА внедряемой ЦППС должны подключаться к выходам модемов параллельно входам существующих устройств ТМ. Характеристики входных узлов ПКА, определяемые требованием аппаратной совместимости с приемниками существующих устройств телемеханики, рассмотрены ниже.

Известен ряд зарубежных и отечественных ПКА для различных микроЭВМ, в частности SBC 544 (INTEL, США), DIM 2002 (Муссон, Норвегия), V 6216 (VIDEOTON, ВНР), CM-1800.8527 (Минприбор СССР),

* Параграф написан А. Л. Вулисом — основным разработчиком ПКА.

ПКА системы АИСТ (Минпромсвязи СССР). Последние три типа основаны на микропроцессоре КР580ВМ80А (аналог INTEL 8080) и близки друг к другу по структуре и основным характеристикам. Они предусматривают реализацию как асинхронных, так и синхронных протоколов обмена информацией при использовании асинхронных модемов и поэтому содержат узлы побитной синхронизации. Они содержат также узлы коммутации резервных каналов, что является характерным требованием для телеинформационных систем, применяемых в энергетике. Режим работы по каналам — дуплексный, полудуплексный или симплексный. Число каналов — четыре, что определяется исходя из соображений конструктивной реализуемости, схемной экономичности, производительности процессора ПКА, гибкости и удобства ПКА в эксплуатации.

Межпроцессорный обмен в ЦППС

По общей структуре ЦППС представляет собой многопроцессорную микроЭВМ с разделением функций между центральными и периферийными процессорами, расположенными в ПКА. Функцией ПКА является реализация обмена информацией по каналу связи: установление связи, синхронизация сообщений, кодирование и декодирование, опрос периферийных станций в многоточечной структуре, переспросы забранной информации, контроль состояния канала связи, коммутация резервных каналов и т. д. Каждый ПКА может быть запрограммирован для работы по своему протоколу, однако принятая информация предъявляется центральному процессору в едином формате и с единым способом адресации для всех направлений приема информации независимо от протокола.

Центральный процессор сортирует принятую информацию и образует соответствующие массивы, которые затем использует для обработки и выдачи на устройства отображения, а также в мини-ЭВМ ОИК. Центральный процессор производит также подготовку информации для ее передачи по различным направлениям, в том числе для ретрансляции на вышестоящий уровень. Собственно передачу осуществляют ПКА в соответствии с протоколом, причем ряд служебных сообщений передается ПКА самостоятельно; квитанции, переспросы забранной информации, маркер и т. п. Другие виды служебных сообщений, например запросы различных типов информации, формируются центральным процессором и выдаются ПКА для кодирования и передачи.

Организация обмена информацией между центральными и периферийными процессорами может осуществляться различными способами. Использование специальных регистров с двусторонним доступом не нашло применения при построении ПКА, так как приводит к довольно громоздким аппаратным решениям и, главное, очень сильно сужает возможности межпроцессорного обмена. Наиболее универсальным

способом обмена является обмен через общее поле оперативной памяти путем прямого доступа (ПДП).

Процесс обмена может инициироваться путем взаимных прерываний от одного процессора к другому. Однако использование этого метода целесообразно лишь в тех случаях, когда обмен информацией в сети происходит нерегулярно, в виде отдельных сеансов со значительными перерывами. В сети передачи оперативных данных такой режим практически не используется, каналы связи являются некоммутируемыми и ЦППС постоянно осуществляет связь по всем каналам. Центральному процессору предъявляются каждое принятое слово или сравнительно короткие блоки. В этом случае необходимость обмена информацией между процессорами целесообразнее задавать не с помощью прерываний, а путем периодического сканирования содержимого специально выделенных ячеек памяти. Такое решение требует меньших аппаратных затрат и исключает расход времени центрального процессора на многократную обработку прерываний от всех ПКА в ЦППС.

Общее поле памяти, через которое обмениваются центральный и периферийный процессоры, может располагаться как в модулях памяти, присоединенных к общей магистрали (далее эта память будет называться памятью ЦП), так и в индивидуальной памяти ПКА. Эти два способа существенно отличаются аппаратными и программными решениями. Для универсальности в некоторых ПКА аппаратно реализуются обе указанные возможности, однако в ряде случаев имеются ограничения в их использовании. Например, ПКА СМ-1800.8527 может получить ПДП к памяти ЦП только тогда, когда он расположен в базовой ЭВМ СМ-1803, но не в блоке расширения. При наличии взаимного ПДП центрального и периферийного процессоров и при некорректном одновременном использовании обеих этих возможностей может возникнуть ситуация "клинча", когда каждый процессор ожидает освобождения шин другим процессором. Эту ситуацию можно исключить либо чисто программным путем, либо использованием аппаратных особенностей конкретного типа ПКА.

С точки зрения построения программного обеспечения вариант ПДП со стороны ПКА к памяти ЦП, очевидно, более универсален и богат возможностями. Однако у этого варианта имеются также и недостатки. Так, ошибка одного из ПКА (аппаратная или программная) может вызвать необнаруживаемые искажения информации, относящейся к другим ПКА или к другим функциям, или же трудно диагностируемые искажения в работе системных и прикладных программ. Ряд локальных повреждений ПКА могут именно в результате ложного ПДП к памяти ЦП приводить к неработоспособности всей ЦППС. Таким образом, вариант ПДП со стороны центрального процессора к индивидуальной памяти ПКА обладает большей живучестью и более удобен в отладке и при поиске неисправностей благодаря локализации ошибок.

Структурная схема программируемого канального адаптера

Структурную схему ПКА рассмотрим на примере четырехканального модуля СМ-1800.8527 (рис. 5.11). Другие канальные адаптеры, применяемые в ЦППС, имеют близкую структуру, а их различия определяются в основном конструктивными и схемными особенностями соответствующих микроЭВМ.

Модуль конструктивно состоит из двух блоков элементов (ТЭЗ). Первый представляет собой периферийную одноплатную микроЭВМ на основе микропроцессора КР580ВМ80А. Для размещения программ использована микросхема ПЗУ К573 РФ5 емкостью 2 Кбайт с ультрафиолетовым стиранием, устанавливаемая в специальный разъем. В качестве ОЗУ применены две микросхемы КМ132РУ8Б с организацией 1 К × 4. По отношению к интерфейсу И41 ПКА может выступать как ЗАДАТЧИК и как ИСПОЛНИТЕЛЬ. В первом случае реализуется ПДП со стороны адаптера к памяти ЦП, во втором – ПДП со стороны ЦП к внутренней магистрали ПКА. Соответствующие логические узлы управляют шинными драйверами, которые связывают внутреннюю магистраль ПКА с шинами управления, данных и адресов интерфейса И41.

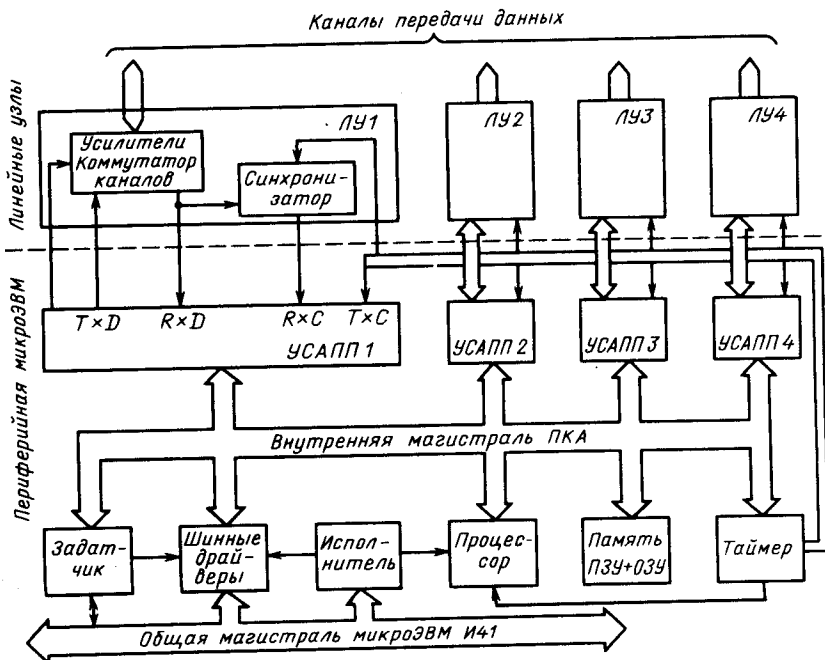


Рис. 5.11. Структурная схема программируемого канального адаптера

Кроме того, функцией исполнителя является прием специальных команд, с помощью которых ЦП может селективно управлять процессором выбранного ПКА. Предусмотрено выполнение следующих команд: сброс, остановка, пуск.

В качестве элементов последовательного интерфейса, осуществляющих последовательно-параллельное преобразование, применены микросхемы КР580ВВ51А, которые являются универсальными синхронно-асинхронными приемо-передатчиками (УСАПП). Их возможности позволяют осуществить программную реализацию практически любого протокола, используемого в настоящее время в промышленной телемеханике. С помощью УСАПП возможна также реализация байт-ориентированных протоколов для передачи блоков информации, например протокола BSC. Бит-ориентированные протоколы, в частности протокол HDLC (X.25 МККТТ), непосредственно микросхемой КР580ВВ51А не реализуются и требуют программного выполнения ряда процедур, в том числе процедуры бит-стаффинга.

Узел таймера в ПКА выполнен на базе трех микросхем КР580ВИ53, которые обеспечивают независимые тактовые сигналы передачи и приема для четырех каналов, а также сигнал периодического прерывания к процессору ПКА. Прием и передача могут осуществляться при скорости до 2400 Бод в синхронном режиме и до 9600 Бод в асинхронном режиме.

Второй блок элементов, входящий в состав ПКА, содержит для каждого из четырех каналов совершенно одинаковые линейные узлы. Линейный узел содержит входные и выходные усилители, коммутатор резервных каналов приема и передачи, синхронизатор принимаемых данных.

Синхронизатор имеет типовую структуру и содержит детектор фронта, делитель частоты, фазовый дискриминатор и схему управления делителем. На вход делителя подается от таймера опорная частота, которая должна быть в 64 раза больше номинальной скорости передачи. На каждом фронте принимаемого сигнала производится фазовая автоподстройка путем коррекции фазы делителя на $1/64$. Таким образом, при приеме меандра данный синхронизатор способен скомпенсировать расхождение тактовых частот примерно до 1,6%, а если в принимаемой информации имеется в среднем один фронт на байт, то допустимое расхождение тактовых частот составляет 0,2%. При приеме информации от передающих устройств телемеханики старых типов с низкой стабильностью тактовой частоты функция побитной синхронизации реализуется программным путем. При этом скорость передачи информации должна быть не выше 200 Бод, что определяется производительностью процессора ПКА. Дополнительной функцией синхронизатора, примененного в ПКА, является так называемая фазовая защита. При нормальных условиях приема фронты фиксируются вблизи номинального положения, в то время как значительное отклонение

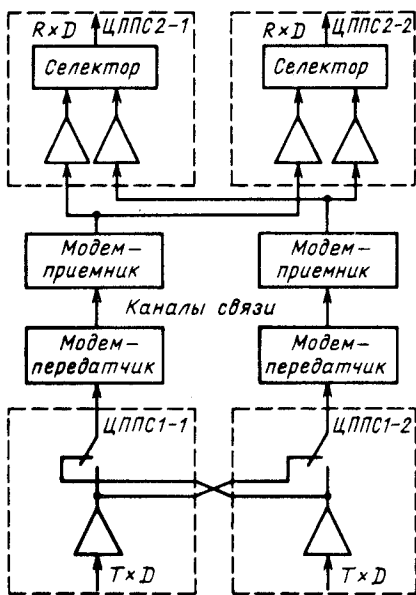


Рис. 5.12. Схема резервирования каналов связи

фронта (более чем на $\pm 25\%$ длительности элементарной посылки) свидетельствует о большом искажении сигнала в канале связи либо о неправильной работе синхронизатора. В этом случае процессору ПКА передается специальный сигнал о низкой достоверности принимаемой информации.

Как уже указывалось, ПКА должен обладать аппаратной совместимостью с существующими техническими средствами сбора телеинформации. Это реализуется входными усилителями линейных узлов, которые имеют высокоомный дифференциальный вход, работающий при синфазном сигнале до 10 В. Передатчик обычно не нужно включить одновременно с существующим передающим устройством телемеханики. Поэтому специфические требования к выходным усилителям не предъявляются и они реализованы стандартным образом на микросхемах К170АП2.

Особенностью построения сети передачи оперативных данных в энергетике является требование высокой живучести. Для его выполнения используется резервирование ЦППС и каналов передачи данных. Схема резервирования приведена на рис. 5.12. Для упрощения показано только одно направление передачи информации. При приеме резервирование реализуется путем подачи сигнала от обоих модемов на входы ПКА в обе взаимно резервирующие ЦППС. С выходов усилителей данного канала ПКА сигнал $R \times D$ поступает на вход УСАПП и к синхронизатору через селектор, который представляет собой простейшую схему И-ИЛИ.

На передающей стороне резервирование выполняется путем присоединения входов модемов к выходным усилителям через переключающие контакты реле, расположенных в ПКА. Эта схема обеспечивает как независимую работу по двум каналам связи, так и использование обоих каналов одной ЦППС, причем благодаря контактной коммутации даже тогда, когда резервная ЦППС выключена. Реле коммутации канала передачи и селектор канала приема управляются командами процессора ПКА. Физически для этого использованы вспомогательные выходные

цепи УСАПП, поскольку в ПКА не используется их стандартная функция — обмен служебными сигналами с модемом согласно рекомендациям стыка С2. Это связано с тем, что сеть передачи оперативных данных, для которой предназначены ПКА, является некоммутируемой сетью с непрерывно работающими каналами.

Особенности программирования ПКА

При разработке программного обеспечения ЦППС с ПКА следует учитывать, с одной стороны, общие требования, связанные с многопроцессорной структурой, и, с другой стороны, специфические характеристики конкретной схемы ПКА.

Внутреннее адресное пространство периферийной микроЭВМ ПКА обычно существенно меньше, чем позволяет микропроцессор. Распределенные в отечественной практике ПКА имеют внутреннее адресное пространство 4 Кбайт: 2 Кбайт — ППЗУ, 1 Кбайт — ОЗУ и 1 Кбайт — зона адресации УСАПП и таймеров. Их присоединение как ячеек памяти, а не как УВВ, выполнено для упрощения программ, в которых с помощью регистровой косвенной адресации одинаковые операции производятся над однотипными элементами. Когда процессор ПКА обращается к адресам свыше внутреннего пространства, выполняется прямой доступ к памяти ЦП, если эта функция предусмотрена. При этом ПДП реализуется аппаратно без каких-либо специальных операций в программе.

При обращении ЦП к внутренней магистрали ПКА имеются различные варианты адресации. В микроЭВМ РПТ, где применяются ПКА V 6216, ЦП имеет доступ к 256 байтам ОЗУ каждого ПКА и каждый ПКА занимает соответствующую зону в общем адресном пространстве. Обращение выполняется всегда с предварительной остановкой процессора ПКА. При применении ПКА СМ-1800.8527 обеспечивается доступ со стороны ЦП ко всем 4 Кбайт внутреннего адресного пространства. Это существенно расширяет возможности межпроцессорного взаимодействия, а также резко упрощает тестирование и поиск неисправностей. Обращение может выполняться как с предварительной остановкой процессора ПКА, так и без нее.

В адресном пространстве ЦП ПКА этого типа не занимают индивидуальные зоны. Для обращения со стороны ЦП к внутренней магистрали любого ПКА используется одна зона размером 4 Кбайт, общая для всех ПКА. Адрес этой зоны задается программно. Перед выполнением операций ПДП ЦП должен выдать специальную команду, в которой сообщается, к которому ПКА будет производиться ПДП. Такой способ организации ПДП со стороны ЦП к нескольким ПКА предьявляет специальные требования к программному обеспечению, если ПДП используют две или более программы с различными приоритетами.

В этом случае если более приоритетная программа прерывает выполнение другой программы, то при возврате к продолжению последней должен быть специальными командами восстановлен номер того ПКА, к которому должно выполняться обращение в прерванной программе. Указанные операции могут быть предусмотрены непосредственно в соответствующих прикладных программах, однако целесообразнее включить в состав общего программного обеспечения специальный драйвер управления режимами ПКА, который выполнял бы и эту функцию.

В многопроцессорной системе возникает целый ряд вопросов разрешения конфликтов между процессорами. Основные функции ПДП реализуются соответствующими схемами арбитража на общей магистрали микроЭВМ и на внутренней магистрали ПКА. При наличии взаимного ПДП от ЦП к ПКА и обратно и некорректном одновременном использовании обеих этих возможностей может возникнуть упоминавшаяся выше ситуация "клинча", когда каждый процессор ожидает освобождения шин другим процессором. Эту ситуацию можно исключить чисто программным путем, используя специальные ячейки-указатели используемого в данный момент вида ПДП. Другой способ заключается в том, что ЦП перед обращением к памяти ПКА останавливает периферийный процессор, а завершив обмен, разрешает ему продолжать работу.

Еще одна возможность конфликта возникает в том случае, когда оба процессора выполняют операцию записи в одну и ту же ячейку, в особенности когда производится модификация отдельных бит в байте. При этом может реализоваться такая последовательность событий: сначала оба процессора в какой-то очередности прочитывают информацию из ячейки, затем оба выполняют предусмотренные их программами преобразования этого байта и, наконец, процессоры записывают в ячейку результаты этих преобразований. В этом случае актуальна только последняя запись, а результат, записанный первым, теряется.

Аналогичная ситуация возникает и в однопроцессорных мультизадачных системах, но там конфликт устраняется путем запрета прерывания. Запрет ПДП в многопроцессорных системах выполняется не всегда, так как требует дополнительных аппаратных и программных затрат. Поэтому необходимо принимать программные меры для устранения конфликтов указанного типа. Такой мерой является, например, разделение ячеек, чтобы центральный процессор и процессор КА вели запись только в "свои" ячейки, а на чтение ограничения не накладываются. Если необходимо, чтобы некоторый признак управлялся обоими процессорами, то значение этого признака должно определяться суммой по модулю 2 определенных битов из разделенных ячеек. При этом каждый процессор может установить требуемое значение данного признака, прочитывая обе ячейки и осуществляя запись только в выделенную для него ячейку.

5.6. СИСТЕМА ТЕЛЕМЕХАНИКИ GEADAT 81GT

Фирма АЕГ ТЕЛЕФУНКЕН (AEG TELEFUNKEN) ФРГ разработала и продолжает развивать программно-аппаратный комплекс широкого назначения GEADAT 80, предназначенный для обработки информации и управления в различных областях промышленности.

GEADAT 80 подразделяются на три подсистемы:

GEADAT 81GT – система телемеханики;

GEADAT 82DZ – система сбора информации;

GEADAT 85LI – система управления промышленными объектами.

Характерными особенностями всех систем GEADAT 80 являются: широкая область применения;

использование стандартных магистральных шин для локальных элементов системы;

модульная структура системы;

использование в качестве центральных управляющих элементов систем мини-ЭВМ АЕГ 80 и микроЭВМ АЕГ АЛУ 80;

широкое применение программируемых периферийных аппаратов, расширяющих функции системы;

развитая система самоконтроля;

адаптация к различным объектам управления и контроля.

Система телемеханики GEADAT 81GT предназначена для использования в энергетике, на железнодорожном транспорте, предприятиях газо-, нефте- и водоснабжения, в аэропортах, на промышленных предприятиях и т. п. Функции и информационная емкость системы зависят от модификации: GEADAT 81-1GT – модификация большой емкости с аппаратными и программными модулями; GEADAT 81-4U – то же средней емкости; GEADAT 81-8U – жестко-схемная структура малой емкости.

Интеллектуальность системы определяется программным обеспечением периферийных станций (ПСТ), управляемых микропроцессором АЕГ АЛУ 80; ПСТ выполнены в виде свободно программируемых устройств.

Система GEADAT 81GT состоит из центральных станций, устанавливаемых в пунктах управления, и периферийных станций. Система допускает различные конфигурации: пункт–пункт, многоточечную радиальную и магистральную структуры один – N. Число обслуживаемых КП – до 128.

Информационная емкость системы очень высока. Она может быть охарактеризована следующими данными: в направлении от периферийных станций к центральной станции – 520 192 бит; в направлении от ЦСТ к ПСТ – 130 048 команд ТУ, 65 024 команды на изменение уставок.

Методы передачи и кодирования информации

При передаче информации со всех ПСТ по многоточечной радиальной структуре один — N или многоточечной магистральной структуре предусмотрены следующие методы передачи:

циклическая передача полноформатных сообщений от ПСТ по запросам ЦСТ со спорадической передачей приказов ТУ в обратном направлении;

циклическая ускоренная передача изменившихся сообщений от ПСТ по запросам ЦСТ со спорадической передачей приказов ТУ и отдельных запросов.

Кроме того, для структуры пункт—пункт возможен режим спорадической передачи сообщений в обоих направлениях.

Информация передается в виде кодовых телеграмм (кодограмм).

Таблица 5.6. Короткая кодограмма системы GEADAT 81GT

Номера бит	Назначение	Обозначение	Значение
1–4	Синхронизация	SYN	1010
5	Вид кодограммы:		
	короткая	KT	1
	длинная	LT	0
6–12	Адрес КП	SA	$x^6 \dots x^0$
13	Паритет	P	1,0
14	Конец программы	SZ	1

Таблица 5.7. Длинная кодограмма системы GEADAT 81GT

Номера бит	Назначение	Обозначение	Значение
1–4	Синхронизация	SYN	1010
5	Вид кодограммы:		
	длинная	LT	0
	короткая	KT	1
6–12	Адрес КП	SA	$x^6 \dots x^0$
13–16	Функциональный адрес	FA	$x^3 \dots x^0$
17–20	Адрес группы	GA	$x^3 \dots x^0$
21–28	Информация — 1-й байт	D1	$x^7 \dots x^0$
29–36	Информация — 2-й байт	D2	$x^7 \dots x^0$
37–44	Информация — 3-й байт	D3	$x^7 \dots x^0$
45–52	Информация — 4-й байт	D4	$x^7 \dots x^0$
53–66	Защита	ST	$x^{13} \dots x^0$
67	Конец кодограммы	SZ	1

Имеется два формата кодограмм: короткий формат (КТ) и длинный формат (ЛТ). Кодограммы КТ предназначены для запуска, запроса и квитирования информации. Кодограммы ЛТ осуществляют передачу телеинформации в направлении как от ПСТ к ЦСТ, так и от ЦСТ к ПСТ. Все кодограммы начинаются сигналом синхронизации SYN, содержащим 4 бита (табл. 5.6 и 5.7). Следующий бит определяет вид кодограммы: 1 — кодограмма КТ, 0 — кодограмма ЛТ; семь последующих бит задают адрес станции SA. Короткая кодограмма оканчивается битом четности P и битом окончания кодограммы SZ. В длинной кодограмме после адреса станции SA передаются четыре бита функционального адреса (FA), определяющего вид информации — команды ТУ, сообщения ТС, ТИ, общий запрос и т. п. Далее следует четыре бита адреса групп (GA). Передаваемая телеинформация занимает в кодограмме ЛТ четыре байта D1—D4. В конце кодограммы передается защитное слово ST, содержащее 14 бит и один бит окончания кодограммы SZ. В обоих видах кодограмм имеются еще бит начала и бит конца передачи. Таким образом, кодограмма КТ содержит 16 бит, а кодограмма ЛТ — 69 бит. При скорости передачи, равной, например, 600 Бод, время передачи короткой кодограммы 27 мс, а длинной — 115 мс.

Способы защиты от помех при передаче

1. Короткая кодограмма защищена битом четности, обеспечивающим кодовое расстояние $d=2$.
2. Защитное слово ST из 14 бит в длинной кодограмме обеспечивает $d=6$, что гарантирует весьма высокую помехозащищенность против случайных одиночных помех.
3. Защита от пачек помех и устойчивых групповых помех достигается фиксацией бит начала и конца передачи и контролем интервала времени передачи кодограммы.
4. Команды ТУ дополнительно защищаются от действия помех следующим образом: в первых двух информационных байтах (D1, D2) используется код $4 \times C_4^1$, в двух последующих байтах (D3, D4) этот код инвертируется. На КП производится анализ принятой кодограммы и в случае отсутствия ошибок дается разрешение на исполнение команды ТУ.

Режимы опроса КП. Передача информации с КП производится по опросу, посылаемому с ПУ, с обязательным подтверждением (квитированием) принятой длинной кодограммы посылкой короткой кодограммы передатчику. Различаются режим циклической передачи сообщений и режим ускоренного опроса.

Циклическая передача сообщений начинается посылкой со стороны ПУ кодограммы опроса (рис. 5.13). Все КП, получая эту кодограмму, запоминают ее и подготавливаются к передаче информации в циклическом режиме. После каждой группы информационных сообщений

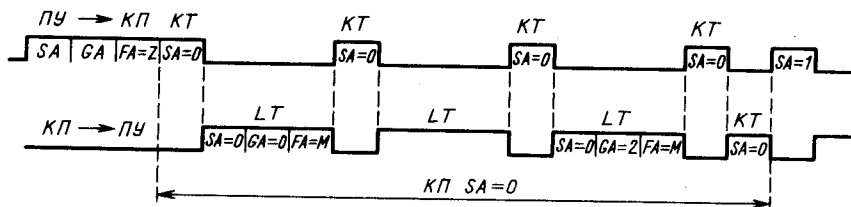


Рис. 5.13. Циклическая передача сообщений в системе GEADAT 81GT:
 KT – короткая кодограмма; LT – длинная кодограмма

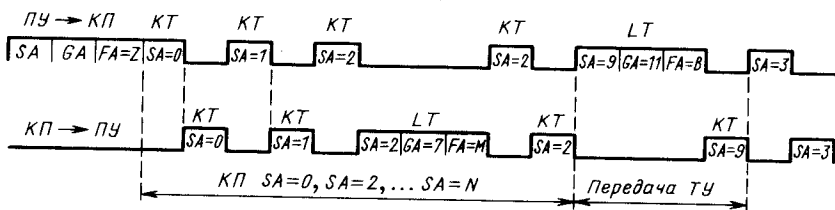


Рис. 5.14. Циклический ускоренный опрос в системе GEADAT 81GT

КП получает квитанцию от ПУ в виде короткой кодограммы (КТ) с адресом КП (SA). Затем передается информация по следующей группе и т. д. После передачи последней группы с данной КП посылается дополнительная короткая кодограмма, содержащая адрес КП (SA = 0 на рис. 5.13).

Циклический ускоренный опрос сводится к обмену короткими кодограммами КТ, содержащими адрес опрашиваемого КП SA и соответствующий ответ SA этого КП. В случае наличия новой информации (по сравнению с ранее переданной) на опрашиваемом КП в ответ на запрос SA_i передается длинная кодограмма LT_i (на рис. 5.14 $SA_i = 2$). Команда ТУ прерывает цикл опроса, и после получения квитанции соответствующего КП цикл опроса продолжается.

Передача информации по схеме пункт–пункт. КП посылает информационные кодограммы спорадически или циклически с соблюдением команд заданного приоритета; ПУ квитирует каждую полученную кодограмму по обратному каналу. Сообщения более высокого приоритета посылаются вне очереди. Всего имеется восемь приоритетных уровней. Кодограммы, принятые с ошибкой, не квитируются и КП продолжает передавать информацию до получения квитирующей кодограммы. По прошествии определенного числа передач система восстанавливает цикл дальнейших передач. Приказы ТУ посылаются спонтанно между кодограммами с КП. Возможна посылка общих команд на все или на группу объектов ТУ.

Программное управление

Программное управление в устройстве КП осуществляется микропроцессорной платой AEG ALU 80, которая совместно с платами памяти выполняет функции управляющей микроЭВМ. Параллельный интерфейс с периферийными модулями осуществляется через 16-битную магистраль ввода-вывода (PEA-BUS), которая является стандартной для всех программно-управляющих устройств семейства AEG 80. В качестве устройств памяти используются микросхемы ОЗУ (RAM) и ППЗУ (EPROM), число которых определяется числом плат памяти, подключаемых к общей шине памяти S-BUS. Для микропроцессора ALU 80 разработана программа реального времени RBS 80, занимающая в главной памяти до 64 Кбайт.

Центральная станция управляется встроенной мини-ЭВМ AEG 80-20, обеспечивающей расширенные возможности обработки телеинформации.

Центральный процессор управляет 16-битной магистралью PEA-BUS. Главная память AEG 80-20 составляет 256 Кбайт и набирается модульно по 32 Кбайт. К магистрали PEA-BUS подключены периферийные модули ввода-вывода, обеспечивающие выполнение разнообразных функций ЦС.

В состав системы AEG 81GT входит широкий набор аппаратных модулей, обеспечивающих выполнение разнообразных телемеханических функций, сопряжение с различными датчиками и выходными устройствами отображения телеинформации и объектами телеуправления.

Основные аппаратные модули AEG 81GT

Модули кодирования и декодирования кодограмм управляются непосредственно от магистрали PEA-BUS. Модуль кодирования преобразует 16-битные параллельные сигналы на входе в последовательную кодограмму заданного вида и формата. Модуль декодирования преобразует принятую кодограмму в 16-битные слова, контролирует правильность приема кодограммы и передает ее для дальнейшей обработки на шины PEA-BUS приемника.

Модули приема-передачи сигналов включают различные модемы со скоростью передачи 50, 100, 200, 600, 1200, 2400, 4800 и 960 Бод. Модемы присоединяются к модулям кодирования-декодирования по стандартному интерфейсу U 24/U 28. Модули приема-передачи обеспечивают также автоматическое переключение на исправный канал связи и подсоединение к государственной телефонной сети.

Модули ввода ТС, в том числе с фиксацией времени переключения с точностью 10 мс (для части сигналов с точностью 2 мс), с фиксацией кратковременно действующих сигналов и т. п. Предусмотрены различные скорости группирования входных цепей ТС с потенциально свободными контактами, с электрическим разделением цепей датчи-

ков через оптроны и т. д. Модули входных реле ТС и электронные модули ввода объединяются в группы по 256 и через специальные программно-управляемые платы ввода передают информацию на шины PEA-BUS. Расстояние входных модулей по PEA-BUS не должно превосходить 300 м.

Модули вывода ТС обеспечивают сопряжение с диспетчерским щитом и управление сигнальными лампами. Для уменьшения числа связей со щитом применяются диодные матрицы. Предусмотрены релейные и электронные платы управления сигнальными лампами щита, причем последние содержат отдельный микропроцессор ALU 81.

Модули ввода ТИ. Аналоговые датчики ТИ (датчики тока или сопротивления) опрашиваются асинхронно (по отношению к тактам передачи кодограмм), значения параметров заносятся в промежуточную память, которая циклически опрашивается и в соответствии с заданным алгоритмом (нарушение заданных границ, скорость изменения и т. п.) формирует кодограмму передачи ТИ. Модули ввода ТИ включают платы АЦП, усилителей и коммутаторов для коммутации датчиков, платы разделения потенциалов, платы управления, подсоединяющие АЦП к шинам PEA-BUS.

Модули вывода ТИ включают различные ЦАП с широким диапазоном входных и выходных параметров. Платы ЦАП включают выходные усилители и управляются непосредственно от магистрали PEA-BUS.

Модули ввода-вывода ТУ. Методы передачи команд ТУ обеспечивают высокую надежность операции телеуправления. На ЦП для ввода ТУ используются специальные модули ввода команд, входящие в состав периферийных модулей ЭВМ AEG 80-20, управляемых непосредственно магистралью PKA-BUS. Модули вывода на ПС содержат реле предварительного управления и выходные реле, которые подают команду на исполнение после сравнения их состояния с состоянием реле предварительного выбора.

Кроме перечисленных модулей в состав системы GEADAT 81GT входят многочисленные модули сервисного обслуживания, модули питания, измерительные приборы и т. д.

Программное обеспечение систем GEADAT 81GT

Для многоканальной телемеханической системы GEADAT 81GT разработаны программные модули, которые обеспечивают удобство эксплуатации этой системы.

Программное обеспечение GEADAT 81GT дает возможность оптимального приспособления к различным задачам и пригодно в широкой области применений.

В системе программ GEADAT 81GT имеются программные модули, которые в зависимости от поставленной задачи выполняют следующие основные функции: прием и обработку цифровых сообщений; прием

и обработку численных величин; прием и обработку показаний счетчиков; прием, обработку и контроль аналоговых величин, выдачу команд; выдачу оптических и акустических предупредительных сигналов; выдачу измерительных величин на регистрирующие и показывающие приборы; выдачу протоколов повреждений; изменение данных в диалоговом режиме; самоконтроль системы.

При разработке системы обращено особое внимание на то, чтобы все части программ, за исключением списков данных, могли запоминаться в ППЗУ (EPROM). Данные заносятся в память ОЗУ (RAM). Тем самым достигается высокая надежность в работе.

Все программные модули работают под управлением операционной системы RBS 80 — операционной системы реального времени для центрального процессора ALU 80 с главной памятью до 64 Кбайт. Она работает по принципу first in — first out (первый пришедший первым обрабатывается). Наряду с обработкой прерываний, обслуживанием заданий, обслуживанием времени и ведением календаря к операционной системе реального времени RBS для устройств GEADAT 81GT принадлежит так называемая программа инициализации.

Программа инициализации работает один раз после каждого нового запуска (после включения напряжения питания), при этом делается проверка, какие платы и на каких местах включены. При последующих рабочих циклах ведется опрос на передачу информации только для вставленных плат.

К операционной системе реального времени RBS 80 принадлежит также программа обнаружения системных ошибок. Когда возникают такие ошибки, обслуживающему персоналу сообщается об этом выдачей на пишущее устройство протокола событий.

Минимальный объем программ, поставляемых фирмой, обеспечивает выполнение обычных телемеханических функций: передачу и прием ТИ, ТС, ТУ и т. п. Требуемый объем этих функций обеспечивается установкой необходимого количества запрограммированных плат. Если пользователь желает дальнейшего развития интеллектуальности ПО, например введения предварительной обработки информации (контроль границ ТИ, регистрация событий и повреждения и т. п.), он может заказать дополнительные запрограммированные платы, обеспечивающие эти функции. Никакого дополнительного программирования в этом случае от пользователя не требуется. Однако дальнейшее развитие интеллектуальности требует дополнительных плат памяти RAM и EPROM и их соответствующего программирования. Для этой цели фирмой разработан простой язык DODAT, не требующий специальных знаний программирования и легко осваиваемый пользователем.

Операционная система реального времени RBS 80 разработана для микропроцессора ALU 80.

Для устройства ЦС микропроцессор ALU 80 в качестве устройства обработки может оказаться недостаточным. Тогда устанавливается

процессор АЕГ 80–20. В качестве операционной системы для процессора АЕГ 80–20 используется другая система реального времени (MARTOS K).

Объем обработки телеинформации в пункте управления определяется соответствующими программными модулями мини-ЭВМ АЕГ 80–20.

Технические характеристики системы GEADAT 81GT

Система передачи информации:

- циклический опрос КП
- циклический ускоренный опрос КП

Каналы связи:

- дуплексный или полудуплексный, конфигурации пункт–пункт, многоточечная радиальная и магистральная структуры один–N (число ПУ – 1, число КП – до 128)

Скорость передачи: 50, 100, 200, 600, 1200, 2400, 4800 и 9600 Бод

Передача команд ТУ:

длина кодограммы ТУ с квитированием	82 бит
время передачи одной кодограммы ТУ	$82/\nu$, с (ν – скорость передачи)
число команд (приказов) ТУ	130.048 однопозиционных команд
ввод команды ТУ	Один рабочий контакт (свободный от потенциала)
вывод команды ТУ	Два рабочих контакта
нагрузка на контакт	60 В, 1 А
время длительности команды ТУ	Зависит от ответной телесигнализации, максимальное – до 20 с
проверка исполнительных реле ТУ	Предусмотрена

Передача уставок:

длина кодограммы	82 бит
число передаваемых уставок	65 024 каждая до 32 бит
ввод уставок	Аналоговый – от 0 до 20 мА; цифровой – один контакт на бит
вывод уставок	Аналоговый – от 0 до 20 мА на 350 Ом; цифровой (релейный или электронный)
нагрузка на контакт	60 В, 1 А, до 30 В · А

Передача ТС:

длина кодограммы ТС с вызовом и квитированием	82 бит
время передачи одной кодограммы ТС	$82/\nu$, с
время передачи ускоренного опроса (без новой информации)	$30/\nu$, с
емкость	520 192 однопозиционных сигнала в циклическом режиме
ввод ТС	при 8 функциональных разномножественностях ТС Один свободный контакт 24/48 В, 10 мА

вывод ТС	Один или два контакта или электронный выход 60 В, 1 А, максимальная мощность 30 В · А
Передача ТИ:	
ввод ТИ	Аналоговый – 5 В до +5 В 0–5 мА при R до 1000 Ом 0–10 мА при R до 500 Ом 0–20 мА при R до 250 Ом
кодирование ТИ–параметра	8 бит + бит знака ТИ; 12 бит + бит знака ТИ
выход ТИ	Аналоговый: 0 до 10 мА 0 до 20 мА, максимальное сопротивление 350 Ом; цифровой: через контакты реле либо электронные ключи
Погрешность телепередачи ТИ	При аналоговом выходе: ± 0,5% при 8-битном кодировании; при цифровом выходе: ± 0,3% при 8-битном кодировании; ± 0,1% при 12-битном кодировании
Питание:	
напряжение	Постоянного тока от 19 до 31 В и от 38 до 72 В; +10% переменного тока 220 В –15% 44 до 60 Гц
потребление	От 30 до 150 Вт на выходной модуль
Конструкция:	
шкафы	Стандарт INTERMAS, шкаф с поворотной рамой, габариты 2000 × 800 × 600 мм
кассеты	Стандарт INTERMAS, габариты 1162 × 800 × 450 мм
Температура окружающей среды:	
для всех аппаратов в шкафах	от 0 до 40 °С
для электронных модулей	от 0 до 55 °С
для электромеханических модулей	от 0 до 55 °С
относительная влажность	от 5 до 95%

5.7. СИСТЕМА ТЕЛЕМЕХАНИКИ TRACEC

Системы телемеханики типа TRACEC (Франция) являются микропроцессорными системами телеконтроля и телеуправления широкого назначения (энергетика, транспорт, водо-, газо-, нефтеснабжение и т.п.). В зависимости от объема выполняемых функций различаются два типа систем: большой емкости TRACEC 130 и уменьшенной емкости TRACEC 92.

Наряду с традиционными телемеханическими функциями ТУ, ТС, ТИТ, ТИИ (ТЕЛЕСЧЕТ) система обеспечивает "интеллектуальную" обработку данных:

- передачу таблиц цифровых величин,
- контроль аварийных пределов параметров,
- фильтрацию передаваемых параметров ТИ,
- контроль и передачу событий с меткой времени,
- представление данных на КП местному персоналу (дисплей, печать).

Специальное исполнение устройств КП (с возможным добавлением микропроцессоров и памяти) предусматривает логическую обработку сигналов и передачу с КП обобщенных сигналов, суммирование параметров ТИ, сбор и ретрансляцию данных с малых подчиненных КП, обмен данными с соседними КП и т. п.

Методы передачи и кодирования информации. Один ПУ (центральная станция) обслуживает множество КП (периферийных станций). При этом возможны следующие виды организации обмена данными:

поочередная передача информации с КП по запросу ПУ (все передатчики КП коммутируются на общий приемный ПУ по многоточечной радиальной "один-N" либо магистральной структуре);

непрерывная (циклическая) передача информации с КП; каждый КП передает информацию непрерывно, независимо друг от друга (многоточечная радиальная структура "один-один"). ПУ принимает информацию индивидуальными для каждого КП приемниками путем их высокоскоростного опроса с помощью демультиплексора (по такой схеме могут обслуживаться не более 80 КП) либо с помощью канальных

Таблица 5.8. Кодирование сообщений от КП к ПУ

Номера слов	Обозначение бит				
1	C_1	C_2	A_1	A_2	H
2	A_3	A_4	A_5	C_3	H
3	I_1	I_2	I_3	I_4	H
4	I_5	I_6	I_7	I_8	H
5	I_9	I_{10}	I_{11}	I_{12}	H
6	I_{13}	I_{14}	I_{15}	I_{16}	H
7	I_{17}	I_{18}	I_{19}	I_{20}	H
8	I_{21}	I_{22}	I_{23}	I_{24}	H
9	V	V	V	V	H

Примечание. C_1-C_3 (3 бита) – функциональный адрес; A_1-A_5 (5 бит) – адрес сообщения; I_1-I_{24} (24 бит) – биты информации: 24ТС либо 2ТИ; H, V – паритет – биты по горизонтали и вертикали.

Таблица 5.9. Кодирование сообщений от ПУ к КП;
 $d = 10$

Номера слов	Обозначение бит				
1	D_1	A_2	B_3	C_4	H
2	C_1	D_2	A_3	B_4	H
3	B_1	C_2	D_3	A_4	H
4	A_1	B_2	C_3	D_4	H
5	B'_4	D'_1	A'_2	C'_3	H
6	C'_4	B'_1	D'_2	A'_3	H
7	A'_4	C'_1	B'_2	D'_3	H
8	D'_4	A'_1	D'_2	B'_3	H
9	V	V	V	V	H

адаптеров (интерфейсных плат IST-130), выполняющих роль предпроцессоров обработки данных, принимаемых с каналов связи.

Передача контрольной информации может производиться: циклически, без приоритетов; с приоритетом ТС при изменении состояния; при изменении ТИ более чем на заданную величину по сравнению с предыдущим значением (плавающая апертура); при нарушении аварийных пределов ТИ; при передаче цифровых таблиц по требованию; после перерыва работы системы с общей передачей всех контролируемых данных.

Скорость передачи по каналам связи составляет 50, 100, 200, 600, 1200 Бод.

Структура сообщений: длина блока сообщений (кодограмма) — 45 бит; синхронизирующий сигнал — 45 бит фиксированной структуры.

Каждое сообщение содержит 9 слов по 5 бит в слове.

Для защиты от ошибок применен матричный контроль сообщений по "горизонтали и вертикали" (табл. 5.8). Каждый пятый бит является битом защиты по четности (защита по горизонтали — H), девятое слово содержит четыре бита защиты по четности по вертикали — V и пятый бит H — защита по четности девятого слова.

В направлении от КП к ПУ биты сообщения распределяются в соответствии с табл. 5.8.

В направлении от ПУ к КП для передачи приказов ТУ и телеустановок применяется специальный матричный код (45, 16) с двукратным кодированием. Код содержит четыре декады BCD (табл. 5.9).

Каждая кодограмма содержит одно синхрослово (табл. 5.10), адрес КП, вид и адрес сообщения и само сообщение.

Надежность передачи. Для передачи команд ТУ и телеустановок обеспечивается расстояние Хэмминга $d = 10$. Обнаруживаются пакеты оши-

Таблица 5.10. Синхрослово 45 бит

Информационная емкость (для одного КП) системы TRACES

Однопозиционные команды ТУ... 2000	
Телеустановка	10
Однопозиционные ТС	1536
Телеизмерения ТИ	128
Телесчет ТСЧ:	
6-декадный	32
3-декадный	64
2-декадный	96
Табличные данные, байт	65 536
Число КП	100

Номера слов	Обозначение бит				
1	1	0	1	0	0
1	0	1	0	0	1
1	0	1	0	0	1
1	0	1	0	0	1
1	0	1	0	0	1
1	0	1	0	0	1
1	0	1	0	0	1
1	1	0	1	0	0

бок длиной до 22 бит. Для ТИ, ТС, ТСЧ и передачи таблиц ЦБИ расстояние Хэмминга $d = 4$, обнаруживаются пакеты ошибок длиной до 7 бит. Фиксированный синхронный синхросигнал (длиной 45 бит) обеспечивает надежную синхронизацию сообщений, контролируя всевозможные сдвиги фаз между ПУ и КП.

Основные аппаратные модули (блоки). Центральный микропроцессорный блок управления (ЦБУ) осуществляет функции программного управления работой схемы устройств ПУ к КП. Содержит микропроцессорный набор SBC 80/20, включая микропроцессор INTEL 8080, память на 4 Кбайт ОЗУ (RAM), 8 Кбайт ППЗУ (PROM), универсальный синхронно-асинхронный приемо-передающий элемент (USART). Возможно добавление элементов RAM и PROM, а также подсоединение дополнительного микропроцессора. В блок ЦБУ также входят: шинный контроллер, передающий управляющие воздействия от микропроцессора на общую магистраль ввода-вывода; стабилизированный источник питания; модем; часть логических элементов ввода-вывода (рис. 5.15).

Блок логических элементов ввода-вывода. Блок рассчитан на компоновку до 192 логических субблоков ввода-вывода, имеет собственные шины, которые через элемент логического интерфейса подсоединяются к общей магистрали ввода-вывода. Кроме того, еще 112 логических субблоков ввода-вывода устанавливаются в модуле ЦБУ устройства КП. Каждый субблок позволяет подключить до 8 логических цепей ввода-вывода.

Логические входы имеют следующие параметры:

напряжение — 24, 48, 60 или 110 В постоянного тока $\pm 20\%$;

ток — 5 мА на вход в состояние "1";

разделение цепей — оптронами;

уровень изоляции — 2 кВ, 50 Гц;

фильтрация — время нарастания большее или равное 5 мс.

Логические выходы обеспечивают разделение цепей путем уста-

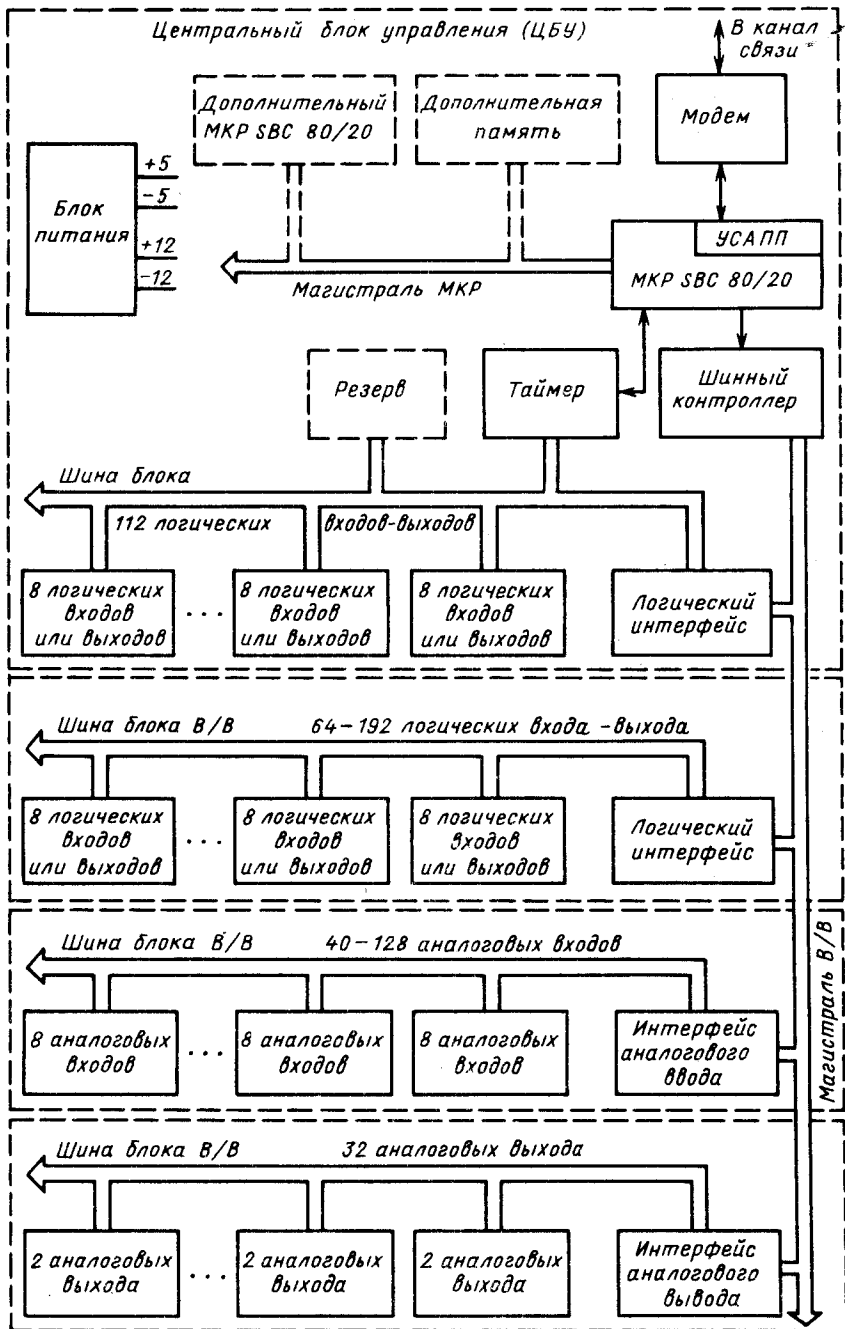


Рис. 5.15. Основные аппаратные модули устройства КИ TRACEC 130

новки на выходных субблоках контактных реле с максимальными напряжением и током соответственно 130 В и 5 А постоянного тока, разрывная мощность контакта — 100 Вт, уровень изоляции — 2 кВ, 50 Гц.

Блок аналоговых элементов ввода. Блок содержит 40, или 72, или 128 аналоговых входов (соответственно 5, 9 или 16 субблоков). Каждый субблок имеет один общий АЦП. Субблоки аналогового ввода объединены блочной шиной, которая через элемент входного аналогового интерфейса подсоединена к общей магистрали ввода-вывода.

Параметры аналогового входа:

входной ток — $2,5 \div +2,5$, или $-5,0 \div +5,0$, или $-10,0 \div +10,0$ мА;

входное сопротивление — 2000, 1000 или 500 Ом соответственно;

входное напряжение $-2,5 \div +2,5$, или $5,0 \div +5,0$, или $-10 \div +10,0$ В;

число бит квантования — 12;

погрешность линейности преобразования $\pm 0,1\%$ номинального значения;

сканирование входного сигнала (две возможные скорости сканирования) — посредством безъякорных реле (число срабатываний более 10^8 , уровень изоляции 500 В) либо посредством ртутных реле (число срабатываний более 10^{10} , уровень изоляции 2000 В).

Блок аналоговых элементов вывода

Субблок аналогового вывода содержит два выходных элемента, а всего их в блоке — до 32. Через один элемент аналогового интерфейса все субблоки аналогового вывода подсоединяются к общей магистрали ввода-вывода.

Параметры аналогового выхода:

выходной ток — $2,5 \div +2,5$, или $-5,0 \div +5,0$, или $-10,0 \div +10,0$ мА;

максимальное сопротивление нагрузки 2400, 1200 или 500 Ом соответственно;

выходное напряжение $-5,0 \div +5,0$ или $-10,0 \div +10,0$ В с минимальным сопротивлением нагрузки 2000 Ом;

погрешность цифро-аналогового преобразования $\pm 0,5\%$;

уровень изоляции — 500 В, 50 Гц;

индивидуальный ЦАП на выход.

Конструктивные данные: стандартный шкаф системы TRACEC 130 размерами 2000 × 1000 × 65 с передней и задней дверцами. Шкаф вмещает до шести блоков (блок-каркасов) ввода-вывода и микропроцессорный блок ЦБУ. В дополнительном шкафу может размещаться до девяти блоков ввода-вывода.

Микропроцессорное устройство телемеханики TRACEC 92-Р. Для КП с относительно небольшими объемами ТУ, ТИ и ТС разработано специальное устройство телемеханики TRACEC 92-Р, которое может работать в комплексе с ПУ TRACEC 130 и TRACEC 92. Методы об-

мена телеинформацией между ПУ и КП и методы кодирования сообщений при этом полностью сохраняются.

Емкость TRACEC 92-P ограничена числом субблоков ввода—вывода в блок-каркасах, размещаемых в настенном шкафу размерами 800 × 600 × 300. Максимальное число субблоков ввода—вывода ТУ, ТИ и ТС, включая субблок АЦП, составляет 18 по 16 однопозиционных ТУ, 16 однопозиционных ТС и 16 ТИ в каждом субблоке ввода—вывода. В пределах этого количества субблоков набирается функциональная емкость TRACEC 92-P, например при 20 ТИ возможно иметь 112 ТУ (однопозиционных) и 144 ТС, либо 128 ТУ и 128 ТС и т. д.

Другим ограничением является объем памяти и возможности адресации модуля ЦБУ, включающего микропроцессор INTEL 8085 (длина слова 8 бит) и элементы памяти (256 байт RAM, 4 Кбайт PROM).

ЦБУ через шинный формирователь управляет магистралью ввода—вывода, на которую подключены все субблоки ввода—вывода, включая один общий АЦП.

Устройство TRACEC 92-P обеспечивает высокую защищенность от выполнения ложной операции ТУ за счет применения специального помехозащищенного кода с кодовым расстоянием $d = 10$ и многочисленных проверок исправности выходных цепей ТУ.

Входы ТС опрашиваются с частотой 50 1/с. Состояние входов запоминается в ЦБУ, передача ТС происходит только в том случае, если изменение состояния обнаруживается подряд не менее чем в двух опросах.

5.8. СИСТЕМА ТЕЛЕМЕХАНИКИ URSATRANS 5120

Система URSATRANS 5120 (разработана и выпускается комбинатом VEB ELEKTRO-APPARATE-WERKE, Берлин, ГДР) является микропроцессорной системой телемеханики для объектов малой и средней емкости.

Предназначена для ТУ, ТС, ТИ и телесчета (ТСЧ). Центральная станция системы (ПУ) обслуживает одну или несколько периферийных станций (КП).

Центральная станция содержит устройство для связи с диспетчерским щитом, имеет выход на алфавитно-цифровой дисплей, печать и серийный интерфейс с ЭВМ.

Принцип построения и функционирования системы. Базой для построения системы URSATRANS 5120 является микропроцессор РОБОТРОН К 1520, являющийся центральной программноуправляющей частью системы. Узлы ввода, вывода и передачи информации выполнены на элементах системы УРСАДАТ 5000.

Модульное построение схемы устройств и программ обеспечивает оптимальное проектирование и исполнение системы для конкретных условий эксплуатации.

Таблица 5.11. Кодограммы системы URCATRANS 5120

Вид кодограммы	Число байт (последовательно)	Назначение байт
Короткоформатный	1	Начало кодограммы (флаг)
	1	Адрес станции (ПУ или ТКП)
	1	Адрес функциональный
	2	Защита по циклическому коду
	1	Конец кодограммы
Длинноформатный	1	Начало кодограммы (флаг)
	1	Адрес станции (ПУ или КП)
	1	Адрес функциональный
	1	Число информационных байт L
	L	Информационные байты
	2	Защита по циклическому коду
	1	Конец кодограммы

Модуль микропроцессора центральной станции через блок промежуточного интерфейса zI может сопрягаться с другими микропроцессорными модулями для расширения функциональных возможностей. Скорость передачи по интерфейсу zI достигает 500 кБод.

Центральная станция работает с одной периферийной станцией (структура пункт–пункт) либо с несколькими станциями (структура многоточечная радиальная, многоточечная магистральная). Центральная станция осуществляет циклический опрос периферийных станций по жестко установленной программе опроса.

Принципы передачи и кодирования сообщений. Передача данных между ПУ и КП базируется на применении стандартного "интеллектуального интерфейса F1", реализуемого микропроцессором канального адаптера U 880 и программируемой схемой последовательного интерфейса U 856. Структура кодограммы определяется стандартным протоколом передачи данных типа HDLC.

Кодограммы подразделяются на коротко- и длинноформатные. Все кодограммы опроса являются короткоформатными. Кодограммы передачи информации – длинноформатные. Состав кодограмм поясняется табл. 5.11.

Байт функционального адреса состоит из двух частей: первая часть (3 бита) идентифицирует вид передаваемого сообщения (ТИ, ТС, ТСЧ), вторая часть (5 бит) определяет адрес сообщения параметра ТИ группы ТС либо ТСЧ.

Адреса параметров ТИ и группы ТС позволяют применять адаптивный метод передачи, т. е. организовать приоритетную передачу сообщений в зависимости от текущей ситуации.

Группа ТС содержит два байта, т. е. 16 ТС. Сообщения ТИ могут быть 8-битные либо 12-битные; 8-битные ТИ занимают два байта: байт

функционального адреса, содержащий 32 адреса параметров ТИ, и информационный байт ТИ (однополярный — 8 разрядов либо двухполярный — 7 разрядов и 1 бит — знак "±"); 12-битные ТИ занимают 3 байта.

Сообщение ТСЧ занимают 8 разрядов (однобайтные сообщения) либо 16 разрядов (двухбайтное сообщение).

Защита от ошибок передачи достигается применением циклического кода в соответствии с рекомендациями ССИТТ V.41 и реализуется элементом U 350 F1. Вероятность ошибочного приема сообщений составляет 10^{-7} при вероятности ошибки на бит 10^{-4} . Кодовое расстояние равно 4.

Защита при ТУ дополнительно обеспечивается подтверждением правильности приема кода адреса станции, кода группы и кода команды.

Технические данные системы

Информационная емкость:

а) для большой модели:

число КП	60
на одно КП:	
ТС	384 бит
ТИ	32 параметра
ТУ	256 команд
ТСЧ	8 величин
ЦБИ	75 байт
вывод на диспетчерский щит сигналов:	
ТС	1200 бит
аналоговые ТИ	150 величин

б) для малой модели:

на одно КП:	
ТС	16 бит
ТИ	8 параметров
ТУ	16

Скорость передачи:

200, 600, 1200 бит/с — при использовании встроенных модемов
 50, 100, 200 бит/с — при использовании внешних модемов типа VWT72

Ввод и вывод информации:

ТС: ввод через оптроны 24 В, 60 В постоянного тока ± 10%;
 через реле 24 В, 60 В постоянного тока ± 10%;
 вывод через реле 60 В, 1 А

ТУ: ввод — два свободных контакта 24 В, 100 мА либо 60 В, 60 мА;
 вывод — контакт реле 250 В, 1 А, 50 В · А

ТИ: ввод — $-5 \div +5$ мА; $-10 \div +10$ мА;
 $-20 \div +20$ мА; $4 \div 20$ мА;
 $-1 \div +1$ В; $-10 \div +10$ В

вывод — $0 \div 10$ В, $R \geq 2,4$ кОм;
 $-10 \div +10$ В, $R \geq 2,4$ кОм;
 $0-5$ мА, $R < 1,6$ кОм;
 $-5 \div +5$ мА, $R < 1,6$ кОм;
 $0-20$ мА, $R < 0,5$ кОм

ТСЧ: ввод — через оптроны 24 В, 60 В постоянного тока, ± 10%;
 максимальная частота импульсов 20 Гц, минимальная длительность импульса 25 мс.

Конструкция: аппаратура ПУ и КП располагается в напольных шкафах с поворотными рамами. Размер шкафа ПУ 800 × 1600 × 600 мм. Размер шкафа КП 800 × 800 × 600 мм. Для малой модели КП используется настенный шкаф 520 × 320 × 320 (без поворотной рамы).

Глава шестая

СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕХАНИКИ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

6.1. ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУР СИСТЕМ ТЕЛЕМЕХАНИКИ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Распределительные электрические сети — это высоковольтные линии (6 кВ и выше), связывающие понизительные питающие подстанции 220–35/6 (10) кВ непосредственно с потребителями электроэнергии. В зависимости от удаленности потребителей от питающей подстанции, от потребляемой мощности, категории надежности электроснабжения и т. п. распределительные сети могут иметь различные напряжения, конфигурацию и организацию эксплуатационного обслуживания. Оперативное управление распределительными сетями осуществляется с диспетчерских пунктов предприятий электросетей (ДП ПЭС) или районов электросетей (ДП РЭС), входящих в то или иное ПЭС. Как правило, распределительные сети 110–220 кВ и соответствующие питающие подстанции находятся в оперативном подчинении диспетчера ПЭС, а сети 35 кВ и 6 (10) и соответствующие понизительные подстанции управляются с ДП РЭС.

Объектами телеконтроля и управления на питающих подстанциях являются: положение высоковольтной коммутационной аппаратуры подстанций и отходящих от нее линий электроснабжения (ТС, ТУ), уровни напряжений на шинах подстанций, токи нагрузок по линиям, перетоки мощности по линиям, потребление энергии потребителями и т. п. (ТИ). Объекты ТУ, ТС и ТИ на подстанциях сосредоточены в пределах подстанции и обычно обслуживаются одним телемеханическим устройством КП. Устройство ПУ располагается по ДП ПЭС и (или) ДП РЭС.

В распределительных сетях 6 (10) кВ объекты телеконтроля сосредоточены по значительной территории, на которой находятся пункты секционирования (СП), распределительные переключательные пункты (РП, ЦРП), закрытые трансформаторные подстанции (ЗТП) 10/0,4 кВ, пункты двустороннего питания, оборудованные автоматами АВР (пункты АВР), и т. п. Все перечисленные пункты распределительной сети должны быть телемеханизированы для телеконтроля состояния выключательной мощности (ТС) и телеуправления этими выключателями.

чателями с ДП РЭС. При отсутствии устройств телемеханики эффективность работы автоматики в пунктах секционирования сети и пунктах АВР значительно снижается из-за отсутствия информации у диспетчера об аварийных отключениях и невозможности изменения конфигурации сети для восстановления надежного энергоснабжения.

Важной информацией для снижения потерь в сетях являются также телеизмерение уровня напряжений в узловых точках сети, телеуправление положением анцафн трансформаторов и возможность подключения или отключения специальных компенсирующих конденсаторных батарей для уменьшения перетоков реактивной мощности.

Особая область телемеханизации управления распределительными сетями — это организация циркулярного телеуправления (ЦТУ), т. е. телеуправления целыми группами потребителей с целью снижения энергопотребления в часы пик (выравнивание графика нагрузки путем отключения на это время некоторых потребителей, например термоаккумулирующей нагрузки — бойлерных водоподогревателей и т. п.), переключения многотарифных счетчиков, управления уличным освещением и т. п. Системы ЦТУ особенно развиты в странах Западной Европы (ФРГ, Австрии, Франции, Швейцарии, Венгрии, Чехословакии). Наиболее известные фирмы по производству систем циркулярного телеуправления BBC, ZELWEGE USTER, LANDIS & GIR (Швейцария) поставляют аппаратуру во многие страны мира, благодаря чему большой процент объектов бытовой нагрузки распределительных сетей оснащены устройствами ЦТУ. В Советском Союзе циркулярное телеуправление в распределительных сетях еще не получило должного развития, главным образом из-за отсутствия многотарифной системы оплаты электроэнергии и отсутствия соответствующей техники.

Важной областью применения ЦТУ может явиться также автоматическая частотная разгрузка (АЧР), т. е. отключение части потребителей соответствующей категории при аварийной снижении частоты в энергосистеме.

Объектами ЦТУ являются выключатели (коммутаторы) нагрузки, рассредоточенные по сети 0,4 (0,22) кВ. Основным, а в большинстве случаев и единственным каналом связи для таких систем является канал тональной частоты, наложенной на промышленную частоту распределительной сети. Эти каналы наиболее экономичны и надежны в эксплуатации, в силу чего они получили наибольшее распространение в системах ЦТУ.

Каналы ЦТУ, как правило, имеют направление от центра управления (ПУ) к многочисленным КП, расположенным у потребителей. Число таких управляемых КП от одного ПУ может достигать нескольких тысяч. Устройство ПУ располагается на подстанции, находящейся, как правило, на территории ДП РЭС или ПЭС. В зависимости от числа и удаленности КП, а также от параметров и конфигурации сети электроснабжения выбирается мощность сигналов тональной частоты,

вводимой в сеть для передачи команд ЦТУ. Для повышения помехоустойчивости передачи команд ЦТУ тональные частоты рекомендуется выбирать в диапазонах между гармониками промышленной частоты, т. е. применять для приема—передачи сигналов узкополосные фильтры с шириной пропускания не более 15–20 Гц и центральными частотами 183, 217, 275 Гц и т. д. при мощности сигналов, составляющей 0,1% номинальной мощности трансформаторов сети. Передатчик ЦТУ на ПУ осуществляет модуляцию сигналов тональной частоты по амплитуде, формируя кодовые посылки с адресами КП и командами ЦТУ. Для повышения помехоустойчивости сигналов длительность импульсных посылок выбирается, как правило, не менее 0,4–0,5 с.

В Советском Союзе, как отмечалось выше, по ряду причин системы ЦТУ не получили распространения. Большое внимание научно-исследовательских организаций (ЭНИН имени Кржижановского, Сельэнергопроект, ВНИИЭ и некоторые другие) привлекли разработки систем телеконтроля и телеуправления для объектов распределительных сетей 6 (10) кВ, в частности сельскохозяйственного назначения. Объекты этих сетей, разбросанные по значительной территории часто с плохим состоянием дорог, без систем телемеханики, требуют значительных расходов и времени на отыскание повреждений и ликвидацию аварийных состояний оборудования. Структура систем телемеханики для распределительных сетей определяется организацией диспетчерского управления в тех или иных районах, конфигурацией и размерами распределительных сетей, мощностью питающих подстанций и т. п.

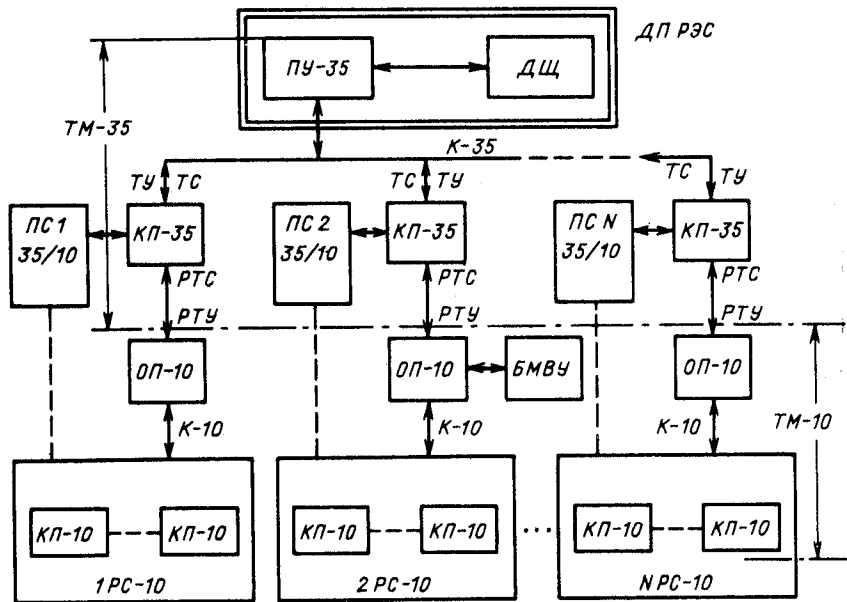
Системы телемеханики (ТМ-35) для управления понизительными питающими подстанциями 35 кВ (и выше) имеют радиальную ("один—один"), либо многоточечную радиальную ("один—N"), либо многоточечную магистральную структуру. В качестве каналов связи используются ВЧ каналы по ВЛ 35, 110, 220 кВ, дуплексные или полудуплексные, а также каналы любых других видов передачи телемеханической информации [34]. Система телемеханики ТМ-35 с многоточечной структурой строится по принципу временного разделения каналов для отдельных КП, имеющих выделенные кодовые адреса. Как правило, все КП подстанций опрашиваются последовательно во времени и при наличии на них новой информации передают ее на ПУ с обозначением своего адреса. Примерные типовые информационные емкости систем ТМ-35 для подстанций (в расчете на один КП): ТУ — до 20 двухпозиционных команд, ТС — до 40 двухпозиционных сигналов и ТИ — до 40 8-разрядных параметров. Число КП на один ПУ — до 16.

Системы телемеханики для распределительных сетей 10 (6) кВ — ТМ-10 характеризуются большим числом КП, рассредоточенных по территории распределительной сети с малой информационной емкостью (1–2 команды ТУ, 2–3 сигнала ТС, 1–2 параметра ТИ). Число таких КП в зоне одной питающей ПС 35/10 кВ может достигать нескольких десятков, а общее число таких зон (РС-10), контролируемых с одного

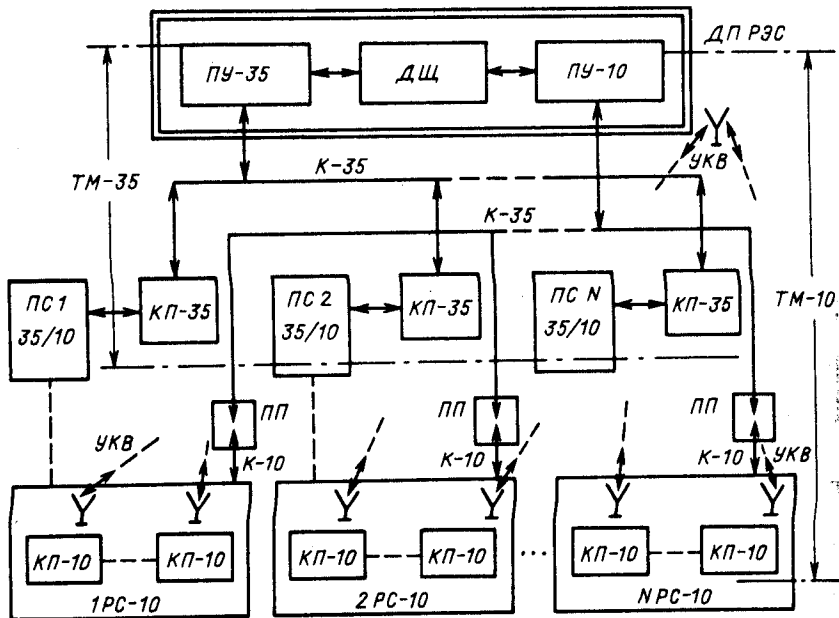
ДП РЭС, — 6—8. В качестве каналов связи для телемеханизации распределительных сетей 10 кВ используются двусторонние каналы тональной частоты по ВЛ 10 кВ либо радиоканалы УКВ. При этом устройство ПУ может располагаться на ПС 35/10 кВ и обслуживать объекты КП в зоне данной ПС либо располагаться на ДП РЭС и обслуживать КП РС-10 нескольких ПС, контролируемых и управляемых с данного ДП РЭС. Одним из основных требований к телеканалам для распределительных сетей является экономия частот, используемых для передачи телеинформации, в данной зоне. Желательно, чтобы для двусторонней передачи информации в зоне одной ПС использовалась одна частота для всех КП (как для тонального канала, так и для радиоканала). Это же требование может распространиться и на все РС-10, обслуживаемые одним ДП РЭС. Поэтому система ТМ для распределительных сетей строится по принципу временного разделения одночастотного двустороннего канала связи для всех КП сети и для передачи команд ТУ и сообщений ТК с объектов этой сети. Поскольку в силу экономии частот приходится для различных зон РС-10 использовать одну и ту же частоту каналов, для исключения влияния передач информации между РС-10, относящихся к разным зонам, необходимо дополнительное кодовое разделение сообщений для различных зон РС-10, т. е. необходим двухступенчатый выбор объемов КП: выбор адреса зоны (код зоны) и выбор адреса КП (код КП) в данной зоне.

На рис. 6.1 приведены несколько возможных структур построения систем телемеханики для питающих подстанций 35/10 (ТМ-35) и распределительных сетей 10 (6) кВ (ТМ-10). На рис. 6.1, а представлена двухуровневая структура, состоящая из системы телемеханики ТМ-35 для телемеханизации питающих подстанций 35 кВ с устройством ПУ-35 на ДП РЭС и систем ТМ-10 с устройствами ПУ (ОП-10) на самих подстанциях 35 кВ. Информация из РС-10 собирается устройствами КП-10 и по каналам К-10 передается на ОП-10, откуда она ретранслируется через КП-35 диспетчеру ДП РЭС. В обратном направлении ретранслируются команды РТУ. При наличии дежурного персонала на ПС 35 команды ТУ непосредственно могут передаваться в сеть РС-10 через блок местного воспроизведения и управления БМВУ, располагаемый в устройстве ОП-10. По описанной схеме в качестве ТМ-10 могут использоваться устройства телекомплекса ТРС-1, а в качестве ТМ-35 — любые устройства общепромышленного назначения (ТМ-120 М, МКТ-3, ГРАНИТ, АИСТ-РС), в качестве каналов связи К-35 — ВЧ каналы по ВЛ 35 кВ, в качестве К-10 — каналы тонального уплотнения по ВЛ 10 кВ аппаратуры АТКС-10.

На рис. 6.1, б представлена структура с отдельными системами телемеханики ТМ-35 и ТМ-10. Системы работают независимо друг от друга, по отдельным каналам связи. Устройства ПУ обеих систем располагаются на ДП РЭС и работают на общий ДЩ (как показано на рис. 6.1, б) либо на отдельные щиты с мнемосхемами 35 и 10 кВ. В ка-



а)



б)

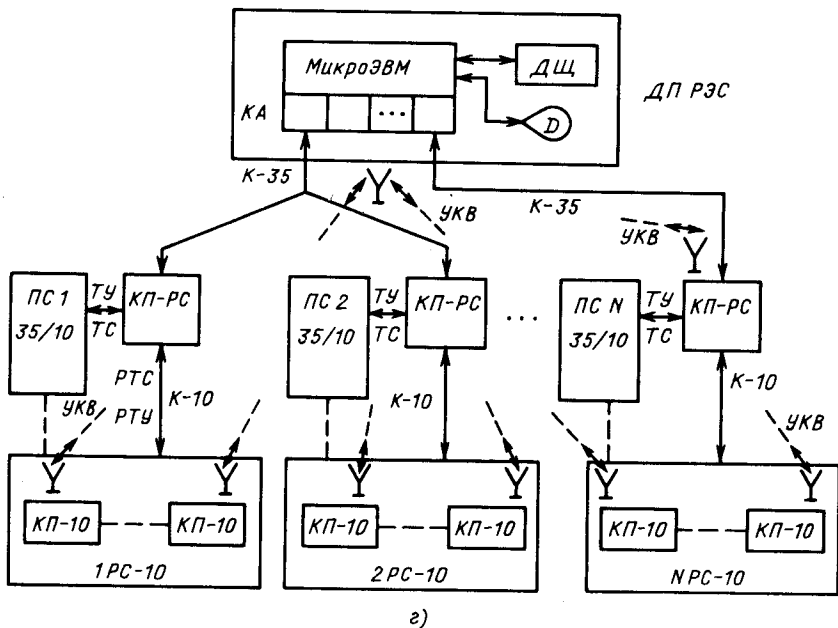
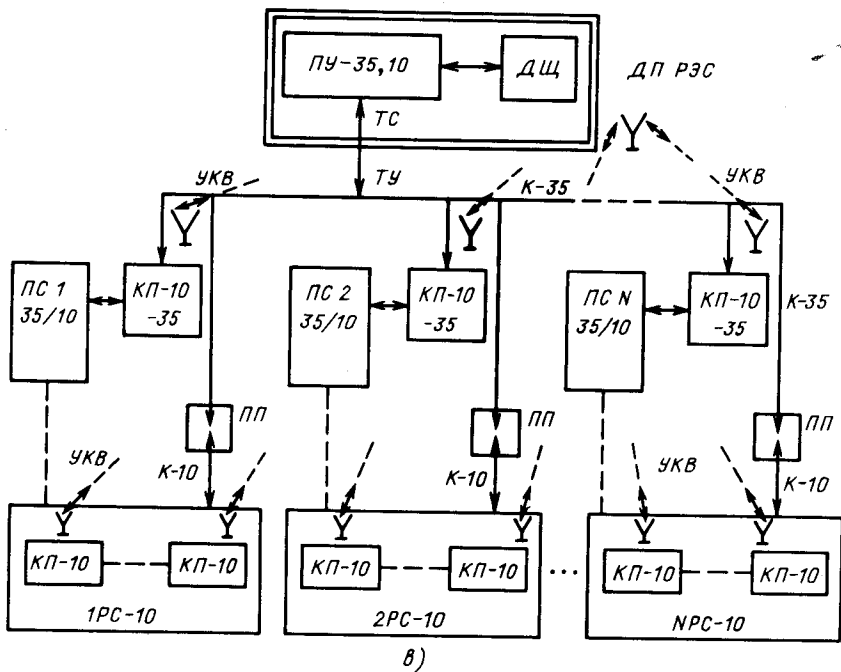


Рис. 6.1. Структуры систем телемеханики для распределительных сетей:

а – двухуровневая структура ТМ с ретрансляцией сигналов (РТС) и команд (РТУ); *б* – отдельные системы ТМ-35 и ТМ-10; *в* – совмещенная система ТМ-35, 10; *г* – двухуровневая система ТМ с совмещенными КП-35 и ОП-10 на базе микропроцессорных устройств КП-РС; ТМ-35 – система телемеханики для управления ПС 35 кВ; ПУ-35, КП-35 – УТМ системы ТМ-35; ТМ-10 – система телемеханики для распределительных сетей 10 кВ (6 кВ); ПУ-10 (ОП-10), КП-10 – УТМ системы ТМ-10; БМБУ – блок местного воспроизведения и управления УТМ ОП-10; КП-РС – микропроцессорные УТМ, выполняющие функции КП-35 и ОП-10; К-35, К-10 – каналы связи для ТМ-35 и ТМ-10 соответственно; ПП – пункты переприема канал-канал (К-35, К-10); РС-10, . . . , NPC-10 – зоны распределительных сетей 10 кВ соответствующих питающих подстанций ПС 1 35/10, . . . , ПС N 35/10; ДЩ – щит – пульт управления ДП РЭС; Д – дисплей диспетчера; КА – каналные адаптеры микроЭВМ

честве ТМ-35 и К-35 может использоваться та же аппаратура телемеханики и каналов связи, что и в двухуровневой структуре на рис. 6.1, *а*. В качестве ТМ-10 предполагается использовать аппаратуру телемеханики типа ТРС-1М с расширенной емкостью (по числу обслуживаемых КП) и с введением функций ТИ. В качестве канала связи для ТМ-10 необходим канал с переприемом: от КП-10 до подстанций 35/10 – тональный канал по ВЛ 10, как в случае двухуровневой структуры рис. 6.1, *а*, далее до ДП РЭС (если ПС не находится на территории ДП РЭС) – переприем ПП по каналу К-35 (ВЧ по ВЛ 35 либо через аппаратуру уплотнения физических телефонных линий связи). Скорость передачи сигналов по К-35 ограничивается скоростью передачи по каналам К-10. При использовании в качестве К-10 тональных каналов по ВЛ 10 кВ эта скорость не превышает 6,25 бит/с.

В качестве канала связи для телекомплекса ТРС-1М целесообразно использовать радиоканалы УКВ радиостанции типа 18Р22С Воронежского завода Минпромсвязи СССР. Телекомплексы, работающие на базе устройств телемеханики типа ТРС по тональным каналам связи по ВЛ 10 кВ, именуются системами ТМРС-10, а по радиоканалам УКВ – системами РТС-80. В системе РТС-80 приемопередатчики радиостанций устанавливаются на каждом КП сетей РС-10 и на ДП РЭС, где установлено УТМ ПУ ТРС-1М. Радиостанции обеспечивают полудуплексную связь между ПУ и каждым КП. Для приема и передачи информации используется одна и та же частота, выделенная для данного РЭС. Алгоритм работы радиоканала задается телекомплексом ТРС.

На рис. 6.1, *в* проиллюстрирована совмещенная система телемеханики ТМ-35, 10. Система работает по алгоритму телекомплекса ТРС. На ДП РЭС устанавливается ПУ-35, 10, являющийся УТМ ПУ-10 расширенной емкости, на всех КП, в том числе и на подстанциях 35/10, – устройства КП-10 системы ТРС-1М. Устройства КП-10 на объектах распределительной сети 10 кВ подключаются к общему каналу связи К-35

через III, связывающие каналы связи К-10 и К-35. Данная структура может быть использована только для маломощных питающих подстанций с малым числом объектов контроля и управления. Возможно также использование радиоканала, как и в структуре на рис. 6.1, б.

Весьма перспективной является двухуровневая структура ТМ с совмещением устройств КП-35 и КП-10 на базе микропроцессорных устройств КП-РС с программным управлением, представленная на рис. 6.1, г. Устройства КП-РС устанавливаются на ПС 35/10 кВ, где они выполняют функции КП-35 (телеконтроль и телеуправление объектами подстанции), а также функции ОП-10 в системе ТРС (опрос КП-10 и ретрансляцию сообщений ТС и ТУ от объектов РС-10 к ДП РЭС и обратно). Совмещение функций достигается соответствующим программным обеспечением микропроцессорных канальных адаптеров КП-РС, причем поскольку скорость передачи сигналов по каналам связи К-10 весьма мала (несколько бит в секунду), загрузка микропроцессора задачами сбора и передачи информации в сети РС-10 невелика и может быть организована в интервалы времени, свободные от решения задач приема-передачи информации от ДП РЭС. Функции ПУ-35 на ДП РЭС может выполнять микроЭВМ, например СМ-1800 с канальным адаптером (см. § 5.5).

6.2. КОМПЛЕКС УСТРОЙСТВ ТЕЛЕМЕХАНИКИ МКТ-3

Комплекс МКТ-3 разработан СКБ завода "Электропульт" и серийно выпускается этим заводом с 1988 г. [32].

Основная область применения — крупные питающие ПС 220, 110/35/10 (6) кВ, управляемые с диспетчерских пунктов электросетей, и узловые ПС энергосистем; в распределительных сетях может использоваться в качестве системы ТМ-35.

В телекомплекс МКТ-3 входят одно устройство КП и до трех устройств ПУ (ДП). Информация с КП может одновременно передаваться на три ДП по независимым радиальным каналам связи.

Выполняемые функции:

циклическая передача с КП телеизмерений мгновенных значений (ТИ);

воспроизведение ТИ на ПУ на аналоговых и цифровых приборах; автоматическая спорадическая передача с КП сообщений ТС, а также передача ТС по вызову с ПУ;

воспроизведение на ПУ двухпозиционных сигналов ТС на мнемосхеме диспетчерского щита (светлый, темный щит);

передача с ПУ и исполнение на КП команд телеуправления (ТУ);

ретрансляция (РТ) информации ТИ-ТС с ПУ на КП высшего ранга;

ввод информации ТИ-ТС на ДП в ЭВМ.

Информационная емкость (в зависимости от модели устройства):
ТИ — 5, 15, 30, 45 или 60 8-разрядных параметров;
цифровые ТИ — 1, 2, 3 или 4 16-разрядных сообщения;
ТС — 32, 64, 128 или 256 двухпозиционных сигналов;
ТУ — 16, 32 или 64 двухпозиционные команды ВК, ОТ;
РТ — до 30 ТИ и 256 ТС с каждого устройства ПУ и до 60 ТИ и 512 ТС
для устройства КП.

Вся информация ТИ–ТС, принимаемая ПУ, может вводиться в ЭВМ. Предусмотрена возможность ввода информации одновременно в две ЭВМ.

Предусмотрен ввод информации от ЭВМ в устройство ПУ. Интерфейс ПУ–ЭВМ предусматривает наличие в ЭВМ транзисторных ключей, работающих на нагрузку 800 Ом при напряжении 10–12 В в устройстве ПУ. Цепи устройства ПУ, связанные с ЭВМ, имеют гальваническую развязку. Информация от ПУ в ЭВМ вводится по магистральным шинам, из которых восемь информационных, семь — адресных и три — для служебных сигналов (разрешение считывания, предложение информации и неисправность телекомплекса). Нагрузочная способность каждого выхода ПУ — 30 мА для работы на две ЭВМ. Уровень логического "0" на выходе ПУ 0,1–0,2 В, уровень "1" — 10–12 В.

Основная погрешность телепередачи ТИ составляет: не более 0,6% при цифровом выходе, не более 1,0% при аналоговом выходе.

Каналы связи: дуплексный канал по проводным линиям связи или ВЧ канал по ВЛ. Для передачи информации ТИ–ТС (без ТУ) возможно использование симплексного канала связи. Скорость передачи сигналов: 50, 100, 200, 300, 600 и 1200 Бод для передачи ТИ — ТС и 50, 100, 200 и 300 Бод — для передачи ТУ. Предусмотрена возможность работы по основному и резервному каналам связи с автоматическим переходом на исправный канал.

Быстродействие передачи сообщений

Время телепередачи команды ТУ при скорости передачи сигналов по каналу связи 50 и 200 Бод соответственно равно 3,0 и 0,7 с, продолжительность исполнительского импульса — от 0,9 до 2,7 с (может регулироваться).

Время спорадической телепередачи ТС: при 50 Бод минимальное 0,56, максимальное 4,1 с; при 200 Бод — соответственно 0,14 и 1,2 с. Максимальное время определяется при наихудших условиях — при изменении объекта ТС в момент начала передачи группы ТИ.

Время телепередачи сообщений ТИ (без ускорения): 30 ТИ при 50 Бод — 11,5 с, при 200 Бод — 2,9 с. При передаче семи ускоренных ТИ (из 30) при 50 Бод — 5,6 с, при 200 Бод — 1,4 с.

Достоверность передачи информации: вероятность ложной команды ТУ меньше или равна 10^{-14} , вероятность ложного сообщения ТИ или ТС меньше или равна 10^{-8} (1-я категория по ГОСТ 26205–83).

Структуры кодов и принципы передачи информации

Сообщения ТИ–ТС. Поскольку для передачи информации ТИ применен циклический метод, а для передачи ТС – спорадический, информация ТИ–ТС передается кодовыми предложениями переменной длины. Если объекты ТС не изменяют своего состояния, то кодовое предложение содержит постоянное число кодовых слов, соответствующих числу параметров ТИ в данной группе. Все группы ТИ передаются циклически, по очереди. Каждое предложение начинается маркерной посылкой, состоящей из трех маркерных слов (рис. 6.2, а), затем следуют адресное слово ТИ и 8 информационных слов ТИ. Каждое кодовое слово содержит 14 бит. Адресное и информационное слова содержат по 8 информационных и 6 контрольных бит, образующих корректирующий код с кодовым расстоянием $d = 4$. Маркерное слово образуется специально выделенной последовательностью: 10100111001001. Передача кодов с КП на ПУ осуществляется беспарузными сигналами.

Возникновение новой информации ТС приводит к включению в кодовое предложение посылок ТС. Посылка ТС состоит из адресного и информационных слов ТС. Посылки ТС передаются после окончания маркерной посылки и посылок ТИ. Подряд может быть передано не более четырех посылок ТС, затем опять передаются посылки ТИ.

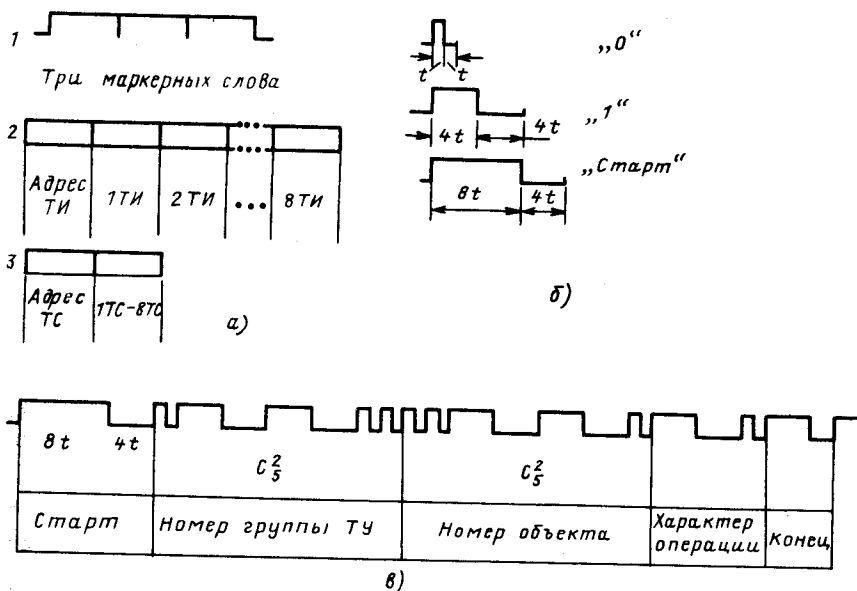


Рис. 6.2. Сигналы телекомплекса МКТ-3:

а – виды посылок: 1 – маркерная, 2 – группы ТИ, 3 – группы ТС; б – элементы сигналов ТУ; в – слово команды ТУ

Адресное слово содержит шестизрядный код адреса и двухзрядный функциональный признак ТИ или ТС. Информационное слово ТИ передается 8-разрядным двоичным кодом. Информационное слово ТС передает сообщение о состоянии восьми двухпозиционных объектов.

Контрольные символы k в информационных и адресных словах определяются следующими проверочными уравнениями:

а) информационные слова:

$$k_4 = a_1 + a_2 + a_3 + 1,$$

$$k_8 = a_5 + a_6 + a_7 + 1,$$

$$k_{10} = a_9 + 1,$$

$$k_{12} = a_1 + a_2 + a_5 + a_6 + a_{11} + 1,$$

$$k_{13} = a_1 + a_3 + a_5 + a_7 + a_9 + a_{11} + 1,$$

$$k_{14} = a_{11} + k_{12} + k_{13} + 1;$$

б) адресные слова имеют те же (по номеру) и проверочные символы, т. е. $k_4, k_8, k_{10}, k_{12}, k_{13}, k_{14}$, с той лишь разницей, что их значения дополняют до четности значения соответствующих информационных бит, а не до нечетности, как в информационных словах, например для адресного слова $k_4 = a_1 + a_2 + a_3$, $k_8 = a_5 + a_6 + a_7$ и т. д.

Для периодической проверки исправности узлов приема и передачи сообщений ТС в устройстве предусмотрен так называемый "квазицикл", т. е. принудительная передача группы ТС независимо от наличия изменения состояния объекта в этой группе. В течение "квазицикла" от всех групп ТС по очереди передаются сигналы состояния объектов. "Квазицикл" ТС повторяется через определенный промежуток времени, который может устанавливаться по желанию эксплуатационного персонала. Для исключения ложной информации или потери сообщений при спорадической передаче ТС предусмотрено положительное квитирование принятых сигналов. При приеме новых сигналов ТС устройство ПУ посылает квитацию, которую должно принять устройство КП. Если квитация не принимается в течение определенного времени, то устройство КП вновь передает ту же посылку ТС. Слово квитации содержит стартовый сигнал, адресный код ТС из шести символов и контрольный символ, дополняющий адресный код ТС до четности.

Для уменьшения времени телепередачи некоторых ТИ в телекомплексе предусмотрен для этих ТИ укороченный цикл передачи. В этом режиме за время общего цикла передачи датчики "ускоренных ТИ" опрашиваются несколько раз. Число таких ТИ ограничено и не превышает семи. Общее число ТИ при этом соответственно уменьшается, поскольку общий цикл передачи остается постоянным для данной модификации. Необходимость "ускоренных ТИ" может возникнуть для передачи

ТИ в системах автоматического регулирования частоты (САУРЧМ), где время обновления обычно не должно превосходить долей секунды.

Команды ТУ. Для передачи команд ТУ используются сигналы с побитовой синхронизацией. Число импульсов и пауз в посылках ТУ постоянно (14 импульсов в слове ТУ). Стартовый импульс имеет длительность $8t$, символ 0 передается импульсом и паузой длительностью по t , символ 1 — импульсом и паузой длительностью по $4t$ (рис. 6.2, б). Посылка ТУ состоит из стартового сигнала ($8t + 4t$), сигналов выбора характера операции ВК или ОТ (1,0 или 0,1), выбора номера группы и номера объекта управления в группе. (Выбор номера группы и номера объекта в группе осуществляется кодом C_5^2 .) Общее число возможных двухпозиционных команд ТУ равно 100:

$$C_{\text{ТУ}} = C_{\Gamma} C_{\text{O}} = C_5^2 C_5^2 = 100,$$

где C_{Γ} — число групп ТУ; C_{O} — число двухпозиционных объектов в группе.

Из общего числа используется 64 команды ТУ. Для большей надежности посылка ТУ состоит из двух повторяющихся слов.

Ретрансляция ТИ—ТС. Ретрансляция информации ТИ—ТС (РТ) производится по запросу устройства КП верхнего ранга. Устройство КП верхнего ранга и устройства ПУ нижнего ранга соединяются магистральными информационными шинами, магистральными адресными шинами ТИ и ТС и шинами запроса информации ТИ и ТС. Запрос информации РТ производится при поступлении на адресные магистральные шины от устройства КП адресов ТИ и ТС в двоичном коде, которые расшифровываются дешифраторами ПУ нижнего ранга. После приема общего запроса ТИ или ТС ретранслируемая информация появляется на магистральных информационных шинах и поступает в устройство КП. Информация ТИ ретранслируется в темпе работы КП верхнего ранга. Информация ТС должна ретранслироваться по мере ее обновления, поэтому она периодически с высокой скоростью запрашивается у устройств ПУ нижних рангов и вводится в устройство КП верхнего ранга, где она сравнивается с информацией, полученной в результате предыдущего цикла опроса. Если при этом сравнении обнаруживается новый сигнал, то он передается так же, как ТС от местных датчиков. Для ретрансляции информации от устройств МКТ-3 дополнительных узлов ретрансляции не требуется. При необходимости ретрансляции информации от устройств ПУ МКТ-2 оно должно быть дополнено дешифратором адресного кода и усилителями.

Аппаратная элементная база

Логические узлы схемы устройств МКТ-3 реализованы на интегральных микросхемах К176 малой и средней интеграции. Для гальванической развязки входных, выходных и линейных цепей применены диод-

ные АОД101 и транзисторные оптроны в интегральном исполнении К249КП2. В качестве выходных реле ТС установлены реле с магнитоуправляемыми контактами РЭС64, выходные реле ТУ РП21. Для контроля за работой узлов схемы применены светодиоды АЛ307 и цифровые индикаторы АЛО324.

Автодиагностика и сервис

В устройствах КП и ПУ предусмотрены:

- непрерывный опрос исправности субблоков с автоматической цифровой индикацией неисправного субблока;
- цифровая индикация кода по каналам ТИ;
- световая индикация информации ТИ–ТС по каждому каналу;
- световая индикация режимов общих узлов устройств;
- регистрация числа переданных и принятых команд ТУ и отказов в приеме информации ТИ–ТС;
- ручной набор информации ТИ и ТС (набор кода) по каждому каналу, в том числе вводимой в ЭВМ.

Конструкция шкафов устройства МКТ-3

Шкафы подразделяются на центральные и периферийные. В центральных шкафах содержатся общие логические узлы схем ТИ–ТС–ТУ, а также некоторое количество выходных узлов. Периферийные шкафы содержат выходные узлы. Типы шкафов зависят от информационной емкости, типа щита и места расположения ключей ТУ (щит или пульт). В состав устройства КП входит один из центральных шкафов и может входить один из периферийных шкафов. В состав устройства ПУ входит один из центральных шкафов и может входить до двух периферийных шкафов.

Все шкафы – напольного типа, обслуживание – одностороннее. Габариты всех шкафов 2000 × 600 × 425, кроме шкафа для ретрансляции 1024 ТС и 120 ТИ, размер которого 2200 × 800 × 425. В шкафах на поворотной раме закреплены блоки (типовые кассеты БУК-6).

Питание и потребление

Питание устройств МКТ-3 производится от сети переменного тока 220 В, 50 Гц. Выполнение всех функций и сохранение работоспособности обеспечивается при изменении напряжения питания на КП и ПУ в пределах $+10 \div -20\%$ номинального значения и изменении частоты от 46 до 52 Гц.

Мощность, потребляемая устройством КП, – не более 150 В · А, устройством ПУ – не более 250 В · А при максимальном объеме входных и выходных узлов.

6.3. СИСТЕМА ТЕЛЕМЕХАНИКИ ТМРС-10 ДЛЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 10 (6) кВ

Основная область применения — телемеханизация распределительных сетей 10(6) кВ (в дальнейшем 10 кВ) сельскохозяйственного назначения [39]. Система ТМРС-10 состоит из комплекса устройств телемеханики типа ТРС-1 и каналообразующей аппаратуры АКТС-10, обеспечивающей передачу телемеханических сообщений по каналу тональной частоты, наложенной на электрическую сеть 10 кВ. Система обеспечивает телеконтроль и телеуправление объектами сетей электроснабжения потребителей, находящихся в зоне одной питающей (опорной) подстанции 35/10 кВ.

Передача информации от объектов телеконтроля (секционирование выключатели, выключатели распределительных пунктов, пунктов АВР и пр.) осуществляется на опорную подстанцию (ОП) и далее ретранслируется на ДП РЭС. Телеуправление этими объектами производится с ОП (при наличии на ней дежурного персонала) либо ретрансляцией команд с ДП РЭС. Примерная структурная схема системы ТМРС-10 представлена на рис. 6.4.

Комплекс устройств телемеханики ТРС-1

Телекомплекс ТРС-1 разработан ВНИИЭ и СКБ завода "Электропульт". Серийный выпуск ТРС-1 производится заводом "Электропульт" с 1985 г.

Устройства телемеханики ТРС-1 в комплексе с каналообразующей аппаратурой на тональных частотах АТКС-10 либо аппаратурой УКВ радиостанций* обеспечивают передачу и прием сообщений ТС из распределительных сетей 10 кВ сложной конфигурации и передачу команд ТУ к объектам этой сети. Кроме того, устройство ТРС-1 ПУ осуществляет ретрансляцию сигналов ТС (РТС) через устройство телемеханики КП верхнего ранга и ретрансляцию команд ТУ (РТУ) с ДП РЭС (см. рис. 6.1, а). В качестве УТМ верхнего ранга могут использоваться устройства КП-35 типов МКТ-2, МКТ-3, ГРАНИТ, АИСТ КП-РС, ТМ-120 М.

Состав комплекса ТРС-1. Комплекс ТРС-1 содержит от одного до 15 устройств КП и одно устройство ПУ. Устройства КП выполняются двух моделей — КП-А и КП-Б, различающихся информационной емкостью. Устройство ПУ устанавливается в помещении опорной подстанции, устройства КП — непосредственно около выключателей мощности пунктов секционирования, распределительных пунктов 10 кВ, на энергообъектах нагрузки 0,4 кВ и т. п., как правило, на открытом воздухе либо в трансформаторных будках.

* Телекомплекс, состоящий из УТМ ТРС-1 и УКВ радиостанций типа 18Р22С, именуется РТС-80.

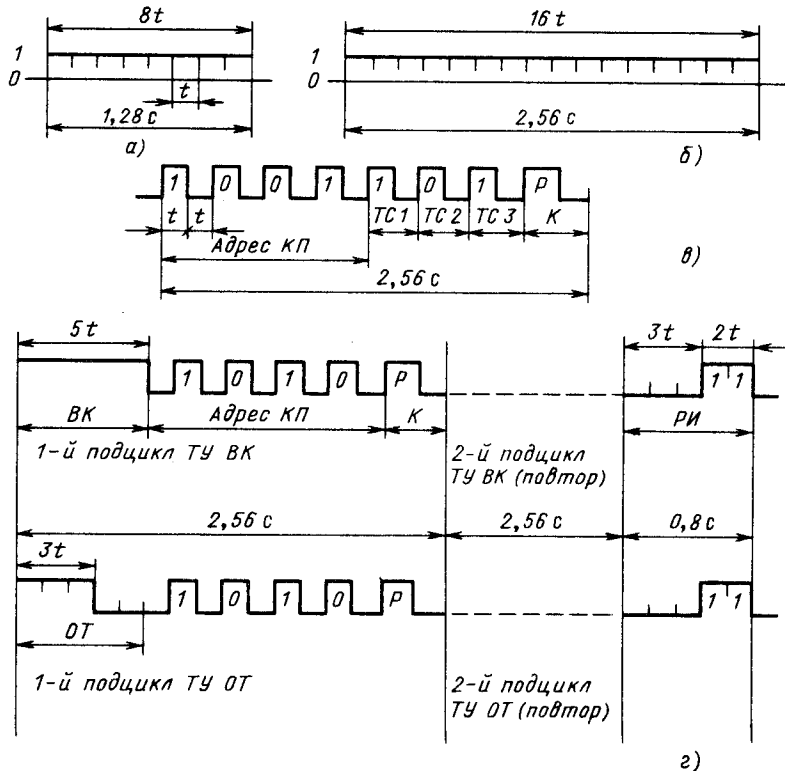


Рис. 6.3. Кодограммы телекомплекса ТРС-1:

а – маркерный сигнал МС с ПУ; *б* – вызывной сигнал ВС с КП; *в* – информационный подцикл ТС ("окно" КП 1001); *г* – команды ТУ ВК и ОТ, объект N10(1010)

Выполняемые функции, информационная емкость ТРС-1. Аппаратура комплекса выполняет следующие функции:

- периодический запрос с ПУ информации на всех КП;
- передачу с КП и прием на ПУ сообщений ТС по запросу с ПУ, а также автоматически при переключении объектов ТС на КП;
- передачу с ПУ и прием на КП двухпозиционных команд ТУ;
- ретрансляцию сообщений ТС (РТС) в кодовой форме по запросу КП верхнего ранга;
- ретрансляцию с ПУ на КП команд ТУ (РТУ), получаемых от КП верхнего ранга.

Информационная емкость устройства КП-А – 3 ТС, 1 ТУ; КП-Б – 9 ТС, 3 ТУ.

Общее число устройств КП модели А на одно ПУ – до 15. Общее число сигналов, принимаемых ПУ, – 60, из которых 45 – двухпозицион-

ные ТС и 15 – контрольные сигналы о работоспособности устройств КП (по одному сигналу с каждого КП).

Общее число команд ТУ, передаваемых с ПУ, – до 15; ретранслируемых через ПУ: РТУ – 15, РТС – 60.

Принципы передачи информации. Телекомплекс ТРС-1 является кодоимпульсной системой телемеханики с временным разделением общего канала связи между КП. Для обеспечения синхронной работы всех устройств КП и ПУ используется синхронная сеть 50 Гц. Синфазирование устройств КП и ПУ осуществляется стартовым (маркерным) сигналом (МС), посылаемым с ПУ на все устройства КП. Сигнал МС существенно отличается по длительности от всех остальных рабочих сигналов в канале связи. Его продолжительность составляет $8t$, где $t = 0,16$ с – длительность информационного импульса (рис. 6.3). При приеме МС запускаются переключатели РИ (распределители импульсов) на всех КП, которые синхронно переключаются с распределителем импульсов в устройстве ПУ благодаря наличию на всех пунктах системы синхронной тактовой частоты. Синхронная тактовая частота образуется путем деления промышленной частоты 50 Гц на 16 с помощью электронных делителей частоты. Таким образом, синхронная тактовая частота переключения распределителей $F = 50/16 = 3,125$ Гц, длительность одного периода 320 мс.

Передача информации ТС. Каждому КП отводится свое информационное окно – по 8 периодов тактовой частоты (2,56 с). Номера периодов тактовой частоты, отведенных данному КП, строго фиксированы (распайкой соответствующих перемычек в аппарате КП). Цикл опроса всех 15 КП составляет 128 тактов (8 тактов МС и 15×8 информационных тактов), т. е. 40,96 с.

При переключении РИ данного КП в позицию, соответствующую его информационному окну, начинается передача информации с этого КП. За 8 периодов (8 импульсов по 160 мс, разделенных восемью паузами такой же длительности) передаются адрес КП (4 периода), состояние объектов ТС и сигнал исправности КП (3 периода), а также контрольный сигнал P защиты по нечетности (1 период). Информационным импульсным признаком на каждом периоде является наличие или отсутствие импульса длительностью $t = 160$ мс. Адрес КП кодируется четырехразрядным двоичным кодом (рис. 6.3, в). Паузы между импульсами используются в качестве разделительных интервалов. Наличие разделительных пауз между информационными импульсами контролируется. Их число в "окне" всегда постоянно (8). В аппарате ОП при переключении РИ на соответствующих тактах также формируются адреса КП, которые побитно сравниваются с адресами КП, принимаемыми из канала связи. При несоответствии адресов КП (принимаемого из канала связи и сформированного в аппарате ОП), при нарушении нечетности числа принятых в "окне" единиц или числа разделительных пауз информация бракуется и опрос повторяется. При фиксации под-

ряд пяти ошибок по одному и тому же КП выдается сигнал "неисправность" соответствующего КП, после чего осуществляется однократный запрос через 20 мин с последующей отменой неисправности по данному КП.

Стартовый сигнал МС посылается с ОП для запроса информации с КП в следующих случаях: а) автоматически для контроля каналов связи и аппаратуры комплекса периодически с интервалами, задаваемыми таймером в устройстве ОП (обычно 1 раз в 3 ч); б) вручную, по желанию диспетчера; в) в случае изменения информации на любом КП при получении вызывного сигнала ВС из канала связи; г) по запросу от УТМ верхнего ранга; д) при фиксации ошибок при приеме информации от КП.

Если в период между циклическими опросами возникает сигнал ВС, аппарат ПУ немедленно по получении этого сигнала вырабатывает стартовый сигнал МС и начинается внеочередной опрос всех КП.

При фиксации приема сигнала МС на КП запрещается передача вызывного сигнала ВС. Во время передачи с КП сигнала ВС осуществляется запрет на прием сигнала МС. При приеме сигнала МС все КП приводятся в исходное состояние, и по окончании МС начинается синхронная передача всех КП на ПУ, начиная с младшего адреса КП. В случае самопроизвольного отключения объекта ТС на КП посылка вызываемого сигнала ВС происходит с задержкой на 40 с, необходимой для срабатывания двухступенчатого АПВ. Если АПВ окажется успешным, изменение состояния объекта ТС аппаратом КП не фиксируется и сигнал ВС не посылается. Внеочередной опрос всех КП происходит также после передачи команды ТУ для какого-либо КП.

Ретрансляция сигналов ТС (РТС). Информация ТС, собираемая со всех КП устройством ПУ, может ретранслироваться на ДП РЭС (или ДП ПЭС). Передача РТС предусмотрена в кодовой форме по запросу от КП верхнего ранга как с общих узлов, так и от контактов индивидуальных реле ТС в устройстве ПУ ТРС-1. При ретрансляции в кодовой форме обмен сигналами между КП верхнего ранга и ТРС-1 ПУ производится по магистральным шинам. При наличии сигнала запроса на РТС от КП верхнего ранга устройство ПУ выдает импульс разрешения ретрансляции. Адрес запрашиваемого КП ТРС поступает по четырем адресным шинам в двоичном коде. Запрашиваемая информация ТС выводится на четыре информационных шины вместе с сигналом (импульсом) разрешения РТС. К моменту окончания импульса РТС на информационных шинах присутствует информация ТС по запрашиваемому адресу КП. При изменении состояния объектов ТС устройство ПУ посылает устройству КП верхнего ранга сигнал новой информации, который снимается сигналом запроса ретранслирующего устройства и вызывает передачу РТС.

Передача команд ТУ. Команда ТУ состоит из двух одинаковых подциклов (для большей надежности) и сигнала разрешения исполнения

РИ (рис. 6.3, з). В каждом подцикле передается характер операции (включить *ВК* и отключить *ОТ*) и адрес КП. Сигналы *ВК* и *ОТ* являются также функциональными признаками и стартовыми сигналами (маркерами) операции ТУ, а код адреса КП одновременно является и кодом номера объекта ТУ (поскольку на каждом КП имеется один объект ТУ). Каждый подцикл ТУ содержит по 8 периодов тактовой частоты (тактов) или по 16 полутактов длительностью $t = 0,16$ с. Сигнал *ОТ* равен $3t$ (0,48 с), сигнал *ВК* — $5t$ (0,8 с). Адрес КП передается четырехразрядным двоичным кодом с защитой по четности. Сигнал разрешения исполнения *РИ* (интервал длительностью $3t$, импульс длительностью $2t$) посылается после окончания двух подциклов ТУ. При приеме команды ТУ на КП адрес КП, полученный из канала связи, сравнивается с адресом данного КП. При совпадении адресов, фиксации защиты по четности и определенного числа разделительных пауз в 1-м подцикле дается разрешение на прием 2-го подцикла. При совпадении 1-го и 2-го подциклов дается разрешение на фиксацию сигнала *РИ*. После приема сигнала *РИ* на заданном месте импульсной серии выдается команда на управление. Время исполнительного импульса ТУ — от 2 до 2,5 с.

Сигнал общего опроса КП ВС после исполнения команды ТУ формируется сразу без выдержки 40 с, которая необходима при автоматическом переключении объектов ТС. В случае отсутствия ВС (если команда ТУ не выполнена) устройство ПУ через интервал времени 7,68 с (три подцикла) посылает сигнал общего опроса МС.

Команды ТУ могут посылаться с ОП от блока БМВУ в устройстве ПУ ТРС-1 (ключи управления выведены на переднюю панель блока БМВУ) либо с пульта диспетчера РЭС через вышестоящее УТМ методом ретрансляции команд (РТУ). Для ввода команд ТУ в устройство ПУ ТРС-1 предусмотрены 7 магистральных шин: 5 шин адреса КП (4 информационные и одна для защиты по четности), 6-я шина — для выбора характера операции (*ВК* — сигнал 1, *ОТ* — сигнал 0) и 7-я шина — сигнал пуска. По сигналу пуска набранная команда ТУ передается во входные узлы ПУ и осуществляется кодирование команды ТУ. Для РТУ от вышестоящего КП предусмотрены дополнительно две магистральные шины, по которым устройства обмениваются сигналами запроса и разрешения РТУ. Передача и ретрансляция команд ТУ возможны только во время интервалов между опросами КП (предпочтительнее ТС перед ТУ). Поэтому устройство ПУ в ответ на запрос РТУ выдает сигнал занятости ПУ приемом информации ТС.

Элементарная база, условия эксплуатации и надежности аппаратуры телекомплекса ТРС-1. Логические узлы схемы устройств ТРС-1 выполнены на интегральных микросхемах К561 средней интеграции. Линейные цепи, узлы ретрансляции имеют гальваническую развязку на диодных оптронах АОД101. Входные и выходные реле ТС — электромагнитные реле РЭС49 и РЭС60, выходные реле ТУ — РП21.

Питание устройств ПУ и КП должно производиться от синхронной сети переменного тока напряжением 220 В, 50 Гц при допустимых изменениях напряжения питания на КП $+10 \div -20\%$, на ПУ $+10 \div -15\%$ номинального значения и изменении частоты питающей сети от 47,5 до 52,5 Гц.

Мощность, потребляемая устройством КП (модель А), — не более 25 В · А, устройством ПУ (при максимальной емкости) — не более 150 В · А.

Устройства КП предназначены для эксплуатации на открытом воздухе при непосредственном воздействии солнечной радиации, дождя, пыли, влажности, допустимая температура — от -40 до $+45$ °С, влажность — до 100% при 25 °С. Устройство ПУ должно устанавливаться в закрытом помещении при отсутствии прямого попадания влаги, солнечной радиации, пыли и пр.; допустимая температура — от 1 до 40 °С, влажность — до 80% при 25 °С.

Завод-изготовитель гарантирует среднюю продолжительность работы до отказа одного КП не менее 10 000 ч. Устройства КП размещены в герметизированных шкафах навесного типа с габаритами 560 × 560 × 350 мм, массой 37 кг, устройства ПУ — в пылезащищенном шкафу напольного типа с габаритами 2000 × 600 × 425 мм, массой 146 кг.

Среднее время восстановления работоспособности комплекса ТРС-1 — не более 2 ч. Для обеспечения этого времени в устройстве ПУ предусмотрен резервный блок ТМ устройства КП, что обеспечивает при выходе из строя одного из УТМ КП быструю замену его резервным блоком и восстановление работоспособности всего комплекса.

Для контроля исправности работы комплекса ТРС-1 и удобства его обслуживания и наладки на передние панели блоков устройства ПУ вынесены светодиоды для: индикации кода, принимаемого и выдаваемого в устройства канала связи; индикации сообщений ТС по каждому адресу КП; индикации состояния КП (исправлен, неисправлен) по каждому адресу.

В устройстве КП имеется встроенный индикатор для проверки работоспособности узлов ТС и ТУ.

Аппаратура тонального канала связи АТКС-10*

Аппаратура АТКС-10 предназначена для образования двустороннего канала связи по ВЛ 10 кВ на тональной частоте для передачи контрольной информации (ТС) от КП, расположенных в различных пунктах распределительной сети 10 кВ, и передачи команд ТУ в обратном направлении — от ПУ к КП. В качестве несущей тональной частоты в

* Разработана ЭНИН имени Кржижановского при участии института "Сельэнергопроект" и ВНИИЭ.

обоих направлениях используется частота 1003 Гц. Разделение направлений сигналов тональной частоты в каналах — временное. Алгоритм работы аппаратуры АТКС-10 задается телекомплексом ТРС-1. В состав АТКС-10 входит следующая аппаратура:

пункт управления (ПУ): приемо-передающая аппаратура тонального канала связи АТКС-10 ПУ; устройство присоединения передатчика на опорной подстанции (ОП) — УП ОП; устройство присоединения приемника на ОП—УП ТВС;

контролируемые пункты (КП): приемо-передающая аппаратура тонального канала связи при конденсаторном присоединении АТКС-10 КП—К; то же при трансформаторном присоединении АТКС-10 КП—Т; устройство присоединения конденсаторное УП КП—К; трансформатор связи ТСВ; фильтр несущей частоты ФН.

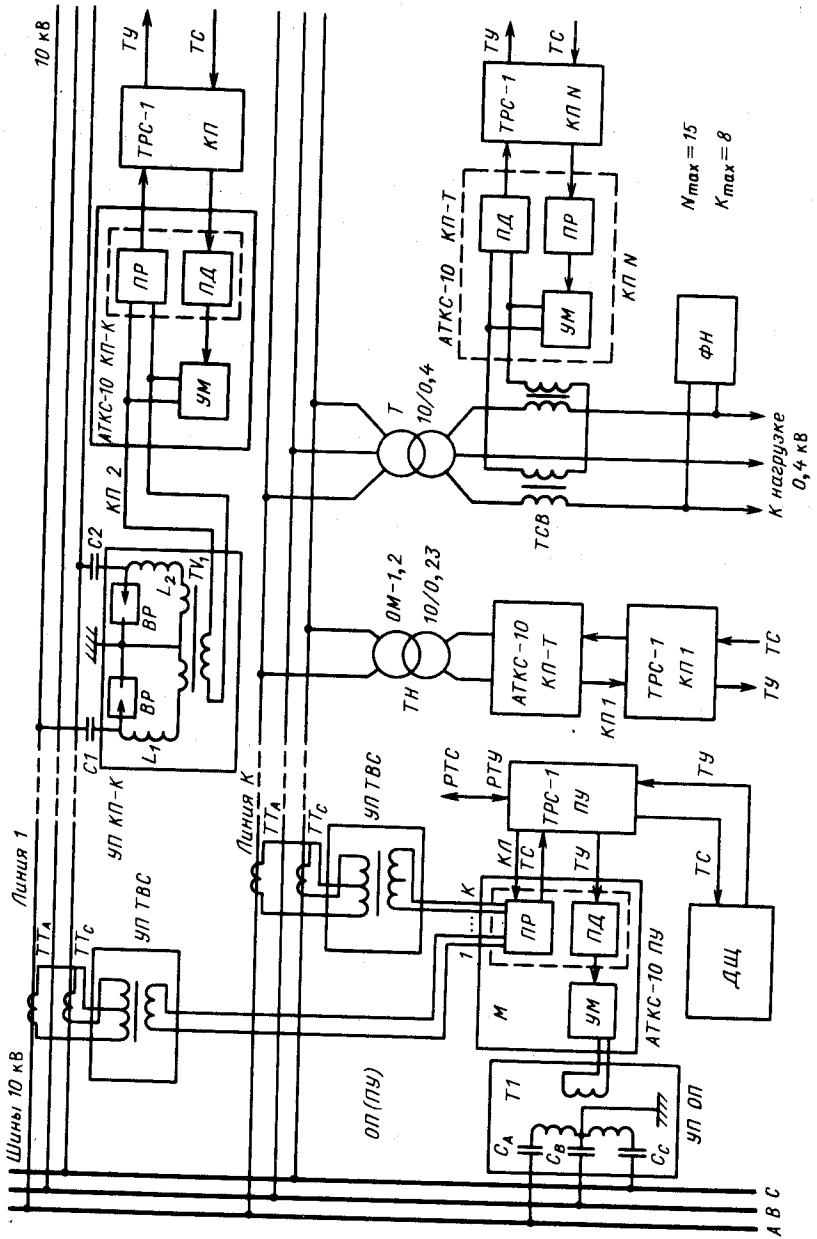
Схема организации канала на тональной частоте и назначение аппаратуры канала связи приведены на рис. 6.4.

Ввод сигналов тональной частоты со стороны ОП (ПУ) и со стороны КП в распределительную сеть 10 кВ осуществляется по схеме "фаза—фаза". Эта схема обеспечивает работоспособность системы ТМРС-10 при однофазных КЗ на землю, что является обязательным требованием к каналам передачи информации по ВЛ 10 кВ. Со стороны ОП тональные сигналы вводятся по параллельной схеме на шины ПС 10 кВ (на рис. 6.4 фазы А и С) через конденсаторное устройство присоединения передатчика УП ОП. Устройство УП ОП состоит из конденсаторов (C_A, C_B, C_C) и согласующего трансформатора Т1. Согласующий трансформатор выполнен из трех воздушных дисковых катушек, центры которых расположены на одной оси. Крайние катушки подключаются к фазам А и С сети, и их индуктивности образуют с емкостями C_A и C_C фильтры, настроенные на частоту 1003 Гц. Центральная катушка (генераторная) подключается к усилителю мощности УМ передатчика ПД модема. Конструкция Т1 обеспечивает слабую связь между сетевыми и генераторной обмотками и циркуляцию тока несущей частоты на фазах А и С при полном отсутствии отсоса в фазу В. Конденсатор C_B подключен к фазе В для симметрирования емкостного тока 50 Гц, обмотки Т1 имеют отпайки, обеспечивающие настройку линейных контуров в резонанс на частоте 1003 Гц.

Прием тональных сигналов на ОП от устройств КП, подключенных к линиям 10 кВ, производится по схеме последовательного съема сигналов по току через измерительные трансформаторы тока $ТТ_A$ и $ТТ_C$.

Токовый ввод сигналов тональной частоты на ОП обеспечивает более высокое отношение сигнал/помеха, чем при съеме сигнала по напряжению (во столько раз, во сколько входное сопротивление одной линии больше входного сопротивления опорной подстанции — см., например, [34]).

Для независимости уровня помех от числа отходящих от шин под-



$N_{max} = 15$
 $K_{max} = 8$

К нагрузка
 0,4 кВ

Линия 1

Линия К

ОП (ПУ)

А В С

Рис. 6.4. Структура системы ТМРС-10:

ОП – опорная подстанция; *КП 1, . . . , КП N* – контролируемые пункты распределительной сети 10 кВ; *ТРС-1 ПУ* – устройство телемеханики пункта управления; *ТРС-1 КП* – устройство телемеханики КП; *АТКС-10 ПУ* – приемно-передающая аппаратура тонального канала связи ПУ; *УП ОП* – устройство присоединения передатчика на ОП; *УП ТВС* – устройство присоединения приемника на ОП; *М* – модем; *ПР* – приемник; *ПД* – передатчик; *УМ* – усилитель мощности сигналов передатчика; *АТКС-10 КП-К* – приемно-передающая аппаратура тонального канала связи на КП при конденсаторном присоединении; *АТКС-10 КП-Т* – то же при трансформаторном присоединении; *УП КП-К* – устройство присоединения на КП конденсаторное; *КП-Т* – присоединение на КП трансформаторное; *Т₁* – согласующие трансформаторы; *ВР* – вилтовый разрядник; *ТТ_А, ТТ_С* – трансформаторы тока в фазах *A* и *C* на ОП; *T* – сетевой трансформатор 10/0,4 кВ; *ОМ-1,2* – трансформатор контрольный 10/0,23 кВ; *ДШ* – щит – пульт управления; *ФН* – фильтр нагрузки; *ТН* – трансформатор напряжения

станции линий 10 кВ сигналы с каждой линии вводятся независимо друг от друга через индивидуальные устройства присоединения с токовым вводом сигнала (УП ТВС), которые подключаются к входу приемника АТКС-10 ПУ через коммутатор *КЛ*, установленный в устройстве телемеханики ТРС-1.

Устройство *УП ТВС* представляет собой трансформатор, преобразующий ток сигнала в напряжение и обеспечивающий также сохранность вторичных цепей трансформаторов тока при повреждениях в цепях приемника *ОП*. Обмотки трансформатора имеют отпайки для подключения к различным трансформаторам тока (50/5; 75/6; 100/5; 150/5; 200/5; 300/5; 400/5).

Способы ввода и съема тональных сигналов на КП зависят от наличия того или иного оборудования на энергообъектах. Присоединение аппаратуры к ВЛ 10 кВ на КП может осуществляться тремя способами:

- через отдельный однофазный трансформатор напряжения *ТН*, например *ОМ-1,2 10/0,23 (КП 1* на рис. 6.4);
- через конденсаторы *С1, С2 (КП 2* на рис. 6.4);
- через силовые трансформаторы нагрузки *T 10/0,4 кВ (КП N* на рис. 6.4).

Устройства присоединения через силовой трансформатор нагрузки включают в себя два трансформатора связи *ТСВ*, первичные обмотки которых включены в рабочие фазы последовательно с нагрузкой. Вторичные обмотки *ТСВ* включены последовательно – встречно. *ТСВ* выполняются в нескольких модификациях для подключения к сетевым трансформаторам мощности от 25 до 620 кВ · А.

Нагрузка потребителя 0,4 кВ шунтируется фильтром несущей частоты *ФН*, настроенным в резонанс на частоту 1003 Гц (для защиты нагрузки от напряжения тональной частоты).

При наличии на КП отдельного трансформатора напряжения, например ОМ-1,2 (10/0,23), ввод и съем сигналов тональной частоты можно организовать через него с использованием аппаратуры АТКС-10, КП—Т (на рис. 6.4 КП I).

Трансформаторные присоединения обладают низким КПД, поскольку примерно 95% мощности передатчика теряется в трансформаторе.

Устройство присоединения конденсаторное (УП КП—К) содержит согласующий трансформатор T_1 и две катушки индуктивности L_1 и L_2 , которые совместно с конденсаторами связи $C1$ и $C2$ образуют двухфазный фильтр для компенсации реактивного сопротивления конденсаторов связи. Трансформатор T_1 позволяет согласовать входное сопротивление линии с аппаратурой АТКС-10 КП—К. Защита УП КП—К от перенапряжения обеспечивается вилитовыми разрядниками на напряжение 2,0 кВ. В качестве конденсаторов связи $C1$ и $C2$ используются конденсаторы типа СММ-20/ $\sqrt{3}$ -35. Конденсаторное присоединение имеет малое затухание на тональной частоте, что позволяет снизить мощность вводимого тонального сигнала в 10–20 раз по сравнению с трансформаторным присоединением [34].

Помехоустойчивость сигналов и достоверность сообщений в системе ТМРС-10

Помехоустойчивость передачи сигналов в системе ТМРС-10 обеспечивается прежде всего высоким соотношением энергии передаваемых сигналов и энергии помех в канале в заданной полосе пропускания фильтров приемных устройств.

Основные помехи при передаче сигналов тональной частоты по электрическим распределительным сетям 10 кВ — это высшие гармонические составляющие промышленной частоты. Источниками помех высших гармоник являются нелинейность сети электроснабжения и нагрузки. Уровни этих помех зависят от конфигурации и параметров элементов сети, режимов и протяженности линий электропередачи, нагрузок и места их подключения и т. п.

В процессе эксплуатации распределительных сетей уровни помех могут существенно изменяться, что может привести к ухудшению соотношению сигнал/помеха, т. е. к ухудшению помехоустойчивости передачи сигналов. Поэтому уровень сигнала следует рассчитывать на наиболее неблагоприятный случай и брать с достаточным запасом, чтобы обеспечить уверенную передачу и прием сигналов в любой точке сети.

Полоса пропускания приемного фильтра тонального канала выбирается, как правило, в диапазоне частот между гармониками промышленной частоты. С учетом того, что расстояние между соседними гармониками составляет 50 Гц, ширина пропускания приемного фильтра должна составлять не более 20–30 Гц.

С ростом частоты несущей уровень гармонических помех как в напряжении, так и в токе снижается и в диапазоне 20-й гармоники (и вы-

ше) становится соизмеримым с уровнем флукуационных помех, равномерно распределенных в широком диапазоне частот, в том числе и в диапазонах между гармониками. Флукуационные помехи представляют собой последовательность коротких импульсов, имеющих случайную амплитуду. Частота следования этих импульсов такова, что переходные процессы от их воздействия не успевают затухнуть, образуя непрерывный случайный процесс в широком диапазоне частот (белый шум). При передаче сигналов по распределительным сетям следует учитывать также влияние импульсных помех, источником которых являются ударные нагрузки (сварка, дуговые электропечи, электротяга и т. п.), а также перенапряжения при коммутации в электрических цепях, короткие замыкания и т. п.

По данным экспериментальных исследований, проведенных в конкретных распределительных сетях 6 и 10 кВ [35, 36], расчетный уровень флукуационных помех при работе между гармониками следует принимать равным $0,1\% U_{\text{ном}}$ в диапазоне частот 725–1275 Гц (при приеме по напряжению) и 40 мА (при приеме по току). Приняв за исходные эти данные и требования ГОСТ 26205–84 об обеспечении отношения сигнал/помеха не менее 7, получим необходимые уровни принимаемого сигнала (при $U_{\text{ном}} = 6$ кВ): $U_c \approx 16$ В; $I_c \approx 106$ мА.

Наибольшие импульсные помехи по данным института "Сельэнергопроект"* возникают при перемежающихся замыканиях фазы ВЛ 10 кВ на землю. Уровень помех при этом достигал 120 В на частотах гармоник и 45 В между гармониками. При таких уровнях помех невозможно обеспечить требуемое соотношение сигнал/помеха при приемлемых уровнях передаваемого сигнала. При всех других видах замыканий на землю, кроме перемежающихся дуговых замыканий, уровни помех практически такие же, как и в нормальном режиме.

Как показывает статистика, перемежающиеся дуговые замыкания на землю составляют не более 3% всех видов замыканий на землю. При отсутствии информации с КП телекомплекс ТРС-1 производит многократный опрос КП. Поэтому допустимы относительно редкие сбои в работе телекомплекса, чтобы не завышать уровни передаваемого сигнала. Ложные сообщения при этом практически исключаются примененными защитами.

Достоверность приема сообщений в телекомплекс ТРС-1

Достоверность приема сообщений в телекомплексе ТРС-1 обеспечивается высокой помехоустойчивостью сигналов и способом фиксации логических 1 и 0 в приемнике ТРС-1, а также кодовыми защитами. Помехоустойчивость сигналов определяется высоким соотношением

* Измерения помех и их анализ проводились в распределительных сетях 10 кВ под руководством инж. Г. С. Чиркова.

сигнал/помеха в полосе пропускания узкополосных фильтров в аппаратуре канала связи. Фиксация логических сигналов 1 и 0 в приемнике ТРС-1 осуществляется многократным сканированием принимаемых элементарных сигналов. В течение импульса, соответствующего логической единице (длительностью $t = 160$ мс), производится восьмикратное сканирование. Принятый импульс считается логической единицей, если в течение 160 мс будет зафиксировано совпадение принимаемого и сканирующих импульсов не менее 4 и не более 12 раз, т. е. допускается изменение длительности логической единицы 160 ± 80 мс. Сигналы меньшей и большей длительностей бракуются, и фиксируется ошибка при приеме, требующая повторной передачи.

Достоверность приема сигналов ТС определяется, кроме того: использованием помехозащищенного кода с защитой по нечетности в информационных подциклах, принимаемых ПУ; контролем числа разделительных пауз в информационном "окне"; наличием адреса КП, который заведомо известен приемной стороне, благодаря чему ошибки в адресной части сообщения всегда обнаруживаются приемником.

Таким образом, для приема ложного сообщения ТС необходимо, чтобы имели место ошибки в информационной части "окна", приводящие к отказу защиты по паритету при отсутствии ошибок в приеме адреса КП и числе разделительных пауз в "окне". Принимая, что вероятности p перехода $1 \rightarrow 0$ и $0 \rightarrow 1$ в канале связи одинаковы и взаимонезависимы (симметричный канал без памяти), вероятность ложного сигнала ТС можно записать в следующем виде:

$$P_{л.ТС} \approx C_4^2 p q^{14},$$

где $q = (1 - p)$ — вероятность правильного приема элементов кода: логической 1, логического 0, разделительного интервала.

Сомножитель q^{14} учитывает правильность приема четырех разрядов кода адреса КП и восьми разделительных пауз в "окне". Принимая $p = 10^{-4}$, получаем $P_{л.ТС} \approx 10^{-7}$.

Достоверность приема сигналов ТУ. Ложная команда ТУ может возникнуть при неправильном приеме кода адреса КП. (При этом вместо заданного номера объекта ТУ может выбраться объект ТУ на другом КП.) Для уменьшения вероятности ложного выбора КП применены защиты кода адреса КП по паритету с двукратным повторением посылок команд ТУ; лишь при полном совпадении обеих посылок выдается разрешение на исполнение принятой команды. Вероятность ложной команды ТУ при этом составит

$$P_{л.ТУ} \approx \{ [C_5^2 p q^3 + C_5^4 p^4 q] q^6 \}^2 q^5.$$

Сомножитель q^6 учитывает необходимость правильного приема шести разделительных пауз в коде адреса КП, сомножитель q^5 — вероят-

ность правильного приема кода РИ. При $p = 10^{-4}$ $P_{\text{л.ту}} \approx 10^{-15}$.

Реальное значение величины p с учетом продолжительности t сигнала 1 и 0 и разделительных пауз ($t \geq 160$ мс) при принятых соотношениях сигнал/помеха и узкополосных приемных фильтрах может быть существенно меньше принятого в расчетах значения $p = 10^{-4}$, рекомендованного в ГОСТ. Поэтому реальные значения вероятности ложных сообщений ТС и ТУ в системе лучше расчетных. Завод-изготовитель комплекса ТРС-1 для характеристики передаваемых сообщений также приводит явно заниженные цифры достоверности: при $p = 10^{-4}$ для сообщений ТС $P_{\text{л.тс}} \leq 10^{-7}$, для сообщений ТУ $P_{\text{л.ту}} = 10^{-10}$, что соответствует 1-й группе достоверности получаемой информации.

Сопряжение устройств телемеханики типа ТРС с радиоканалом

Организация связи между устройствами ПУ и КП в телекомплексе ТРС-1 может быть осуществлена не только по каналам тональной частоты, наложенной на распределительную сеть 10(6) кВ, как в системе ТМРС-10, но и по радиоканалу. Для этой цели комплект плат ТРС-1 дополняется платами сопряжения устройств телемеханики ПУ и КП с радиостанциями типа 18Р22С, выпускаемыми воронежским заводом радиоаппаратуры "Электросигнал" Минпромсвязи СССР. При использовании радиосвязи информация с КП может передаваться непосредственно на ДП РЭС (минуя переприемы и ретрансляцию сигналов на питающих высоковольтных подстанциях). Упомянутые радиостанции предназначены для бесперерывной бесподстроечной двусторонней радиосвязи на расстоянии до 20–30 км в любое время года и суток. На ПУ устанавливается радиостанция 18Р22М-1, которая работает на антенну с круговой диаграммой направленности. На контролируемых пунктах в распределительных сетях устанавливаются радиостанции 18Р22С-2, имеющие направленную антенну. Радиостанции на ПУ и всех КП, контролируемых с данного ПУ, работают на одной несущей частоте в следующих диапазонах УКВ: 162, 150 – 162, 350 МГц; 167,525 – 167,725 МГц; 167,875 – 168,075 МГц.

Выбор рабочей несущей частоты в указанных диапазонах оговаривается при заказе радиостанции и согласуется в установленном порядке с соответствующими организациями. Каждая радиостанция может работать в режиме либо ПЕРЕДАЧИ, либо ПРИЕМА информации, обеспечивая полудуплексную связь между ПУ и всеми КП (по очереди). Алгоритм работы радиостанций задает телекомплекс ТРС. Радиостанция обеспечивает передачу и прием информации по принципу работы дискретных цифровых каналов связи. Непрерывный сигнал заданного уровня на входе канала преобразуется блоком автоматики радиоканала в последовательность дискретных импульсов заданной длительности. Предусмотрены три скорости передачи дискретных сигналов: 50, 100 и 200 бит/с, т. е. длительность тактов дискретных посылок t

составляет соответственно 20, 10 и 5 мс. На вход передатчика радиоканала подаются двоичные кодированные сигналы от передатчиков ТРС. Для передачи логической единицы в радиоканале используется тональная модулирующая частота $f_1 = 2273$ Гц, для логического нуля $-f_0 = 2500$ Гц. Если логический нуль или единица длятся в течение нескольких тактов дискретных посылок подряд, то между посылками f_1 и f_0 посылается такт повторения на частоте $f_{\text{п}} = 2777$ Гц. Например, маркерный сигнал МС продолжительностью $8t$ (при скорости передачи 50 бит/с $t = 20$ мс) передается четырьмя посылками f_1 , разделенными четырьмя посылками $f_{\text{п}}$.

Аналогично передаются другие двоичные сигналы от передатчиков ТРС. На рис. 6.5, а представлена диаграмма работы радиоканала при передаче одного подцикла команды ТУ ВК с ПУ на КП с адресом 1000(8).

При использовании радиоканала режим работы устройств ТРС практически не меняется. Особенности в работе телекомплекса по радиоканалу сводятся к следующему.

1. Устройства ПУ и КП получают исходную тактовую частоту не от синхронной силовой сети 50 Гц, а от кварцованных генераторов блоков автоматики радиостанций 10 кГц. Передача по радиоканалу ведется со скоростью 50 (100, 200) бит/с, а не 6,25 бит/с, как по тональному каналу. Поэтому в плате сопряжения с радиоканалом (СРК) предусмотрен узел делителя частоты 10 кГц, выдающий частоту 0,4 кГц (0,8 кГц, 1,6 кГц) на входы устройств ТРС. Собственный делитель ТРС обеспечивает заданную тактовую частоту работы устройств телемеханики (блок 3 на рис. 6.5, б).

2. Для посылки сигналов радиоканал должен быть переведен в режим ПЕРЕДАЧА. Для этой цели от передатчика ТРС в блок автоматики радиоканала РК должен поступать сигнал ПД на уровне логической "1" в течение всего времени передачи. В конце передачи с выхода ТРС должен быть передан импульс *Конец* передачи, в результате чего радиостанция переходит в режим ПРИЕМ. Переход с режима приема на передачу и наоборот в радиоканале рассматриваемого типа связан с изменением частоты в блоке синтезатора частот (СЧ), что сопряжено с определенными задержками установления частот в фильтрах СЧ. Поэтому сигналы изменения режима должны поступать с некоторым запасом по времени, учитывающим окончание переходных процессов в фильтрах. Это обеспечивается соответствующими моментами подачи импульсов запуска и конца передачи от передатчика ТРС. Импульс разрешения передачи вводится заблаговременно (за время, равное трем-четырем тактам тактовой частоты канала) от формирователя маркерного сигнала МС при вызове ТС либо от кнопки пуска при посылке команд ТУ. Импульс окончания передачи задерживается на два такта (40 мс), чтобы не перестраивать схему при изменении скорости передачи (блок 1 СРК).

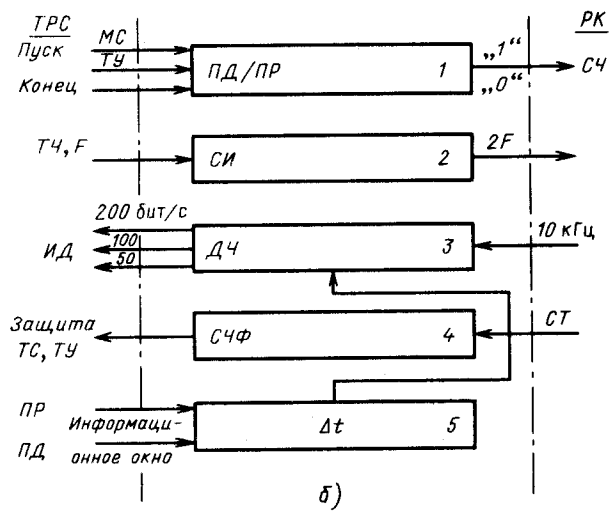
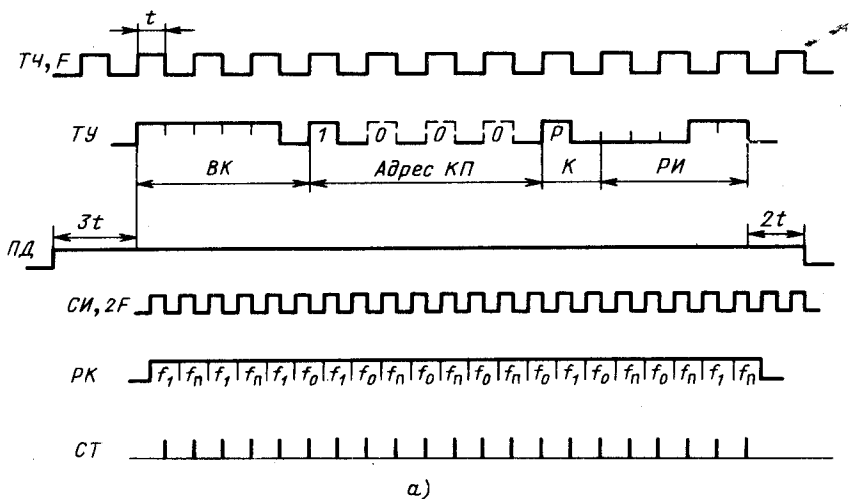


Рис. 6.5. Сопряжение ТРС-1 с радиоканалом:

а – передача команды ТУ по радиоканалу: ТЧ, F – тактовая частота на входе ТРС; ТУ – подцикл команды ТУ; ПД – сигнал передачи; СИ, 2F – синхроимпульсы; РК – импульсы модулирующей частоты в радиоканале; СТ – стробирующие импульсы; б – блок-схема платы сопряжения с радиоканалом (СРК): 1 – блок переключения режимов передача/прием (ПД/ПР); 2 – блок синхроимпульсов СИ, 2F; 3 – блок формирования импульсов движения; 4 – блок контроля; 5 – блок разделительных интервалов; ТЧ – тактовая частота; ИД – импульсы движения; СИ – синхроимпульсы; ДЧ – делитель частоты; СЧФ – счетчик фронтов в "окне"; СТ – стробы; СЧ – синтезатор частот; Δt – разделительный интервал между информационными окнами

3. На время передачи сигналов с передатчика ТРС в блок автоматики РК должны поступать синхроимпульсы СИ с двойной тактовой частотой передачи для формирования импульсов модулирующих частот f_1, f_2 и f_n (блок 2 СРК).

4. Принцип передачи дискретных по длительности сигналов в радиоканале позволяет дополнительно контролировать правильность принимаемых сообщений. Приемнику заранее известно, что за заданный интервал времени он должен иметь заданное число фронтов принимаемых тактов, так как каждый соседний такт имеет разную частоту посылок. В информационной части посылки ТС по каждому адресу КП должно быть всегда 8 фронтов, при посылке команды ТУ — всегда 16 фронтов. Если будет принято другое число фронтов, то защита должна запретить исполнение команд ТУ либо выдачу на воспроизведение сигналов ТС. Функцию счета фронтов принимаемых сигналов и разрешения исполнения принятой информации выполняет блок 4 СРК.

5. Передача информации с каждого КП должна отделяться разделительными паузами длительностью два такта. Разделительные паузы необходимы для индивидуального перевода радиоканала каждого КП в режим передачи. Все радиостанции системы, кроме передающей, должны находиться в режиме ПРИЕМ*. Получив общий вызывной сигнал от ПУ, передатчики КП переходят в режим передачи по очереди, по мере поступления своего "окна" на передачу. Переход с режима приема на режим передачи требует определенного времени, которое должно быть меньше разделительной паузы между "окнами".

Наличие разделительных пауз между "окнами" должно учитываться и в приемнике ПУ, чтобы не нарушалась синфазность приема: в течение разделительных пауз приемник ТРС не должен получать тактовые импульсы на переключение распределителя. Функцию задержки тактовых импульсов на время разделительных интервалов выполняет блок 5 СРК.

6.4. ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС КТМ-50

КТМ-50 является первым в Советском Союзе промышленным телекомплексом, предназначенным для сбора информации (ТС) с объектов распределительных сетей 10(6) кВ по каналам тональной частоты, наложенной на распределительную сеть промышленной частоты. Комплекс разработан ЭНИН имени Кржижановского совместно с Опытным заводом средств автоматизации и приборов (ОЗАП) Мосэнерго и выпускается ОЗАП [37]. Решения, положенные в основу организации ка-

* Длительный режим передачи приводит к перегреву аппаратуры станции. Режим передачи не должен превышать 15 мин.

нала тональной частоты из сети к центру управления, впервые осуществленные в КТМ-50, впоследствии были использованы при разработке тонального канала для телекомплекса ТМРС-10.

Комплекс КТМ-50 предназначен для передачи ТС с КП электрических сетей 10(6) кВ на опорную подстанцию. Основная отличительная особенность КТМ-50 состоит в использовании однонаправленного (симплексного) канала связи — от КП к ОП — на одной несущей тональной частоте для передачи ТС со всех КП. Возможность применения симплексного канала связи обеспечивается принятым в КТМ-50 асинхронным методом передачи информации с КП на ОП. Основная область применения КТМ-50 — участки распределительной сети 6(10) кВ с относительно небольшим числом КП (до 10), контроль которых с ОП позволяет повысить надежность электроснабжения потребителей (в первую очередь сельскохозяйственных районов). Устройство телемеханики КТМ-50 обеспечивает работу одного ПУ, установленного на ОП с десятью КП. С каждого КП передается до четырех двухпозиционных сигналов ТС.

Запуск аппаратуры на КП и передача ТС осуществляются в следующих случаях: при включении напряжения питания, при изменении положения датчиков ТС, по истечении контрольного времени с момента последнего запуска (~ 1 ч), что необходимо для периодического контроля аппаратуры и канала связи.

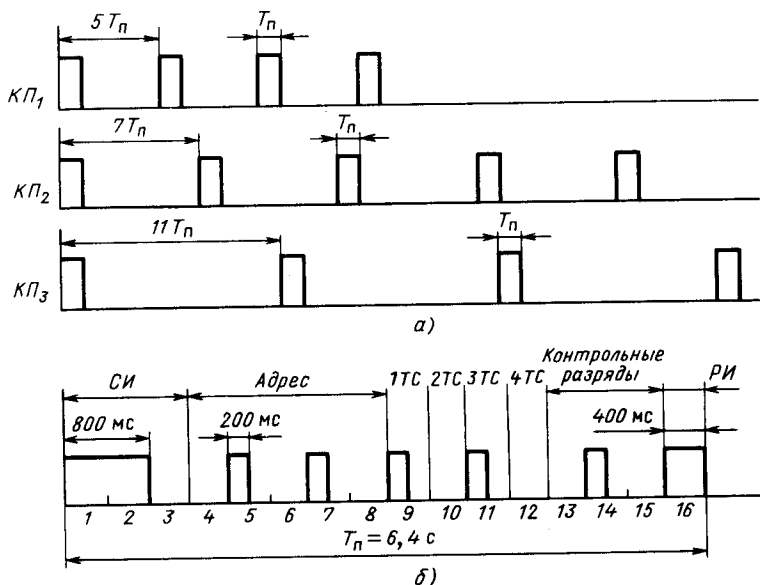


Рис. 6.6. Временные диаграммы работы КП при одновременном запуске (а) и кодированный сигнал с КП (б) телекомплекса КТМ-50

Прохождение сигналов на ПУ при одновременном запуске передач с нескольких КП обеспечивается асинхронной передачей с каждого КП четырех одинаковых информационных посылок. Временные интервалы между отдельными посылками для всех КП различны и выбраны кратными простым числам.

На рис. 6.6, а представлены временные диаграммы работы трех КП при их одновременном запуске при интервалах между запусками, равными $5T_{\text{п}}$, $7T_{\text{п}}$ и $11T_{\text{п}}$, где $T_{\text{п}}$ — длительность одной информационной посылки. Анализ прохождения отдельных информационных посылок с различных КП, проведенный в ЭНИН [39], показал, что принятый вариант временного разделения сигналов обеспечивает вероятность их прохождения не хуже 0,985 при наложениях передач от трех КП.

Для уменьшения вероятности приема ложных сигналов при возможных наложениях сигналов от различных КП, а также от действия помех в каналах связи каждая посылка передается помехозащищенным кодом.

Кодированный сигнал одной информационной посылки показан на рис. 6.6, б. Он содержит синхроимпульс *СИ*, адрес КП (два импульса из пяти в коде на одно сочетание C_5^2), четыре разряда для передачи сигналов ТС, импульс контрольной суммы ТС и разрешающий импульс *РИ* в последнем разряде.

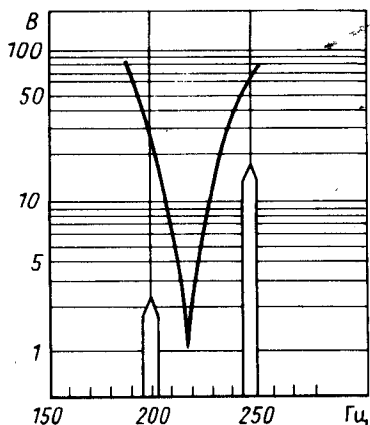
Организация симплексного тонального канала связи осуществлена по схеме "фаза—фаза" и аналогична схеме, впервые использованной при разработке системы телесигнализации ТС—ЭНИН [38]. Несущая частота для передачи сигналов 1003 Гц. Длительность одной кодовой посылки 6,4 с. Скорость передачи сигналов в канале связи 5 бит/с.

6.5. СИСТЕМЫ ЦИРКУЛЯРНОГО ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ С ОБРАТНОЙ ТЕЛЕСИГНАЛИЗАЦИЕЙ

С развитием систем циркулярного телеуправления (ЦТУ) выявилась необходимость индивидуального телеуправления выключателями отдельных энергообъектов, а впоследствии и получения телесигнализации из сети для контроля положения выключателей у потребителей и в частности для контроля выполнения команд ЦТУ. В конце 70-х годов появились первые системы ЦТУ с обратной телесигнализацией. Одной из первых таких систем явилась система фирмы Zellweger Uster (Швейцария): DECABIT (система ЦТУ) и RETROBIT (система ТС).

В системе DECABIT используется трехфазное симметричное присоединение генератора тональной частоты на ПУ к шинам 10 кВ питающей подстанции по параллельной схеме ввода через конденсаторы связи либо по последовательной схеме — через трансформаторы тока. Приемники команд ЦТУ включаются у потребителей на стороне низкого на-

Рис. 6.7. Кривая избирательности приемника системы DECABIT



пряжения (380, 220 В). Мощность тонального сигнала, вводимого в сеть на стороне ПУ, должна составлять не менее 0,1% номинальной мощности трансформаторов сети. Для обеспечения наименьшего затухания в канале связи тональная частота выбирается наименьшей из стандартного набора частот в диапазоне 110–1050 Гц, допустимой в данной конкретной распределительной сети. Для обеспечения высокой избирательности приема сигналов применяются узкополосные фильтры (ширина полосы пропускания фильтра составляет около 6 Гц). Рабочая тональная частота сигнала f_p располагается между гармониками промышленной частоты. Типичная кривая избирательности приемника системы DECABIT при $f_p = 217$ Гц представлена на рис. 6.7. Минимальная продолжительность тонального сигнала (логической единицы) 500 мс, т. е. скорость передачи — не более 2 Бод. Импульсная телеграмма системы DECABIT содержит 11 тактов (рис. 6.8, а). Каждый такт длится 0,5 с. Первый такт занимается синхроимпульсом S . Остальные 10 тактов используются для кодирования команд ЦТУ. В системе применено так называемое беспазуное кодирование, т. е. импульсы, соответствующие логической единице, посылаются на каждом такте без разделительных интервалов (рис. 6.8). Стандартная система обеспечивает посылку 100 двухпозиционных индивидуальных команд и 20 двухпозиционных групповых команд (каждая группа содержит по пять объектов ТУ, выполняющих одновременно принятую групповую команду).

Команды ТУ кодируются помехозащищенным кодом на одно сочетание C_{10}^5 . Суммарное число команд $C_{10}^{5^2} = 252$, т. е. 126 двухпозиционных команд ВК–ОТ. Для обеспечения посылки индивидуальных и групповых команд посредством стандартной импульсной телеграммы длиной 5,5 с в системе предусмотрен прием кодированных сигналов с одним неконтролируемым импульсом и одним неконтролируемым интервалом в принимаемой последовательности сигналов. Это дает возможность передачи и приема как индивидуальных для данного приемника команд ТУ, так и общих для группы приемников групповой команды.

В табл. 6.1 представлены коды команд для индивидуального управления каждым из пяти приемников, а в нижней строке указан код

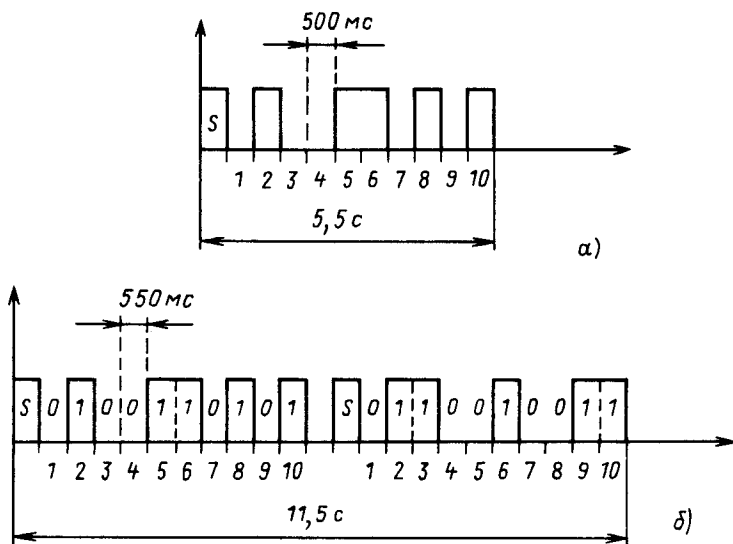


Рис. 6.8. Кодограммы системы DECABIT:
a – стандартная команда; *б* – комбинированная команда

Таблица 6.1. Коды индивидуальных и групповых команд в системе DECABIT

Такты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Индивидуальные команды:										
1	x		x							
2	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0
3	1	0	0	x			x			
4	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0
5	x			x	x					x
Групповая команда (1–5)	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0
	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0

групповой команды для приемников 1–5. Знаком "x" обозначены неконтролируемые такты в соответствующих приемниках. Получив общую групповую команду, ее выполняют все пять приемников груп-

пы, так как за исключением неконтролируемых тактов она является общей для всех этих приемников. На код индивидуальной команды реагирует только соответствующий приемник.

Для увеличения числа передаваемых команд в системе DECABIT предусмотрены комбинированные команды, состоящие из двух типовых посылок, передаваемых последовательно. В первой посылке передается номер группы, в которую входит данный объем управления, во второй — номер самого объекта. Комбинированная посылка содержит разделительную паузу 0,5 с между посылками. Таким образом, длительность передачи комбинированной команды составляет 11,5 с (рис. 6.8, б). Суммарное число комбинированных команд в системе DECABIT достигает 20 000, что практически не ограничивает число потребителей, подключаемых к системе. Приемники, устанавливаемые у потребителя, выполняются на две и четыре двухпозиционные команды.

Система RETROBIT дополняет ЦТУ обратной телесигнализацией. Передатчики RETROBIT подключаются к сети низкого напряжения между двумя фазами сети 220, 380 В. Каждый передатчик работает на собственной тональной частоте, отличной от частоты передатчика DECABIT в диапазоне от 120 до 180 Гц. В этом диапазоне может быть размещено до 30 узкополосных каналов тональной частоты. Для улучшения избирательности узкополосных фильтров в системе RETROBIT применены синхронные фильтры, резонансная частота которых автоматически изменяется от изменения частоты энергосистемы. Тем самым устраняется влияние возможного изменения промышленной частоты на работоспособность системы, поскольку любое изменение промышленной частоты вызывает пропорциональное изменение резонансных частот передатчика и приемника и сохраняет высокую избирательность системы. Приемники RETROBIT на ПУ подключены к сети 10 кВ по схеме токового съема сигнала тональной частоты к трансформаторам тока линий 10 кВ (рис. 6.9). Передатчик RETROBIT на КП запускается по запросу с ПУ через систему DECABIT либо автоматически при переключении контролируемых выключателей. Сигналы ТС от приемника RETROBIT на ПУ могут вводиться в ЭВМ для их анализа и регистрации (запоминания). Передатчик DECABIT на ПУ управляется программой, задающей моменты передачи отдельных команд ЦТУ и их продолжительность. Команды могут также набираться вручную диспетчером с пульта управления системы. Емкость передающего устройства RETROBIT — до 8 ТС.

Аналогичные системы ЦТУ с обратной телесигнализацией выпускаются также фирмами Landis & Gyr (Швейцария) и EdF (Франция). Так, фирма Landis & Gyr производит систему ЦТУ SEMAGYR-50 и систему обратной ТС SEMAGYR-R. Кодовая телеграмма SEMAGYR-50 содержит 50 тактов (50 импульсов, разделенных паузами). Длительность такта — примерно 0,6 с. Длительность одной команды на управ-

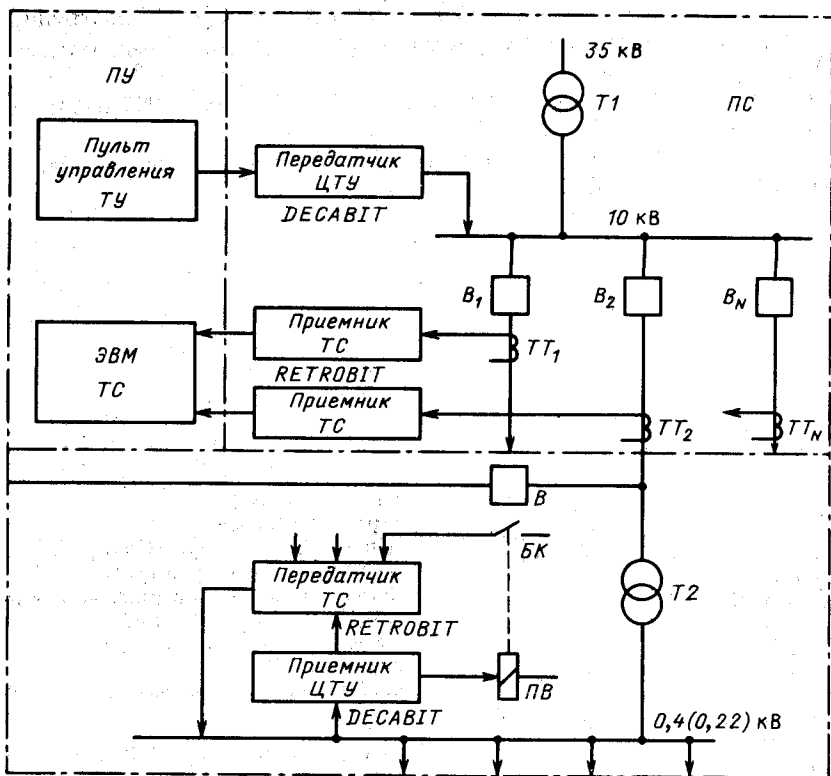


Рис. 6.9. Схема подключения приемников и передатчиков систем DECABIT и RETROBIT к распределительной сети:

T_1 — трансформатор ПС 38/10 кВ; T_2 — трансформатор потребителя 0,4 (0,22) кВ; V_1, \dots, V_N — выключатели линий 10 кВ; V — секционирующий выключатель; $ПВ$ — привод V ; $БК$ — блок-контакт V

ление 50 приемниками — около 30 с. Разделение приемников на группы позволяет увеличить число приемников. Так, имеются системы, в которых 9 импульсов выделяются для кодирования адресов групп в коде $C_9^3 = 84$ группы. Оставшиеся 40 импульсов используются для передачи 20 двухпозиционных команд, и, таким образом, суммарная емкость системы составляет 1680 двухпозиционных команд. Дальнейшее увеличение емкости системы достигается введением подгрупп. Распределение тактов в системе SEMAGYR-50 с адресами областей (групп) и районов (подгрупп) следующее: 1-й такт — пусковой импульс (старт); 2–10-й такты (всего 9 импульсов) — код группы $C_9^3 = 84$ групп;

11–16-й такты (всего 6 импульсов) – код подгрупп $C_6^3 = 20$ подгрупп;
17–50-й такты (всего 34 импульса) – 17 двухпозиционных команд ЦТУ.

Общее число двухпозиционных команд ЦТУ в системе SEMAGYR-50 составляет $84 \times 20 \times 17 = 28\,560$.

Система обратной телесигнализации SEMAGYR-R в принципе аналогична системе RETROBIT.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Автоматизированные системы диспетчерского управления (АСДУ) 46

Адаптивные

– алгоритмы 145

– методы передачи 55

– системы 182

Амплитудный импульсный признак 82

Аппроксимация 62, 72

Асинхронная дискретизация 72

– передача 145

Б

Балансные системы 166

Банк данных 48

Безызбыточный код 128

Белый шум 77

Бит 80

Бит-стаффинг 162

Блок кодовый 146

В

Весовые коды 109

Вторичные пользовательские функции 12

Вторичная станция 164

Вход-выход (интерфейс) 205, 206

Д

Двоично-десятичный код 108

Двоично-шестнадцатеричный код 109

Двоичный код 104

– – смежно-качественный 118

Двухмашинный комплекс ЦПС
35–36

Двухуровневая система 73

Диалоговые процедуры 164

Динамическая ошибка 65–66

Дискретизация по времени 46

Диспетчерская информационно-управляющая система (ДИУС) 43

Диспетчерский пункт 70

Длина кода 98

Достоверность информации 7, 140

Е

Единая энергосистема СССР 22

Емкость информационная 98, 205

– кода 98

Ж

Живучесть системы 6

З

Задачи кодирования 95

– телемеханики 6

Запаздывание 66, 68

Запрос–ответ 56

И

Избыточность кода 98

Импульсный признак 82, 94

Инверсия 113

Интегральные измерения 210

Интерфейс ввода-вывода 205–206

– параллельный 210

– последовательный 210

Информативность 51

Информация 40

Информационная емкость 42

Информационные разряды 71, 111

К

- Кадр сообщений 166
- Канал связи 7
- Канальный адаптер 47, 48, 50
- Качество сигнала 85, 87
- Квазицикл 194
- Квантование по уровню 62
- Квитанция отрицательная 165
 - положительная 165
- Квитирование 165
- Код 94
 - безызыбочный 106, 107, 128
 - групповой разделительный 121
 - Грея 105
 - двоично-десятичный 108
 - двоично-шестнадцатеричный 109
 - двоичный 14
 - исправляющий ошибки 99
 - корректирующий 98
 - корреляционный 116
 - обнаруживающий ошибки 99
 - Файра 135
 - HDLC 161
 - Хэмминга 121
 - – расширенный 125
- Кодирование 95
- Кодо-импульсные системы 61
- Кодовое расстояние 98
- Контролируемый пункт (КП) 8
- Конфигурация сети 32–33
- Коэффициент избыточности 110
- Кратность помех 99
 - обнаруживаемых ошибок 100
- Критерии сравнительной оценки 56

Л

- Ложные сообщения 50
- Локальные вычислительные сети (ЛВС) 44

М

- Манчестер сигнал 89
- Масштабирование 41
- Математическое обеспечение 204
- Меандр 161, 209, 215
- Методы передачи 54
- Микропроцессорные системы 178
- МикроЭВМ 42
- Мини-ЭВМ 45
- Многоканальные системы 68
- Многоуровневые системы 23, 40, 45, 70
- Многофункциональность 31

Н

- Надежность 7

О

- Обнаружение ошибок 109
- Образующая матрица 130
- Образующий полином 127, 132
- Обслуживание случайных процессов 50, 52
- Окно 273
 - информационное 273
- Оперативность 51
- Эпознаватель ошибок 124–125
- Оценка состояния 75

П

- Пакет ошибок 134
- Паритет (защита) 110, 111
- Первичная обработка 8, 164
- Повторение 112
- Погрешность ТИ 59
- Поколение устройств ТМ 25, 28
- Полином образующий 127
- Полярный признак 83
- Помеха импульсная 76
- Помехоустойчивость 76
- Пороговый приемник 78–79
- Приемник Котельникова 81
- Проверочные уравнения 124
- Программы системные 21
- Протокол HDLC 208
- Пункт контролируемый (КП) 182
 - секционированный 246

Р

- Рабочие комбинации 98
- Распределение кодовых комбинаций 100
- Распределительная сеть 246
- Распределительный код 198
- Расчетная погрешность 68
- Регулирование 12
- Режим реального времени 6
- Резервирование канала связи 44
 - функций 43
- Ремонтопригодность 8
- Ретрансляция 70

С

- Самоконтроль 8
- Сжатие данных 31
- Сигнал 95
- Сигналы сложные двоичные 88
- Симметричный код 101
- Системы для распределительных электрических сетей 246–253
 - счисления 102
 - телемеханики 15, 17, 18, 22–28, 182–217, 229–245

– сбора и передачи данных (СПОД) 28, 30, 34
Сменно-качественный код 118
Совместимость 8, 31
Сообщения телемеханические 50
Среднеквадратичная погрешность 65
Станции телемеханики 41
Структура дискретных сигналов 94
– диспетчерского управления 22
Ступени ретрансляции 70

Т

Телеизмерение 11
Телекомплекс микропроцессорный 180–182
– АИСТ 182–206
– ГРАНИТ 206–217
– УВТК-120 217–221
– GEADAT80 GT 229–237
– TRACES 237–243
Телеконтроль 11
Телемеханика 5
Телерегулирование 12
Телесигнализация 12
Телесчет 11
Телеуправление 11
Терминология 5

У

Управление и информация 90
Уровневая структура 9, 10
Уровень канальный 14
– транспортный 14
– физический 15
Условия окружающей среды 8

Ф

Фаза сигнала 84
Флаг 208

Флуктуационные помехи 77
Формат кодовый 144–164
Функции систем 9
– оперативной обработки 13
– передачи сообщений 14
– пользовательские 11
– телемеханики 9
Функциональные блоки систем ТМ 17, 19, 20

Х

Характеристика кодов 98
– технических систем ТМ 217, 228, 244
– СПОД ЦППС 37
Хэмминга код 121

Ц

Целостность (достоверность) данных 140
Централизация управления 6
Центральная приемо-передающая станция ЦППС 35, 38, 40
Центральный диспетчерский пункт энергосистемы 23
Циклическая передача 54–55
Циркулярное телеуправление 244
Цифро-буквенная информация 56

Ч

Частотный признак 82–83
Числовые коды 102, 104

Э

Энергообъект 43, 70
Эффективность передачи кодового формата 144
– использования канала связи 7

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Международный электротехнический словарь. Глава 371 "Телемеханика", МЭК, публикация 50 (371), Швейцария, 1984.
2. Забегалов В. А., Орнов В. Г., Семенов В. А. Автоматизированные системы диспетчерского управления в энергосистемах. М.: Энергоатомиздат, 1984.
3. Ильин В. А. Телеуправление и телеизмерение. М.: Энергоиздат, 1982.
4. Малов В. С., Купершмидт Я. А. Телеизмерение. М.: Энергия, 1975.
5. Малов В. С., Дмитриев В. Д. Кодо-импульсные телеизмерительные системы. М.: Энергия, 1964.
6. Митюшкин К. Г. Телемеханика в энергосистемах. М.: Энергия, 1975.
7. Применение ЭВМ для автоматизации технологических процессов в энергетике/ Под ред. В. А. Семенова. М.: Энергоатомиздат, 1983.
8. Тувевич В. Н. Телемеханика. М.: Высшая школа, 1985.
9. Пшеничников А. М., Портнов М. Л. Телемеханические системы на интегральных микросхемах. М.: Энергия, 1977.
10. Райнес Р. Л., Горяинов О. А. Телеуправление. М.: Энергия, 1965.
11. Праггишвили И. В. Микропроцессоры и микро-ЭВМ. М.: Энергия, 1979.
12. Вычислительные сети и сетевые протоколы/ Д. Дэвис, Д. Барбер, У. Прайс, С. Соломонидес. М.: Мир, 1982.
13. Ги К. Введение в локальные вычислительные сети. М.: Радио и связь, 1986.
14. Самойленко С. И. Сети ЭВМ. М.: Наука, 1986.
15. Якубайтис Э. А. Архитектура вычислительных сетей. М.: Статистика, 1980.
16. Питерсон У. Коды, исправляющие ошибки. М.: Мир, 1964.
17. Funk G. Data integrity and efficiency of single parity chec product codes. NTZ Archiv. 1985, Band 7, H. 4. P. 73-78.
18. Damsker D. J. Reliability and speed-major performance of distributed control. N. Y. IEEE. 1985. P. 538-542.
19. Теория кодирования: Сб. статей/ Под ред. З. Л. Блох. М.: Мир, 1964.
20. Шукин Б. К. Основы техники телеуправления. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1945.
21. Бутаев Г. М. Разработка принципов и основы теории построения помехоустойчивых систем телеизмерений с использованием естественной избыточности сигналов и сообщений: Автореф. дис. . . доктора техн. наук М., 1984.
22. Митюшкин К. Г. Методы повышения надежности цифровых телеизмерений// Информационное обеспечение диспетчерского управления в электроэнергетике. Новосибирск: Наука, 1985. С. 175-180.
23. Вулис А. Л., Майборода Г. А., Митюшкин К. Г. Безыбыточный код помехозащищенный в зоне передаваемых сообщений. XI симпозиум по проблеме избыточности в информационных системах// Тезисы докладов. Л.: Изд-во ЛИАП. 1986. Т. 1. С. 81-84.
24. Митропольский А. К. Интеграл вероятностей. Л.: Изд-во ЛГУ, 1972.
25. Информационное обеспечение диспетчерского управления в электроэнергетике/ Ю. И. Алимов, А. З. Гамм, Г. Н. Полева и др. Новосибирск: Наука, 1985.
26. Гамм А. З. Оценивание состояний. М.: Наука, 1980.

27. Митюшкин К. Г. Погрешность передачи телеизмерений в многоуровневых системах диспетчерского управления// Электричество. 1980. № 9. С. 1–7.
28. Кемельмахер Л. Г., Лондер М. И., Митюшкин К. Г. Средства и системы управления в энергетике. Вып. 10. М., Информэнерго, 1987.
29. Митюшкин К. Г. Принципы построения и основы теории функционирования многоуровневых телеинформационных систем: Автореф. дис. . . . доктора техн. наук. М., 1981.
30. Микропроцессорная система телемеханики АИСТ/ К. Г. Митюшкин, А. Л. Вулис, С. В. Горшков, И. М. Перельман// Энергетик. 1987. № 4–5. С. 19–21.
31. Телекомплекс ГРАНИТ// Энергетик. 1987. № 4. С. 22.
32. Новые разработки телемеханических комплексов завода "Электропульт"/ Б. А. Корнилов, В. А. Клемин, В. З. Жак и др. Тезисы докладов II научно-технической конференции по состоянию и развитию систем и средств передачи информации в энергосистемах. Свердловск, 1984.
33. Митюшкин К. Г., Орнов В. Г. Сети сбора информации на базе микропроцессоров. Средства и системы управления в энергетике. Вып. 1. М., Информэнерго, 1985.
34. Микуцкий Г. В., Скитальцев В. С. Высокочастотная связь по линиям электропередачи. М.: Энергоатомиздат, 1987.
35. Бондаренко Л. Г. Исследование уровня помех в токах нагрузки линий электропередачи 10 кВ// Изв. вузов. Энергетика. 1983. № 9. С. 15–19.
36. Бондаренко Л. Г., Стасенко В. Ф., Скрыль В. Ф. Определение спектрального состава тока замыкания на землю в сетях 6–10 кВ// Изв. вузов. Энергетика. 1983. № 12. С. 23–29.
37. Телемеханический комплекс КТМ-50 для распределительных сетей 6–10 кВ/ Н. С. Берлин, А. М. Пономарев, Е. С. Толмачева и др.// Электрические станции. 1985. № 4. С. 47–51.
38. Берлин Н. С. Анализ характеристик асинхронной системы телесигнализации для распределительных сетей 6–10 кВ/ Теория и техника передачи сигналов тональной частоты по линиям электрических сетей// Тр. ЭНИН. 1983. № 4.
39. Георгиевская Т. Е., Гожанский Р. А., Митюшкин К. Г. Система телемеханики ТМРС-10 для распределительных электрических сетей. Телеинформационные системы реального времени для диспетчерского управления энергосистемами// Сб. трудов ВНИИЭ. 1985. Вып. XV. С. 120–124.
40. Анализ опыта эксплуатации систем телемеханики/ Сб. Союзэнерго. М., 1986.
41. Публикации МЭК, ТК-57, в области устройств и систем телемеханики, 1988 г.:
 - 870.1.1 General Considerations – Section 1, General Principles;
 - 870.1.2 Guide for Specifications;
 - 870.1.3 Glossary;
 - 870.2.1 Operational conditions – Section 1, Environmental Conditions and Power supplies;
 - 870.3 Interfaces (Electrical);
 - 870.4 Performance requirements.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	5
В.1. Терминология	5
В.2. Основные задачи телемеханики и их особенности	6
В.3. Функции систем телемеханики	9
В.4. Типовые структуры систем ТМ	15
В.5. Структурная схема и основные функциональные блоки системы ТМ	17
Глава первая. Системы телемеханики в диспетчерском управлении энергосистемами	22
1.1. Структура диспетчерского управления	22
1.2. Система сбора и передачи оперативных данных на высших уровнях диспетчерского управления	28
1.3. Многоуровневая телеинформационно-управляющая система	40
1.4. Автоматизированная система диспетчерского управления распределительных электросетей (АСДУ РС)	46
Глава вторая. Телемеханические сообщения и их основные характеристики	50
2.1. Телемеханические сообщения и обслуживание случайных процессов	50
2.2. Методы передачи оперативной информации в телеинформационных системах АСДУ	54
2.3. Погрешности телеизмерения	59
2.4. Погрешность передачи телеизмерений в многоуровневых системах	70
2.5. Помехоустойчивость дискретных сигналов	76
2.6. Информация и управление	90
Глава третья. Структурные характеристики дискретных сигналов (коды)	94
3.1. Код, основные понятия и определения	94
3.2. Основные характеристики кодов	98
3.3. Числовые коды	102
3.4. Двоичные коды с обнаружением ошибок	109
3.5. Сменно-качественные коды	118
3.6. Коды с обнаружением и исправлением ошибок	120
3.7. Коды Хэмминга	122
3.8. Циклические коды	127
3.9. Обнаружение и исправление пакетов ошибок	134
3.10. Повышение эффективности кодирования использованием коррелированности сообщений	136

Глава четвертая. Передача сообщений в телемеханических системах.	140
4.1. Особенности передачи сообщений в телемеханических системах	140
4.2. Количественные оценки качества передачи данных	140
4.3. Стандартные кодовые форматы передачи информации в системах телемеханики	144
4.4. Кодовые форматы с постоянным и переменным числом информационных кодовых слов	147
4.5. Характеристики достоверности стандартных кодовых форматов	158
4.6. Кодовый формат протокола HDLC	161
4.7. Диалоговые процедуры передачи телемеханической информации	164
4.8. Примеры применения диалоговых процедур	173
Глава пятая. Микропроцессорные системы телемеханики	178
5.1. Общая характеристика	178
5.2. Микропроцессорная адаптивная информационно-управляющая система АИСТ	182
5.3. Телекомплекс ГРАНИТ	206
5.4. Управляющий вычислительный телемеханический комплекс УВТК-120	217
5.5. Программируемые канальные адаптеры	221
5.6. Система телемеханики GEADAT 81GT	229
5.7. Система телемеханики TRACEC	237
5.8. Система телемеханики URSATRANS 5120	243
Глава шестая. Системы телемеханики для распределительных электрических сетей.	246
6.1. Особенности структур систем телемеханики для распределительных сетей	246
6.2. Комплекс устройств телемеханики МКТ-3	253
6.3. Система телемеханики ТМРС-10 для распределительных сетей 10 (6) кВ	259
6.4. Телемеханический комплекс КТМ-50	274
6.5. Система циркулярного телеуправления с обратной телесигнализацией	276
Список литературы	282

Производственное издание

Митюшкин Клементий Георгиевич

ТЕЛЕКОНТРОЛЬ И ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЕ В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ

Редактор издательства *И. И. Лобысева*

Художественные редакторы *В. А. Гозак-Хозак, А. А. Белоус*

Технический редактор *Н.Н. Хотулева*

Корректор *Л. С. Тимохова*

ИБ №2088

Набор выполнен в издательстве. Подписано в печать с оригинала-макета 30.10.90. Формат 60 x 88 1/16. Бумага офсетная № 2. Печать офсетная. Усл. печ. л. 17,64. Усл. кр.-отт. 17,88. Уч.-изд. л. 19,32. Тираж 8500 экз. Заказ 6144. Цена 95 к.

Энергоатомиздат, 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

Отпечатано в ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени МПО "Первая Образцовая типография" Государственного комитета СССР по печати. 113054, Москва, Валовая ул., 28.