

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Амурский государственный университет»



«Кадры для регионов»



ФГБОУ ВПО «Амурский государственный
университет»

Учебное пособие подготовлено в рамках реализации проекта о
подготовке высококвалифицированных кадров для предприятий и
организаций регионов («Кадры для регионов»)

Ю.В. Мясоедов, Л.А. Мясоедова, И.Г. Подгурская

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДИСПЕТЧЕРСКОГО И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Учебное пособие

Благовещенск
Издательство АмГУ
2014

ББК 31.27-05Я73
Т 38

*Печатается по решению
редакционно-издательского совета
Амурского государственного
университета*

Разработано в рамках реализации гранта «Подготовка высококвалифицированных кадров в сфере электроэнергетики и горно-металлургической отрасли для предприятий Амурской области» по заказу предприятия-партнера ОАО «Дальневосточная распределительная сетевая компания»

Рецензенты:

Тимченко Сергей Анатольевич - начальник отдела учета электроэнергии ОАО «ДРСК».

Рыбалев Андрей Николаевич – канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «АмГУ».

Т 38 Технические средства диспетчерского и технологического управления: учебное пособие / Сост.: Ю.В. Мясоедов, Л. А. Мясоедова, И.Г. Подгурская.- Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2014. – 116 с.

Учебное пособие ориентировано на оказание помощи студентам направления подготовки – «Электроэнергетика и электротехника» для формирования специальных знаний в области автоматизации управления электроэнергетическими системами, изучения информационных основ диспетчерского и технологического управления электроэнергетическими системами и энергообъектами, а также для ознакомления с техническими средствами сбора, передачи обработки и отображения оперативно-диспетчерской информации.

В авторской редакции.

©Амурский государственный университет, 2014
©Мясоедов Ю.В., Мясоедова Л.А., Подгурская И.Г., 2014

СОДЕРЖАНИЕ

<i>ВВЕДЕНИЕ</i>	4
1 Системы телемеханики	8
1.1. Экспертные системы	14
1.2. Тренажеры	17
1.3. Оптоволоконные линии связи	23
2 Основы теории передачи информации	27
3 Электрический информационный сигнал	33
4 Дискретные каналы связи	40
5 Помехи	55
5.1. Исправляющая способность приемников дискретных сигналов	63
5.2. Повышение достоверности путем применения корректирующих кодов	71
5.3. Циклические системы передачи информации и системы с обратной связью	79
5.4. Системы с повторением передачи информации	80
5.5. Системы передачи информации с обратной связью	82
6 Общие сведения о каналах телемеханики по линиям электропередачи	89
6.1. Линейный высокочастотный тракт	91
6.2. Модемы телемеханики с ЧМ	93
6.3. Низкочастотные каналы телемеханики	103
<i>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</i>	113
<i>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</i>	114

ВВЕДЕНИЕ

Единая энергетическая система охватывает всю территорию страны и представляет собой самый сложный комплекс многочисленных объектов, вырабатывающих электрическую и тепловую энергию, и электрических и тепловых сетей, по которым эта энергия передается потребителю.

От качества работы энергосистем зависят показатели работы многих отраслей народного хозяйства, поэтому к энергосистемам предъявляются повышенные требования в отношении количества и качества вырабатываемой электроэнергии и надежности электроснабжения. Эти требования могут удовлетворяться только при высокой организации процесса управления энергосистемами на базе использования современных технических средств управления.

Основными особенностями технологического процесса выработки и распределения электроэнергии как в энергосистемах, так и в объединениях являются:

а) одновременность выработки и потребления электроэнергии, требующая непрерывного поддержания количественного баланса между вырабатываемой и потребляемой электроэнергией;

б) непрерывность процесса выработки и потребления электроэнергии и непрерывность контроля за этим процессом;

в) быстрое протекание различных переходных процессов, связанных с отказами отдельных элементов или узлов энергосистемы и влекущих за собой потери в электроснабжении;

г) значительная территориальная отдаленность объектов энергосистемы друг от друга и от пункта централизованного управления;

д) функциональное разнообразие устройств, работающих на объектах энергосистемы, обуславливающее разнообразие систем управления, регулирования и контроля;

е) необходимость обеспечения четкого взаимодействия всех элементов энергосистемы и всей системы в целом.

Для осуществления надлежащего централизованного управления энергетикой в столь сложных условиях существует специальная служба диспетчерского управления.

На каждой ступени диспетчерского управления решаются разные задачи, но все они связаны с обеспечением бесперебойности снабжения потребителя электроэнергией хорошего качества. В соответствии с «Правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей» диспетчерское управление должно обеспечить:

а) удовлетворение потребности в электрической и тепловой энергии, т. е. Соблюдение графика распределения нагрузок между электростанциями в строгом соответствии с программой, учитывающей экономичность и рентабельность работы энергосистемы;

б) бесперебойность электроснабжения потребителей и надежность работы энергосистемы и отдельных ее элементов, для чего диспетчерское управление осуществляет оперативное руководство различными переключениями оборудования в энергосистеме и руководство по ликвидации и предотвращению аварийных ситуаций;

в) качество энергии: частоту и напряжение электрического тока, давление и температуру отпускаемых потребителям пара и горячей воды, удовлетворяющих установленным нормам; для этого диспетчерское управление осуществляет оперативный контроль за качественными показателями работы энергосистемы. Подобные же функции возлагаются на ОДУ в отношении энергетических объединений и на ЦДУ в отношении всей энергетики страны. Для успешного выполнения указанных функций диспетчер

должен иметь:

а) исчерпывающие данные о состоянии оборудования на контролируемых объектах;

б) полную информацию о режимах работы объектов, вырабатывающих электрическую и тепловую энергию;

в) необходимые данные о режимах работы определенных участков электрической и тепловой сети;

г) возможность оперативного вызова для переговоров дежурного персонала контролируемых объектов;

д) возможность непосредственного вмешательства в технологический процесс выработки и распределения энергии.

Таким образом, для нормального функционирования энергосистемы между диспетчерским пунктом и контролируемыми объектами должна передаваться определенная информация.

В связи с этим важное значение имеют вопросы передачи оперативно-режимной информации на диспетчерские пункты энергосистем и энергообъединений, осуществляемой средствами телемеханики. Телемеханизация энергосистем стала технической базой информационного обеспечения АСДУ. Функции и объемы передаваемой информации телемеханической аппаратурой в этой системе расширяются. Создается единая телеинформационная система, охватывающая высшие уровни диспетчерского управления и включающая множество систем и малых ЭВМ, используемых для приема, ретрансляции, обработки и отображения телеинформации. В энергосистемах находятся в эксплуатации тысячи систем телемеханики, обеспечивающих повышение оперативности диспетчерского управления, надежности энергоснабжения потребителей и максимальную экономичность работы энергосистем. В настоящее время телемеханизированы практически все диспетчерские пункты (ДП) энергосистем и объединений. На всех ступенях диспетчерского управления проводятся работы по использованию малых ЭВМ и телемеханических систем в АСДУ, а также в системах АРЧМ и противоаварийной автоматики (ПА). Информация в темпе ее поступления от устройств телемеханики вводится автоматически в малую ЭВМ, которая осуществляет наряду с обработкой и отображением контроль регулярности

поступления информации, т.е. нарушений заданной периодичности следования сообщений.

В последнее время средства телемеханики в энергосистемах и объединениях претерпели ряд качественных изменений. Введены в эксплуатацию комбинированные кодоимпульсные системы телеизмерения-телесигнализации, наиболее эффективные в отношении количества используемых каналов связи, информационной емкости, а также точности и достоверности передаваемой информации. Изменилась элементная база телемеханических систем. Современные устройства телемеханики построены на базе транзисторной и интегральной электроники. Переход к новой элементной базе связан с новыми принципами построения телемеханических систем, которые требуют нового подхода к техническому обслуживанию. Персонал, обслуживающий системы телемеханики, обязан обеспечивать их работу с оптимальными технико-экономическими показателями, т.е. с заданной достоверностью, надежностью и при минимальных затратах времени на восстановление их исправной работы. Наиболее трудоемким является поиск возникшей неисправности, длительность которого в значительной степени определяется квалификацией обслуживающего персонала, организацией рабочего места, наличием ЗИП. Успешно эксплуатировать современную аппаратуру телемеханики могут специалисты, постоянно повышающие свой инженерно-технический уровень.

1. Система телемеханики

Системой телемеханики называется совокупность датчиков и приемников телемеханической информации, приемопередающих устройств телемеханики и каналов передачи информации.

Системы телемеханики обеспечивают автоматический обмен информацией между диспетчерским пунктом (ДП) или пунктом управления (ПУ) и контролируемыми пунктами (КП) энергопредприятия. При этом на ДП и на КП устанавливаются устройства телемеханики: симплексные, если информация передается в одном направлении, например от КП на ДП, или дуплексные, если информация между этими устройствами должна передаваться в обоих направлениях (от КП на ДП и от ДП на КП). Связь между устройствами телемеханики соответственно обеспечивается либо симплексным каналом (СКС), либо дуплексным каналом связи (ДКС). Каналы связи телемеханических устройств называют каналами телемеханики.

В энергетических системах с помощью устройств телемеханики диспетчер имеет возможность контролировать состояние оборудования и режим работы объектов энергосистемы, своевременно получать извещение о всех изменениях, появившихся в электрической схеме системы, а в ряде случаев и возможность непосредственно управлять оборудованием и режимом работы контролируемых объектов.

Наличие систем телемеханики не только значительно облегчает работу диспетчерского персонала, но и повышает оперативность и технический уровень эксплуатации энергетической системы.

По характеру выполняемые функции системы телемеханики подразделяются на:

а) системы телесигнализации (ТС), обеспечивающие передачу с КП на ДП информации о состоянии оборудования, находящегося на КП; с помощью ТС контролируют положение выключателей мощности, разъединителей, состояние автоматических устройств, контроль объекта и т. д.;

б) системы телеизмерений (ТИ), передающие диспетчеру значения параметров контролируемых производственных процессов: тока, напряжения, мощности, частоты;

в) системы телеуправления (ТУ), обеспечивающие передачу управляющей информации со стороны ДП (ПУ) к исполнительным устройствам контролируемого объекта;

г) система телерегулирования (ТР), решающая задачу передачи управляющих команд типа «больше - меньше», «прибавить - убавить» и других от диспетчера к автоматическому устройству - регулятору, расположенному на контролируемом объекте. Команды управления воздействуют на регулятор в течение времени послышки их диспетчером;

д) системы автотелеуправления (АТУ), обеспечивающие передачу управляющей информации от автомата к автомату. Примером АТУ служит система телеотключения, в которой автомат, управляющий работой выключателя питающей подстанции, получает команду на выключение от автомата, расположенного на удаленной подстанции, не имеющей собственного выключателя мощности;

е) системы автотелерегулирования (АТР), обеспечивающие передачу информации от автомата, контролирующего режим работы объекта, к автомату, расположенному в другом пункте энергосистемы и управляющему работой соответствующего регулятора;

ж) системы аварийно-предупредительной сигнализации (АПС), представляющие собой упрощенные системы ТС, передающие ограниченное количество сигналов типа «авария», «предупреждение» с контролируемого объекта на диспетчерский пункт.

Системы АПС, как правило, выполняются по симплексной схеме, предусматривающей передачу информации только в одном направлении.

Системы ТС и ТИ также могут быть выполнены по симплексной схеме, как и многофункциональные системы типа ТС - ТИ. Системы ТУ и АТУ в большинстве случаев совмещаются с системами ТС, чтобы получить в ПУ

информацию о правильности работы автоматических устройств, выполняющих команды телеуправления. Такие системы ТУ - ТС, АТУ - ТС выполняются с использованием многофункциональной аппаратуры телемеханики дуплексной схемы. Системы ТР и АТР совмещают с системами ТИ в дуплексной аппаратуре телемеханики ТР - ТИ, АТР - ТИ. Имеются и другие дуплексные многофункциональные системы телемеханики: ТУ – ТС – ТИ, ТУ – ТР – ТС – ТИ и т. д.

На рис. 1 приведены функциональные схемы симплексной и дуплексной систем телемеханики.

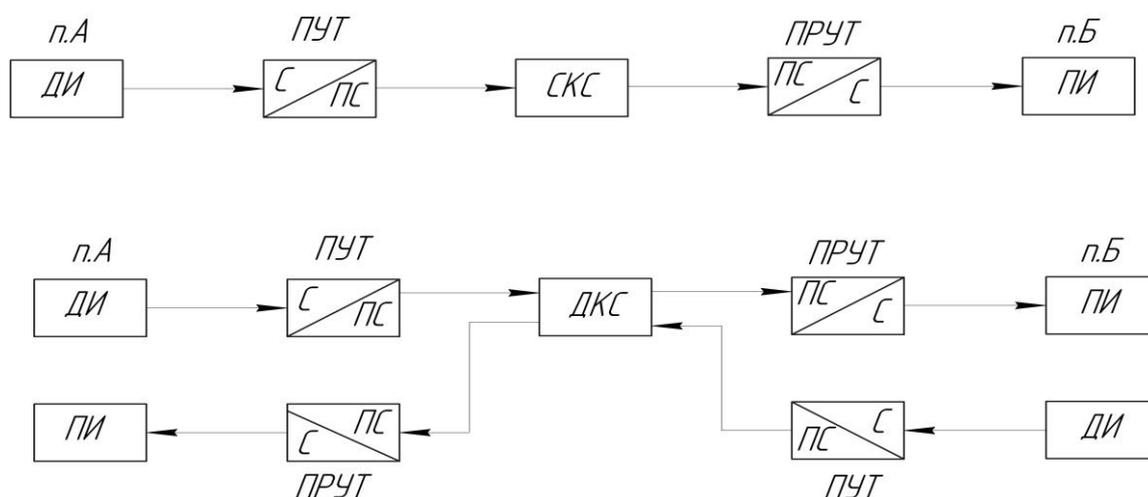


Рис.1. Функциональные схемы симплексной и дуплексной систем телемеханики.

Основные элементы этих систем - датчик информации ДИ, передающее устройство телемеханики ПУТ, приемное устройство телемеханики ПРУТ, получатель информации ПИ и канала связи. В симплексной системе телемеханики используется канал симплексной связи СКС, а в дуплексной системе телемеханики - дуплексный канал связи ДКС. В симплексной системе используются ПУТ и ПРУТ, в дуплексной, системе - устройство телемеханики, каждое из которых имеет в своем составе, как узел передачи (ПУТ), так и узел приема (ПРУТ) телемеханической информации. В симплексной системе телемеханики информация передается в одном направлении, например от

пункта А к пункту Б, в дуплексной системе информация передается как из пункта А в пункт Б, так и в обратном направлении.

Рассмотрим процесс передачи телемеханической информации на примере симплексной системы телемеханики.

Информацией называются сведения о каком-либо процессе или явлении, которые ранее не были известны получателю информации ПИ. Эта информация формируется датчиком информации ДИ, который выдает информацию в виде сообщения. Сообщением в общем случае называется физическое воздействие (механическое, световое, акустическое, тепловое, магнитное или электрическое), один из параметров которого однозначно соответствует передаваемой информации. Форма сообщения определяется видом применяемого ДИ в системах телемеханики, применяются по преимуществу ДИ, вырабатывающие сообщение в виде механического или электрического воздействия. С выхода ДИ сообщение C поступает на информационный вход ПУТ. В ПУТ осуществляется преобразование сообщения C в первичный электрический сигнал ПС, который затем передается по каналам связи СКС из пункта А в пункт Б. Таким образом, сообщение является объектом передачи, а сигнал - средством передачи сообщения на дальние расстояния. Обязательным условием качественной передачи информации является однозначное соответствие значения информационного параметра первичного сигнала информационному содержанию сообщения. На приемном конце системы телемеханики (пункта Б) ПС с выхода СКС поступает в ПРУТ, в котором сигнал преобразуется в сообщение, передаваемое получателю информации ПИ.

Процесс передачи информации в каждом направлении дуплексной системы телемеханики осуществляется аналогично рассмотренному. По структуре построения системы телемеханики разделяются на однообъектные и многообъектные. Однообъектные системы обеспечивают телемеханическую (симплексную или дуплексную) связь ПУ с одним КП. Многообъектная система телемеханики обеспечивает связь ПУ с несколькими КП.

В таких системах на ПУ располагают специальные многообъективные приемопередающие устройства телемеханики, общие для всех КП системы. В зависимости от структуры используемых каналов связи многообъектные системы телемеханики разделяют на радиальные, цепочечные, древовидные и смешанные. В радиальной системе связь ПУ с каждым КП осуществляется по своему независимому каналу связи. Общее устройство телемеханики ОУТ соединяется с каналами через дуплексные линейные адаптеры 1 - 4, обеспечивающие передачу сигналов по дуплексному каналу связи. Количество адаптеров ОУТ соответствует количеству каналов связи и количеству КП в данной системе телемеханики.

Информация с блоков передачи 5 и 6 поступает через линейный адаптер и канал связи на КП, обратная информация с КП, переданная по обратному каналу связи через адаптер ОУТ, поступает на блок приема 7 и 8.

Наличие независимых каналов связи в данной системе обеспечивает независимый обмен информацией ПУ с каждым КП.

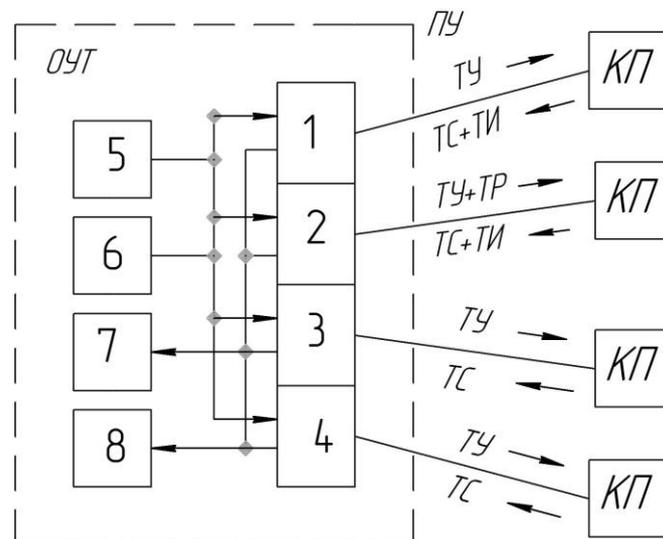


Рис.2. Обмен информацией ПУ с КП

На рис. 3 приведена функциональная схема многообъектной системы телемеханики, рассчитанной для работы по цепочечным а и древовидным б каналам связи.

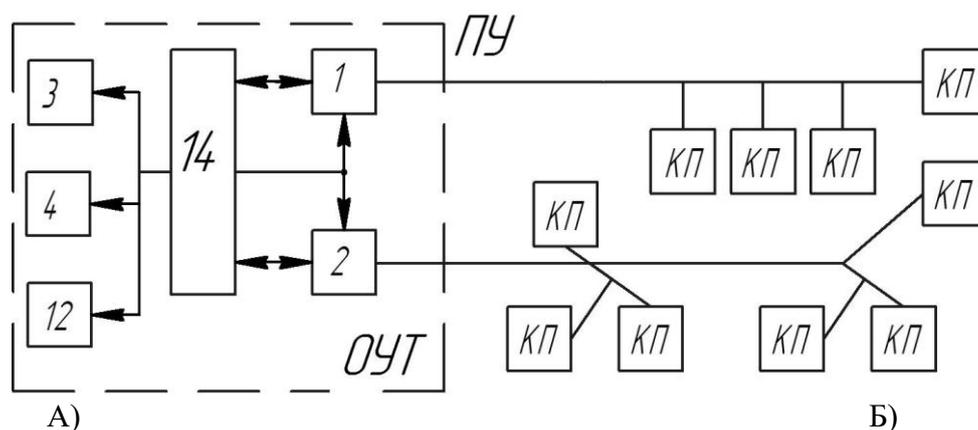


Рис. 3 . Функциональная схема многообъектной системы

телемеханики, рассчитанной для работы по цепочечным *А* и древовидным *Б* каналам связи.

В обоих случаях несколько КП включены в один канал связи. Передача информации между ПУ и КП в данном случае возможна только путем временного уплотнения каналов связи. В состав ОУТ входят два линейных адаптера 1 и 2, блоки приема информации 3 - 12, число которых соответствует числу КП в системе телемеханики, блок передачи 13 и управляющее распределительное устройство УРУ 14. Процесс передачи информации сводится к следующему. Контролируемые устройства ТМ, расположенные на КП, не передают в канал связи сигналы до получения от ОУТ соответствующего разрешения. С передатчика ОУТ через линейные адаптеры 1 и 2 в каналы связи а, б для каждого КП по очереди передается сигнал, содержащий в себе адрес КП и информацию, которую необходимо передать этому КП от блока передачи 13. Все КП получают указанный сигнал, но воспринимает его только контролируемое устройство ТМ, чей адрес содержится в данном сигнале. Передатчик вызванного устройства подключается к каналу связи и начинает передавать запрошенную информацию. Если передача ведется по каналу а, линейный адаптер воспринимает сигналы, и они через УРУ 14 передаются на вход блока приемника 3-12, соответствующего устройству ТМ данного КП. После окончания цикла обмена информацией с одним КП УРУ формирует адрес другого КП и соответственно подготавливает рабочие цепи ОУТ для передачи и приема информации этого КП. Поскольку УРУ работает непрерывно, то все КП

данной системы телемеханики поочередно и циклически осуществляют обмен информацией с ПУ. Наибольшее применение циклические многообъектные системы нашли в распределительных электрических сетях ПЭС и РЭС, а также в городских тепловых и электрических сетях. Современные ОУТ многообъектных систем ТМ выполняются с интеллектуальными линейными адаптерами и интерфейсом вывода информации на диспетчерский щит (пункт). Интеллектуальный линейный адаптер содержит в себе микропроцессорное устройство, обеспечивающее передачу и прием первичных сигналов, проверку достоверности передачи, обработку сигналов при приеме и передачу обработанных сигналов в микро-ЭВМ. С появлением подобных устройств грань между устройствами телемеханики и вычислительной техники стирается.

1.1. Экспертные системы

Экспертные системы (ЭС) относятся к числу интеллектуальных вычислительных систем и предназначены для моделирования или имитации поведения опытных специалистов-экспертов при решении задач по какому-либо узкому вопросу. В этом смысле вести себя как специалист – это значит давать результаты высокого качества, затрачивая на это минимальное время, используя обычно приемы и схемы логического вывода на высоком уровне (интуицию), которые являются результатом многих лет работы с данной задачей.

Термин “экспертная система” в различных источниках имеет разные определения. Приведем два из них.

Экспертная система - это система искусственного интеллекта, использующая знания из сравнительно узкой предметной области для решения возникающих в ней задач, причем так, как это делал бы эксперт - человек, т. е. в процессе диалога с заинтересованным лицом, поставляющим необходимые сведения по конкретному вопросу.

Экспертная система - это вычислительная система, в которую включены знания специалистов о некоторой конкретной предметной области, которая в

пределах этой области способна принимать решения, качество которых соответствует решениям, принимаемым экспертами людьми.

Основу ЭкС составляет база знаний, хранящая множество фактов и набор правил, полученных от экспертов и из специальной литературы. База знаний отличается от базы данных тем, что если единицы информации в базе данных представляют собой не связанные друг с другом сведения, формулы, теоремы, аксиомы, то в базе знаний те же элементы уже связаны как между собой, так и с понятиями внешнего мира определенными отношениями и сами содержат в себе эти отношения. Рассмотрим классификацию ЭкС по предметным областям, в которых они используются. При этом предметные области определяются основными классами задач, эффективно решаемыми методами экспертных систем. Это задачи и их решения, которые формализованы слабо или совсем не формализованы (не структурированы).

Можно выделить 6 основных классов задач, для решения которых создаются ЭС:

1. Интерпретация данных, т. е. анализ поступающих в систему данных с целью идентификации ситуации в предметной области.

2. Диагностика, т. е. идентификация критических ситуаций в предметной области на основе интерпретации данных.

3. Контроль, т. е. слежение за ходом событий в предметной области с целью определения момента возникновения критической ситуации на основе непрерывной интерпретации данных.

4. Прогнозирование, т. е. предсказание возникновения в предметной области тех или иных ситуаций в будущем на основе моделей прошлого и настоящего.

5. Планирование, т. е. создание программ действий, выполнение которых позволит достигать поставленных целей.

6. Проектирование, т. е. разработка объектов, удовлетворяющих определенным требованиям.

По своему назначению ЭкС можно условно разделить на консультационные, или информационные, исследовательские и управляющие, а по сложности и объему базы знаний — на неглубокие и глубокие.

Консультационные ЭкС предназначены для получения пользователем квалифицированных советов. В недалеком будущем консультационные ЭкС различного назначения смогут объединяться в локальные и региональные информационные сети, что позволит многим пользователям получать различного рода знания, консультации и советы от ЭкС, объединенных в сеть;

исследовательские ЭкС призваны помогать пользователю квалифицированно решать научные задачи;

управляющие ЭкС служат для автоматизации управления процессами в реальном масштабе времени. Предполагается, что в ближайшем будущем ЭкС будут контролировать и управлять в реальном масштабе времени различными технологическими и производственными процессами, т.е. самостоятельно и оперативно принимать заключения и решения по управлению, прогнозировать развитие процесса, решать слабо формализованные задачи и оптимизировать процессы на ограниченных временных интервалах;

Неглубокие, или простые, ЭкС создаются за короткое время (два - три месяца) и имеют относительно малые базы знаний и данных в несколько сотен правил и фактов, причем, фактов значительно больше, чем правил. Доказательства их заключений обычно коротки, большинство выводов являются прямыми следствиями информации, хранимой в базе знаний. Неглубокие ЭкС содержат в базах знаний эмпирические знания и предназначены в основном для решения относительно простых задач типа ответа на запросы на требуемую техническую информацию;

Глубокие ЭкС, в отличие от неглубоких, делают свои выводы обязательно из моделей происходящих процессов, хранящихся в базе знаний. Сама модель процесса представляет собой набор правил, предназначенных для объяснения большого количества эмпирических данных. В глубоких ЭкС доказательства выводов значительно длиннее, основываются на знаниях,

выведенных из моделей, и часто поражают пользователя своей неочевидностью.

В диспетчерском управлении работы по созданию и использованию ЭКС ведутся достаточно давно. В настоящее время наиболее широко элементы ЭКС применяются в компьютерных тренажерах, особенно тренажера оперативных переключений, а также в системах-советчиках диспетчера.

1.2 Тренажеры

Для проверки знаний и приобретения навыков практической деятельности эффективно использование специализированных и комплексных тренажеров. Использование тренажеров дает возможность в настоящих условиях ускорить время подготовки новых диспетчеров, адаптировать диспетчерский персонал к работе на новых средствах диспетчерского управления - компьютерных системах АСДУ. Общая характеристика специализированных тренажеров для диспетчеров электросетевых предприятий приведена в таблице 1.

Таблица 1 - Общая характеристика тренажеров для диспетчеров электросетевых предприятий

<i>Тренажер</i>	<i>Назначение</i>	<i>Основное содержание</i>	<i>Параметры, характеризующие ситуацию</i>	<i>Тип выполняемых действий</i>
Тренажер оперативных переключений (ТОП)	Приобретение навыков производства оперативных переключений	Последовательность действий по изменению оперативного состояния ОУ	Оперативное состояние элементов ОУ	Дискретные управления
Тренажер принятия решений (ТТР)	Приобретение навыков оперативного мышления	Последовательность действий по изучению текущей ситуации и ее идентификации	Текущий режим на начало нарушения, оперативное состояние элементов ОУ	Осведомительные, взаимодействия с персоналом
Тренажер ликвидации аварий (ТЛА)	Приобретение навыков оперативного управления	Последовательность действий, направленных на ликвидацию нарушения в работе ЭС и создание надежной послеаварийной схемы	Текущий режим на начало нарушения, текущее оперативное состояние элементов ОУ, порядок срабатывания устройств РЗ и А	Осведомительные, дискретного управления, взаимодействия с персоналом

Компьютерные тренажеры и системы-советчики для диспетчеров электросетевых предприятий и энергосистем

Рассмотрим основные характеристики применяемых в настоящее время в ОДУ компьютерных тренажеров.

“Тренажер по оперативным переключениям для персонала энергетических объектов“, который разработала и продолжает совершенствовать фирма “Модус” (г. Москва). Он представляет собой готовый комплекс программ для персонального компьютера, который можно использовать для первоначального обучения, для самоподготовки, для собеседования при приеме на работу и аттестации оперативного персонала различного уровня. При этом от обучаемого не требуется навыков работы с компьютером.

Суть тренинга состоит в том, что обучаемый должен воспроизвести определенную последовательность действий при переключениях в электрической части энергообъекта в условиях нормальной работы или при аварийной ситуации на схемах энергообъектов, подобных тем, которые он обслуживает на своем рабочем месте.

В настоящее время для облегчения и повышения качества тренировочных заданий по рисунку электрической схемы создается упрощенная модель режима сети. Введена автоматическая проверка допустимости разовых операций с коммутационными аппаратами на основе аппарата правил (элементы ЭС).

Тренажер оперативных переключений для подстанции 35/10 кВ, разработанный предприятием «ПРОТЕК» (г. Киев) совместно с ЦЭС АО Дальэнерго и реализованный на персональном компьютере, совместимом с IBM PC/AT. Это тренажер полного подобия, базирующийся на полномасштабной модели всего оборудования подстанции (ПС). С помощью ТОП моделируется работа не только силовых цепей, но и вторичных цепей ПС. Отличительная особенность ТОП состоит в реалистичном изображении действующего

оборудования, щитов, пультов, трансформаторов, оборудования открытого распределительного устройства (ОРУ).

Тренажер оперативных переключений ТОП-2 на базе экспертных систем (ВНИИЭ, ЦДУ ЕЭС РФ, ГВЦ Энергетики) предназначен для обучения оперативным переключениям в распределительных устройствах электросети, применяется в тренажерных центрах и пунктах, учебных комбинатах, диспетчерских службах энергосистем и ПЭС, электроцехах электростанций. На тренажере возможны тренировки по любым схемам без предварительного задания "сценариев", тренировки на схемах отдельных энергообъектов и схемах участков электросети с несколькими энергообъектами. При этом учитываются правила коммутации как в первичных цепях, так и в цепях релейной защиты и автоматики, имеется графический режим отображения схем (возможность масштабирования схем), автоматизированное задание топологии схем;

Коммутационно-режимный оперативный тренажер для энергосистем и ПЭС "Крот" используется для тренировок оперативного персонала, работников диспетчерских и режимных служб, ОВБ и др. Тренажер работает на ПК или в ЛВС ПК и реализован на базе комплексирования модернизированной версии тренажера оперативных переключений ТОП-2 (разработка ВНИИЭ) и программы расчетов установившегося режима КУРС-1000 (разработка ЦДУ ЕЭС РФ). Это позволяет дополнить "сценарии" тренировок на тренажере ТОП-2 оперативным расчетом установившегося режима. Тренажер внедрен в ЦДУ ЕЭС РФ.

Помимо тренажеров оперативных переключений существует и применяется программный комплекс «КАСКАД» для проведения противоаварийной тренировки персонала. Программа и сценарий противоаварийной тренировки были разработаны диспетчерской службой ЦДУ ЕЭС России. Для моделирования развития аварии и восстановления параллельной работы энергообъединения использовался учебно-тренировочный комплекс КАСКАД, разработанный ВНИИЭ. Комплекс КАСКАД является многофункциональной программной системой, выполняю-

щей функции обучения, тренажера и советчика диспетчера по ведению нормальных, утяжеленных и послеаварийных режимов.

Тренажерная часть комплекса КАСКАД относится к универсальным тренажерным системам, поскольку состоит из режимного тренажера (РТ) диспетчера ЭЭС (и энергообъединения) и тренажера оперативных переключений для диспетчеров нижних уровней иерархии (РЭС, ПЭС и подстанций). Таким образом, тренажерная часть комплекса позволяет охватить тренировками практически весь спектр оперативно-диспетчерского персонала ЭЭС, энергообъединений и сетевых предприятий.

По степени всережимности модели ЭЭС тренажерная часть комплекса относится к динамическим системам реального времени (РВ), что позволяет максимально приблизиться к реальной аварийной ситуации, встречающейся на практике.

Комплекс предназначен для центров и пунктов тренажерной подготовки оперативно-диспетчерского персонала и может применяться непосредственно на рабочем месте в диспетчерских пунктах ЭЭС и энергообъединений.

Режимный тренажер — советчик диспетчера (разработчик ВНИИЭ) используется для обучения оперативно-диспетчерского персонала по ведению нормальных и послеаварийных режимов. Отдельные подсистемы тренажера могут использоваться в качестве советчиков. Тренажер представляет комплекс алгоритмов и программ реального времени на ПК типа IBM PC/AT, работающих на модели сети. Моделирование ведется с учетом электромеханических переходных процессов, вторичного регулирования и действия систем противоаварийной автоматики. В комплексе функционируют подсистемы "Модель", "Автоматика", "Режим", "Диалог", "Отображение", "Информация", "Ретроспектива", "Автотренажер", "Статистика".

Тренажер диспетчера энергосистемы по экономичному ведению режима электрической сети помогает отрабатывать навыки поиска и выбора наиболее экономичных режимов работы электрической сети (выбор оптимальной загрузки по реактивной мощности синхронных генераторов, синхронных

компенсаторов (СК), батарей СК, СТК, реакторов; выбор оптимальных отпаяк трансформаторов с устройством РПН; выявление оптимальных уровней напряжения в контрольных точках; определение устройств компенсации реактивной мощности и устройств регулирования напряжения, наиболее существенно влияющих на режим; снижение потерь в электрической сети за счет оптимизации ее режимов).

Тренажер ликвидации аварий КОПАС-АСДУ, разрабатываемый кафедрой АЭЭС НГТУ и Приобскими электрическими сетями ОАО «Новосибирскэнерго», имеет следующие основные характеристики:

- предназначен для проведения противоаварийных тренировок с диспетчерским персоналом РЭС и дежурным персоналом высоковольтных подстанций с целью приобретения навыков оперативного управления и ускорения цикла подготовки новых диспетчеров;

- область применения - в оперативном диспетчерском управлении ПЭС, РЭС, а также в учебном процессе по специализации «Оперативное диспетчерское управление в электрических сетях»;

- являясь специализированным, содержит элементы режимного тренажера и тренажера оперативных переключений, что позволят обеспечить более полное формирование навыков оперативного управления;

- имитационные модели позволяют проводить тренировки по «жесткому» сценарию или воспроизводить «естественную жизнь» объекта управления;

- контроль норм деятельности осуществляется автоматически с помощью модульно-рейтинговой системы, основными частями которой являются экспертные системы по переключениям. Последовательность выполнения переключений ограничивается только действием общих правил. Благодаря этому реализуется независимость алгоритмов от схемы подстанции;

- состав программных средств позволяет в короткие сроки выполнить подготовку объектов для моделирования.

Большое внимание подготовке оперативного персонала и созданию средств профессиональной подготовки уделяется и за рубежом. Все

энергокомпаниям, занимающиеся производством и распределением электроэнергии, имеют свои учебно-тренировочные центры. В 1984 году EPRI изложили требования к тренажеру для энергосистемы. Хотя ряд тренажеров были созданы до этого, в настоящее время ведется модернизация ранее созданных и разработка новых тренажеров, которые обеспечивали бы эффективное обучение операторов.

На рис. 4 показана PSM-CCM конфигурация одного из зарубежных тренажеров. Человеко-машинный интерфейс предусмотрен на каждой компьютерной системе. MMI, используемый инструктором, выполняется на UNIX автоматизированном рабочем месте, связанном с PSM. Инструктор имеет возможность отобразить данные, изменять данные и управлять CCM. MMI, используемый стажером - точная копия MMI системы, используемой на диспетчерском пункте и соединен с компьютером Модели Центра Управления. OTS удовлетворяет двум основным функциональным требованиям, чтобы обеспечить эффективный механизм обучения:

1. Обучающий тренажер моделирует энергосистему в реальном масштабе времени.
2. Тренажер включает почти точное представление системы управления стажера. Тренажер включает копии дисплеев, пультов, клавиатур, и прикладных программ, которые стажер использует, чтобы эксплуатировать систему.

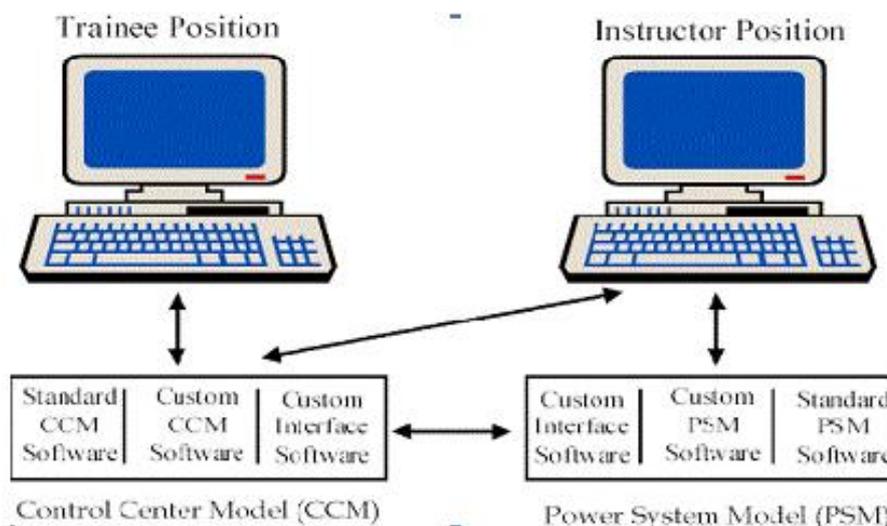


Рис.4 Конфигурация тренажера OTS

Тренажер диспетчера энергосистемы “Trainingssimulator für Netzwiederaufbau”, разработанный в институте “Elektrische Anlagen und Netze” университета Дуйсбурга (Германия). Позволяет проводить тренировки при участии в ней различных субъектов энергосистемы, находящихся за своим автоматизированным рабочим местом и взаимодействующих друг с другом через общую локальную вычислительную сеть. Тренажер содержит два основных модуля:

- модуль динамических моделей (электростанций, потребителей, изменения частоты, расчета потокораспределения);
- модуль менеджера данных по процессам (данных по сети и моделям, схемам объектов управления, обработчик событий и т.д.).

1.3. Оптоволоконные линии связи

Цифровые системы передачи предусматривают передачу информации в ЛТ в виде импульсных последовательностей (цифр) при скорости передачи этих импульсов от 1,5 до 560 млн. имп./с. Для передачи импульсов на таких скоростях необходимы специальные кабельные линии связи. Такими линиями связи являются коаксиальные кабели связи обычных и специальных конструкций, световодные кабели или световоды.

Для энергетики наиболее перспективным является использование световодных кабелей, называемых световолоконными или оптоволоконными кабелями.

Волоконно-оптическая связь — вид проводной электросвязи, использующий в качестве носителя информационного сигнала электромагнитное излучение оптического (ближнего инфракрасного) диапазона, а в качестве направляющих систем — волоконно-оптические кабели. Благодаря высокой несущей частоте и широким возможностям мультиплексирования, пропускная способность волоконно-оптических линий многократно превышает пропускную способность всех других систем связи и может измеряться терабитами в секунду. Малое затухание света в оптическом волокне обуславливает возможность применения

волоконно-оптической связи на значительных расстояниях без использования усилителей. Волоконно-оптическая связь свободна от электромагнитных помех и не доступна для несанкционированного использования — перехватить сигнал, передаваемый по оптическому кабелю невозможно.

Волоконно-оптическая связь — вид проводной электросвязи, использующий в качестве носителя информационного сигнала электромагнитное излучение оптического (ближнего инфракрасного) диапазона, а в качестве направляющих систем — волоконно-оптические кабели. Благодаря высокой несущей частоте и широким возможностям мультиплексирования, пропускная способность волоконно-оптических линий многократно превышает пропускную способность всех других систем связи и может измеряться терабитами в секунду. Малое затухание света в оптическом волокне обуславливает возможность применения волоконно-оптической связи на значительных расстояниях без использования усилителей. Волоконно-оптическая связь свободна от электромагнитных помех и не доступна для несанкционированного использования — перехватить сигнал, передаваемый по оптическому кабелю невозможно.

В оптоволокне световой луч обычно формируется полупроводниковым или диодным лазером. В зависимости от распределения показателя преломления и от величины диаметра сердечника оптоволокно подразделяется на одномодовое и многомодовое.



Рис.5. Оптоволоконный кабель

Диаметр сердцевины оптических волокон может отличаться и есть три типа оптических волокон:

оптоволоконно многомодовое - диаметром сердцевины 50 мкм

оптоволоконно многомодовое - диаметром сердцевины 62.5 мкм

оптоволоконно одномодовое - диаметром сердцевины 8-10 мкм

Диаметр внешней оболочки для всех оптоволокон, имеет стандартный размер 125 мкм, что позволяет использовать в структурированной кабельной системе (СКС) стандартизованные разъемные и неразъемные соединения.

Чтобы защитить кварцевые трубочки от влаги и внешних воздействий, на внешнюю оболочку кварцевой трубочки наносят слой лака 2-3 мкм, а затем покрывают ее первичным защитным буфером, что позволяет придать эластичность и гибкость волокну. Внешний диаметр оптического волокна в первичном буфере — 250 мкм. Некоторые оптические волокна покрывают вторичным слоем защитного буфера. Внешний диаметр оптоволокон с вторичным буфером составляет 900 мкм.

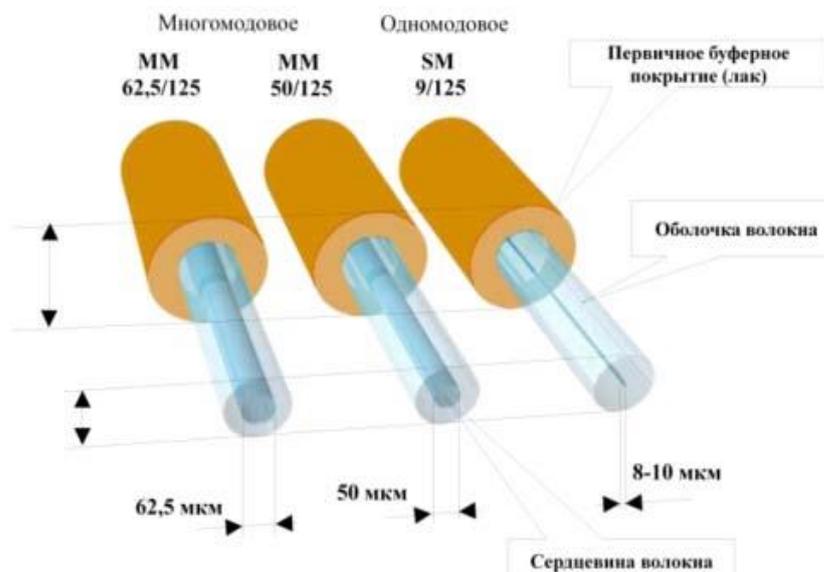


Рис.6. Типы оптических волокон

Оптоволоконна с буфером 900 мкм обычно входят в конструкцию распределительных оптических кабелей, которые используются в основном для прокладки внутри зданий. Оптические волокна с буфером 900 мкм позволяют провести монтаж волоконно-оптических вилок (коннекторов) прямо на объекте, например, с использованием клеевой технологии.

Оптоволокна имеют большую полосу пропускания и меньшее затухание (меньшие вносимые потери), в отличие от витой пары, поэтому они находят свое широкое применение при создании линий связи (волоконно-оптических линий связи — ВОЛС) на большие расстояния или в случае использования высокоскоростных технологий.

Преимущества оптоволоконных линий связи

Широкополосность оптических сигналов, обусловленная чрезвычайно высокой частотой несущей. Это означает, что по оптоволоконной линии можно передавать информацию со скоростью порядка 1 Тбит/с;

Очень малое затухание светового сигнала в волокне, что позволяет строить волоконно-оптические линии связи длиной до 100 км и более без регенерации сигналов; устойчивость к электромагнитным помехам со стороны окружающих медных кабельных систем, электрического оборудования (линии электропередачи, электродвигательные установки и т.д.) и погодных условий;

Защита от несанкционированного доступа.

Информацию, передающуюся по волоконно-оптическим линиям связи, практически нельзя перехватить неразрушающим кабель способом;

Электробезопасность. Являясь, по сути, диэлектриком, оптическое волокно повышает взрыво- и пожаробезопасность сети, что особенно актуально на химических, нефтеперерабатывающих предприятиях, при обслуживании технологических процессов повышенного риска;

Долговечность ВОЛС — срок службы волоконно-оптических линий связи составляет не менее 25 лет.

Недостатки оптоволоконных линий связи

Относительно высокая стоимость активных элементов линии, преобразующих электрические сигналы в свет и свет в электрические сигналы; относительно высокая стоимость сварки оптического волокна. Для этого требуется прецизионное, а потому дорогое, технологическое оборудование. Как следствие, при обрыве оптического кабеля затраты на восстановление ВОЛС выше, чем при работе с медными кабелями.

2. Основы теории передачи информации

Передача информации с помощью электрических (информационных) сигналов является самостоятельной областью техники. Теория передачи информации устанавливает определенные закономерности, понятия и методы, с помощью которых определяются качественные и технические показатели систем передачи информации. Рассматриваемые ниже основы теории передачи информации включают в себя вопросы, непосредственно связанные с наладкой и эксплуатацией систем передачи информации, используемых для нужд энергетики в настоящее время и в перспективе дальнейшего развития. К этим вопросам относятся понятия о видах и параметрах информационных сигналов, процессах преобразования этих сигналов, принципах построения систем передачи различного типа информационных сигналов. Последнее десятилетие развития систем передачи информации характеризуется широким внедрением дискретных систем передачи информации, в которых носителем информации является дискретный сигнал (посылка, импульс). В первую очередь эти системы были использованы для передачи телемеханической информации и передачи данных. В ближайшем будущем эти системы полностью заменят традиционные системы передачи информации с частотным разделением каналов. Исходя из этого, при рассмотрении вопросов теории передачи информации особое внимание уделено дискретным системам передачи информации.

Перед рассмотрением конкретных вопросов основ теории передачи информации, необходимо остановиться на некоторых общих понятиях, которые будут использованы в процессе этого рассмотрения. К этим понятиям относятся уровни передачи, усиление и затухание четырехполюсника, диаграмма уровней, остаточное затухание, частотные и амплитудные характеристики системы связи и отдельных ее элементов.

Электрическая цепь, предназначенная для передачи информационного сигнала, представляет собой совокупность последовательно включенных пассивных и активных четырехполюсников (рис. 7а).

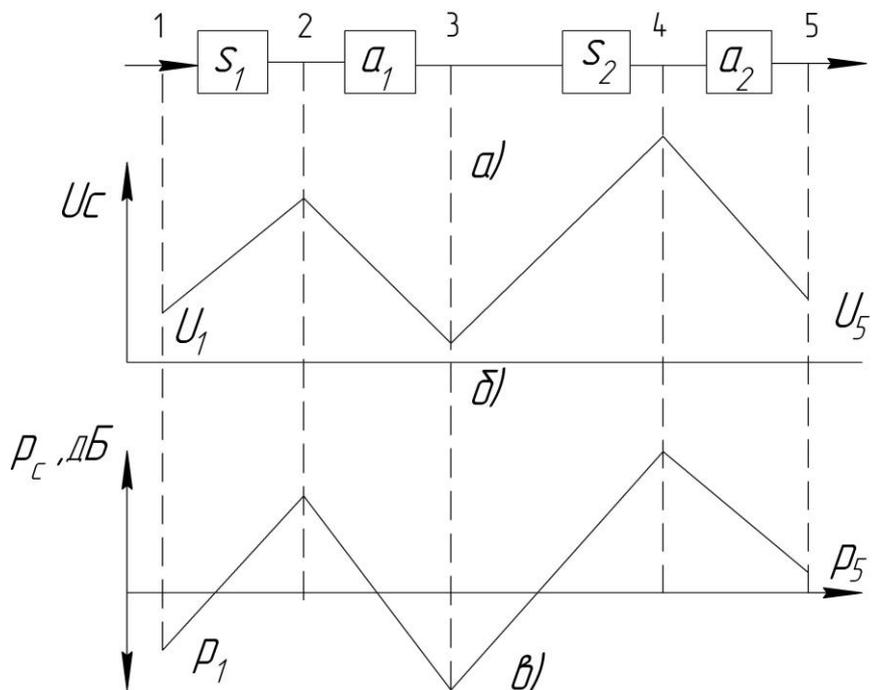


Рис.7 Электрическая цепь а) б) в)

Основным параметром пассивного четырехполюсника является затухание, активного четырехполюсника - усиление. Усиление - это явление, когда мощность или напряжение сигнала на выходе четырехполюсника больше мощности или напряжения сигнала на входе этого четырехполюсника; затухание - это явление, когда мощности или напряжение на выходе четырехполюсника меньше мощности или напряжения сигнала на входе четырехполюсника. Прохождение сигнала по цепи (рис.7 а) может быть охарактеризовано диаграммой напряжения (мощности) сигнала в цепи (рис. 7 б), которая показывает значение напряжения сигнала в каждой из контрольных точек (1 - 5) рассматриваемой электрической цепи. Пользуясь диаграммой напряжения, можно определить коэффициенты усиления k_1 , k_3 активных четырехполюсников S_1 и S_2 или коэффициенты затухания k_2 , k_4 , пассивных четырехполюсников a_1 и a_2 :

$$k_1 = \frac{U_2}{U_1}; \quad k_2 = \frac{U_2}{U_3}; \quad k_3 = \frac{U_4}{U_3}; \quad k_4 = \frac{U_4}{U_5}.$$

В технике передачи информации для оценки электрического сигнала кроме понятий напряжения и мощности широко используется понятие об уровнях передачи.

Уровнем передачи электрического сигнала в некоторой точке электрической цепи называется логарифмическая мера отношения мощности P_X или напряжения U_X этого сигнала к мощности P_0 или напряжению U_0 , выбранному для сравнения.

Уровни передачи считаются абсолютными, если они сравниваются с абсолютными нулевыми уровнями, и могут быть относительными, если сравнение проводится по отношению к уровням в некоторой точке цепи, принятой за основу сравнения.

За нулевой абсолютный уровень по мощности принята мощность $P_{0a} = 1$ мВт. За нулевой абсолютный уровень по напряжению принято напряжение $U_{0a} = 0,775$ В, т. е. напряжение на нагрузке 600 Ом, соответствующее мощности 1 мВт, выделяемой на этом сопротивлении.

Уровни передачи измеряются в специальных единицах - децибелах, обозначаемых дБ с характеризующим индексом.

Абсолютный уровень по мощности, дБ, определяется по формуле:

$$p_M = 10 \cdot \lg \frac{P_X}{P_{0a}} = 10 \cdot \lg P_X,$$

где P_X - в милливаттах.

Абсолютный уровень по напряжению, дБн, определяется по формуле

$$p_H = 20 \cdot \lg \frac{U_X}{0,775} = 20 \cdot \lg U_X + 2,2,$$

где U_X - в вольтах.

Соотношение абсолютных уровней по напряжению и по мощности, измеренных на нагрузке, Z определяется выражением:

$$P_M = 10 \cdot \lg \frac{U_x^2 \cdot 600}{Z(0,775)^2} = 20 \cdot \lg \frac{U_x}{0,775} + 10 \cdot \lg \frac{600}{Z} = P_H + 10 \cdot \lg \frac{600}{Z}.$$

Таким образом, абсолютные уровни по мощности и по напряжению на нагрузке 600 Ом равны между собой.

Относительный уровень по мощности, дБм, $P_{0M} = 10 \cdot \lg \frac{P_x}{P_0}$,

где P_0 - значение мощности сигнала в точке цепи, принятой для сравнения, мВт.

Относительный уровень по напряжению, дБн, определяется по формуле:

$$P_{0H} = 20 \cdot \lg \frac{U_x}{U_0},$$

где U_0 - напряжение сигнала в точке цепи, принятой за основу, В.

Если нагрузки в точке измерения относительных уровней и в точке, принятой для сравнения, одинаковы, то уровни P_{0M} и P_{0H} имеют одинаковые значения.

Если известны значения абсолютного P_M и относительного P_{0M} уровней по мощности в данной точке цепи, то значение абсолютного уровня по мощности, отнесенного к точке с нулевым относительным уровнем (точке, принятой за сравнение), определяется выражением: $P_{M.O} = P_M - P_{0M}$.

Логарифмические единицы – децибелы – используются также для оценки усиления и затухания четырехполюсников, а также для оценки степени влияния помехи на сигнал в заданной точке цепи. Если на вход усилителя с входным сопротивлением Z_1 воздействует сигнал, имеющий уровни передачи P_{H1} , P_{M1} , а на выходе усилителя на имеющий уровни передачи P_{H1} , P_{M1} , а на выходе усилителя на нагрузке Z_2 уровни передачи имеют значения P_{H1} , P_{M1} , то усиление усилителя, дБ, определяется по формулам

В некоторых случаях для оценки качества усилителя используется параметр рабочего усиления:

$$s_H = P_{H2} - P_{H1};$$

$$s_M = P_{M2} - P_{M1} = s_H + 10 \cdot \lg \frac{Z_1}{Z_2}.$$

$$s_p = 10 \cdot \lg \frac{P_2}{P_1},$$

где P_1 - мощность, которую отдал бы источник сигнала с ЭДС E и внутренним сопротивлением Z_1 на согласованную нагрузку; P_2 - мощность, отдаваемая тем же генератором нагрузке Z_2 через рассматриваемый усилитель.

В общем случае затухание четырехполюсника определяется выражением:

$$a = 10 \cdot \lg \frac{P_{10}}{P_2},$$

где P_{10} - мощность, выбранная в качестве базы сравнения;

P_2 - мощность, выделяющаяся на выходе четырехполюсника нагрузкой Z_2 .

В зависимости от того, что принимается за P_{10} , различают рабочее затухание четырехполюсника a_p , вносимое затухание a_p и затухание передачи $a_{\text{ПЕР}}$ четырехполюсника.

При определении a_p мощность P_{10} соответствует мощности, отдаваемой источником сигнала с внутренним сопротивлением Z_1 на согласованную нагрузку, а мощность P_2 - мощность, отдаваемая этим же источником сигнала нагрузке Z_2 , подключенной к нему через исследуемый четырехполюсник.

Вносимое затухание четырехполюсника $a_{\text{вн}}$ определяется отношением мощности P_{10} , отдаваемой источником сигнала нагрузке Z_2 , подключенной непосредственно на его зажимы, к мощности P_2 выделяющейся на той же нагрузке Z_2 , подключенной к тому же источнику сигнала через рассматриваемый четырехполюсник.

Затухание передачи четырехполюсника определяется отношением мощности P_{10} , отдаваемой источником сигнала на вход четырехполюсника, к мощности P_2 , выделяющейся на выходе четырехполюсника на нагрузке Z_2 . Если входное сопротивление четырехполюсника Z_1 , то

$$a_{\text{пер}} = 10 \cdot \lg \frac{P_{10}}{P_2} = p_{M1} - p_{M2} = p_{H1} - p_{H2} + 10 \cdot \lg \frac{Z_2}{Z_1}.$$

Для оценки качества прохождения сигнала по всему каналу связи используется понятие остаточного затухания a_0 , представляющего разность уровней передачи сигнала в начале P_1 и конца P_2 канала связи:

$$a_0 = P_{M1} - P_{M2}.$$

Для оценки влияния мешающих токов на сигнал применяют понятие помехозащищенности $\Delta P_{C.П.}$, которое определяется как разность уровней полезного сигнала и помехи в рассматриваемой точке цепи:

$$\Delta p_{C.П.} = P_C - P_{П.}$$

Частотной характеристикой затухания (усиления) электрической цепи четырехполюсника называется зависимость его затухания (усиления) от частоты сигнала, передаваемого по этой цепи.

Частотная характеристика затухания (усиления) определяет собой полосу частот рабочих сигналов, которые могут быть переданы по данной электрической цепи.

Амплитудной характеристикой электрической цепи (четырёхполюсника) называется зависимость затухания (усиления) этой цепи от значения уровня сигнала на входе (выходе) этой цепи. Амплитудная характеристика определяет диапазон входных (выходных) уровней передачи сигнала, в пределах которого не возникают амплитудные искажения этого сигнала.

3. Электрический информационный сигнал

Электрическим сигналом называется электрический процесс, несущий в себе информацию (сообщение). Параметр этого сигнала, однозначно соответствующий передаваемому сообщению, называется информационным параметром. Процесс изменения информационного параметра сигнала под воздействием передаваемого сообщения называется модуляцией. Сигналы, как и сообщения, подразделяются на аналоговые и дискретные. Аналоговым сигналом (сообщением) называется сигнал (сообщение), информационный параметр которого может принимать любое конкретное значение в заданных пределах изменения. Примером аналогового сигнала является сигнал телефонной связи: в зависимости от тембра голоса абонента и характера разговора частота и амплитуда компонентов, составляющих этот сигнал, могут принимать любые значения в пределах заданной полосы рабочих частот и уровней передачи. Дискретным сигналом называется сигнал, информационный параметр которого может принимать только несколько заранее заданных значений. Дискретный сигнал, информационный параметр которого может принимать только два значения, называется двоичным или бинарным сигналом. Дискретный сигнал с параметром, принимающим более двух значений, называется многоуровневым дискретным сигналом. Дискретные сигналы могут быть постоянного и переменного тока. На рис.8 показаны дискретные сигналы постоянного тока.

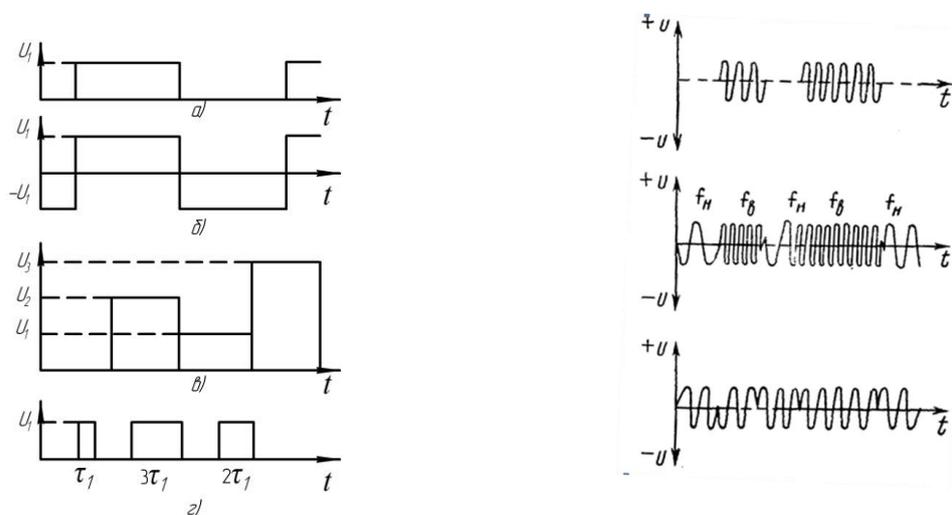


Рис. 8 Дискретные сигналы постоянного тока а) б) в) г)

Информационным параметром сигнала постоянного тока является либо амплитуда напряжения (рис. 8 а - в), либо длительность сигнала (рис. 8 г). Как видно из рис.8 а, в однополярном двоичном сигнале амплитуда напряжения сигнала может принимать только два значения: 0 и U_1 ; в двоичном двухполярном сигнале (рис. 8 б) $-U_1$ и $+U_1$.

В многоуровневом однополярном сигнале (рис.8е) амплитуда напряжения может принимать любое из четырех значений (0, U_1 , U_2 , U_3). В многоуровневом однополярном сигнале (рис. г) в качестве информационного параметра выбрана длительность сигнала. В данном случае этот параметр может принимать четыре разных значения: 0, τ_1 , $2\tau_1$, $3\tau_1$. Многоуровневые дискретные сигналы используются в быстродействующих системах передачи информации, но широкого применения в отечественных системах телемеханики и передачи данных они еще не получили.

В общем случае сигнал переменного тока описывается выражением:

где U_m - амплитудное значение напряжения сигнала переменного тока; f - частота сигнала переменного тока; φ - фаза колебания $u = U_m \sin(2\pi f + \varphi)$.

Дискретный сигнал переменного тока может быть получен путем амплитудной, частотной или фазовой модуляции (АМ, ЧМ, ФМ) несущего сигнала переменного тока. Полученный в результате модуляции сложный сигнал соответственно называется амплитудно-модулированным сигналом (колебанием). Сигнал, под воздействием которого осуществляется модуляция несущего сигнала, называется модулирующим сигналом. Процесс преобразования АМ, ЧМ и ФМ сигнала в первичный модулирующий сигнал называется демодуляцией. В практике эксплуатации дискретных систем передачи информации дискретный сигнал часто называют «посылкой». Посылка характеризуется значением информационного параметра и длительностью. Длительностью посылки называется интервал времени, в котором посылка сохраняет значение приобретенного параметра. Элементарной посылкой называется посылка наименьшей длительности, которая имеет место в данной конкретной системе передачи информации.

Количество сообщений, которое может быть передано единичным дискретным сигналом, определяется выражением: $N = m$, где m - число значений, которые может принимать информационный параметр дискретного сигнала.

Таким образом, пятиуровневый дискретный сигнал может передать информацию о пяти состояниях контролируемого объекта, а двоичный сигнал - всего о двух состояниях объекта. Несмотря на это, передача информации с помощью двоичных сигналов получила повсеместное применение, поскольку большими преимуществами двоичных сигналов являются простота их формирования, простота передачи по каналу связи и простота приемных устройств двоичных сигналов. Для увеличения количества информации, передаваемой с помощью двоичных сигналов, используется многоэлементный информационный сигнал, формируемый из заданного количества одиночных двоичных сигналов (элементов). Если через n обозначить количество элементов многоэлементного сигнала (кодовой комбинации), то информационная емкость такого сигнала определяется по формуле

На рис.9а приведена структура многоэлементного сигнала, составленного из 8 двоичных посылок одинаковой длительности t_0 . На рис. 9б, в показан тот же многоэлементный сигнал при передаче двух различных сообщений.

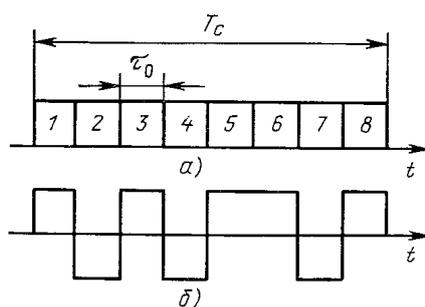


Рис. 9 а) Структура многоэлементного сигнала,

б) Структура многоэлементного сигнала при передаче двух различных сообщений

$$N = m^n.$$

В соответствии с формулой с помощью такого сигнала можно передать $2^8=256$ сообщений. Каждой информации соответствует свое сочетание

параметров элементарных двоичных посылок, составляющих многоэлементный сигнал. За единицу измерения количества информации принят бит (двоичная единица количества информации). Количество информации в битах определяется по формуле:

$$I = \log_2 N = n \log_2 m.$$

Одиночный двоичный сигнал содержит один бит информации, а многоэлементный сигнал, рассмотренный выше, содержит 8 бит.

Указанные возможности многоэлементного сигнала используются в цифровом методе передачи информации. Этот метод заключается в том, что каждому из сообщений, подлежащих передаче, присваивается свой номер (цифра), значение которого передается сложным сигналом. Процесс преобразования сообщения в соответствующую ему цифру называется кодированием, а электрический сигнал, полученный в результате кодирования, называют кодовой комбинацией. Различают равномерные и неравномерные коды. Равномерным кодом называется код, который для передачи любой информации использует одинаковое число двоичных посылок.

Примером неравномерного кода может служить код Морзе, в котором сигналы различных сообщений различаются количеством элементарных посылок, как показано на рис.10

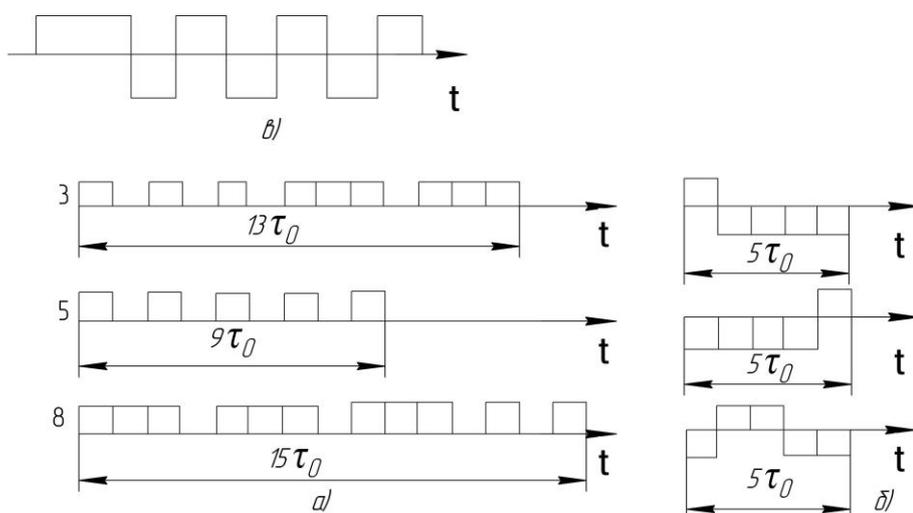


Рис.10 Сигналы сообщений

В общем случае при использовании кодовых сигналов не все возможные комбинации используются для передачи рабочей информации, часть комбинаций N_C используют в различных служебных целях, например для повышения достоверности передачи информации. Данное положение оценивается понятием коэффициента избыточности применяемого кода:

$$K_{изб} = 1 - \log_2 \frac{N_P}{N}; \quad N = N_P + N_C,$$

где N_P - количество рабочих комбинаций.

Код характеризуется основанием и разрядностью. Основание кода (основание системы счисления) характеризуется количеством значений информационного параметра элемента кода. Разрядность определяется количеством элементов в кодовом сигнале. Любое число в любой системе счисления можно представить выражением:

$$A = \sum_{i=0}^{i=n-1} k_i m^i,$$

где m - основание системы счисления; n - количество разрядов; i - номер разряда; k_i - разрядный коэффициент; $k_i = 0 \dots m-1$.

Таким образом, при $n = 4$ величина A будет представлена выражением:

$$A = k_i m^3 + k_i m^2 + k_i m + k_i m^0,$$

т. е. четырехразрядным кодом, в котором разряды расположены по степени убывания. Первым разрядом условимся называть разряд вида $k_i m^0$. В этом случае четвертый разряд рассматриваемой кодовой комбинации соответствует $k_i m^3$. Иногда в литературе счет разрядов ведется с нулевого (в нашем случае - с первого) и заканчивается разрядом с номером $n-1$.

В соответствии с изложенным число 120 в десятичной системе счисления запишется в виде трехразрядного кода $120 = 1 \cdot 10^2 + 2 \cdot 10^1 + 0 \cdot 10^0$, а это же число в двоичном коде запишется семиразрядным кодом

$$120 = 1 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0.$$

В двоичном написании $120 = 1111000$.

Количество комбинаций двоичного кода при n разрядах определяется по формуле:

$$N = 2^n.$$

Для записи двоичным кодом числа A потребуется $n \approx \log_2 A$ разрядов (n_1 берется равным ближайшему целому числу выражения $\log_2 A$).

Ниже приведены примеры записи десятичных чисел двоичным цифровым кодом при $N = 16$:

Таблица 2 - Запись десятичных чисел двоичным цифровым кодом

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

Ниже приводится пример передачи десятичных цифр двоичным кодом Грея при $N = 16$:

Таблица 3 - Пример передачи десятичных цифр двоичным кодом Грея

0=0000	5=0111
1=0001	6=0101
2=0011	7=0100
3=0010	8=1100
4=0110	9=1101

Из примера видно, что в коде Грея любая кодовая комбинация отличается от двух соседних комбинаций только на одну единицу. Эта особенность кода Грея обеспечивает минимальную погрешность в условиях пропадания и появления лишней посылки, равную единице квантования аналоговой величины.

Единичный десятичный код предусматривает передачу разрядов десятичных цифр соответствующим количеством единиц. Например, число 369 в этом коде передается тремя кодовыми комбинациями:

3=000000111

6=0000111111

9=011111111

Подобный код применяется, например, в автоматизированных системах телефонной связи для передачи номера вызываемого абонента.

Двоично-десятичный код предусматривает передачу десятичных цифр четырехразрядным кодом с количеством комбинаций, соответствующим количеству разрядов десятичного числа. Каждая кодовая комбинация несет информацию о значимости десятичной цифры в двоичном исчислении. Наиболее известны коды типов 8-4-2-1, 5-4-2-1, 2-4-2-1.

Таблица 4 - Значения десятичных цифр в данных кодах

<i>Цифры</i>	<i>Двоично-десятичный код</i>		
	<i>8-4-2-1</i>	<i>5-4-2-1</i>	<i>2-4-2-1</i>
0	0000	0000	0000
1	0001	0001	0001
2	0010	0010	0010
3	0011	0011	0011
4	0100	0100	0100
5	0101	1000	1011
6	0110	1001	1100
7	0111	1010	1101
8	1000	1011	1110
9	1001	1100	1111

Эти коды называются «весовыми кодами», так как каждому разряду присвоен свой «вес». Так, «вес» первого разряда кода 8-4-2-1 соответствует 1, второго разряда - 2, третьего разряда 4, четвертого - 8. Высший разряд в коде 5-4-2-1 имеет «вес», равный 5, а в коде 2-4-2-1, равный 2.

Десятичное число 841 в этих кодах будет записано следующим образом:

1000-0100-0001, код 8-4-2-1;

1011-0100-0001, код 5-4-2-1;

1110-0100-0001, код 2-4-2-1.

4. Дискретные каналы связи

Каналы связи, предназначенные для передачи дискретных сигналов, называются дискретными каналами связи. К ним относятся каналы телемеханики, телеграфные каналы и каналы передачи данных. В дискретных каналах телемеханики (КТМ) первичным сигналом (первичным носителем информации) является двоичный сигнал однополярного или двухполярного постоянного тока, поступающий с передающего устройства телемеханики на вход КТМ. В большинстве современных устройств телемеханики первичный сигнал является многоэлементным, т.е. представляет собой совокупность двоичных сигналов. Задачей КТМ является достоверная передача первичного сигнала от предыдущего устройства телемеханики, расположенного в одном пункте, до приемного устройства телемеханики, расположенного в другом пункте. Каналы телемеханики различают по способу преобразования первичного сигнала в сигнал тональной частоты и по скорости передачи дискретных сигналов. В зависимости от вида модуляции, используемой при преобразовании первичного сигнала в сигнал тональной частоты, различают КТМ с амплитудной модуляцией (КТМ - АМ), КТМ с частотной модуляцией (КТМ - ЧМ), КТМ с фазовой модуляцией (КТМ - ФМ). В соответствии с этим используются модемы с АМ, модемы с ЧМ и модемы с ФМ.

Для определения скорости передачи дискретных сигналов по КТМ используется специальная единица измерения - Бод. Скорость передачи, выраженная в бодах, численно равна количеству элементарных посылок при условии непрерывной передачи последовательности посылок, составленной из элементарных посылок разного информационного параметра (точек). В зависимости от максимальной скорости передачи различают каналы со скоростями передачи 50, 100, 200 Бод. В этих каналах соответственно используются модемы, обеспечивающие передачу дискретных сигналов соответственно при скоростях до 50, 100 и 200 Бод. В практике встречаются каналы телемеханики и модемы на скорость передачи 300 Бод, но такие каналы считаются нестандартными. В настоящее время скорости передачи 600, 1200 и

2400 Бод используются в каналах передачи данных, оборудованных соответственно Модемами 600, Модемами 1200 и Модемами 2400.

Функциональная схема КТМ АМ приведена на рис. 11. В этой схеме МП - модем передачи, МПР - модем приема, КС - канал связи (групповой канал телемеханики).

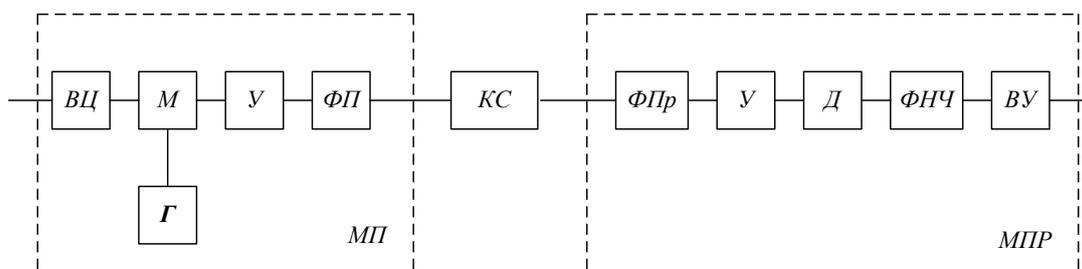


Рис.11 Функциональная схема КТМ АМ

Первичный сигнал, поданный на вход модема передачи, проходит входную цепь ВЦ и поступает на модулятор М. На второй вход М подается сигнал тональной частоты от генератора несущей частоты Г.

В модуляторе происходит амплитудная модуляция несущего колебания, т. е. изменение его амплитуды в соответствии с изменением амплитуды модулирующего (первичного) сигнала. При передаче непрерывного первичного сигнала вида $U \sin(\Omega t)$ мгновенное значение напряжения модулированного колебания на выходе модема определяется формулой:

$$u = U_0 \sin \omega_0 t (1 - M \sin \Omega t) = U_0 \sin \omega_0 t + \frac{U_0 M}{2} \cos(\omega_0 - \Omega) t - \frac{M U_0}{2} \cos(\omega_0 + \Omega) t.$$

где U_0 - амплитуда несущего колебания при отсутствии модуляции; M - коэффициент модуляции; ω_0 - частота несущего колебания.

Если первичный сигнал будет представлять собой непрерывную последовательность симметричных посылок с длительностью $T_0 = 1/(2F_M)$, то при $M = 1$ мгновенное значение напряжения модулированного колебания описывается формулой:

$$u = 0,9U_0 \sin \omega_0 t + 0,318U_0 [\cos(\omega_0 - \Omega_M)t - \cos(\omega_0 + \Omega_M)] + 0,106U_0 [\cos(\omega_0 - 3\Omega_M)t - \cos(\omega_0 + 3\Omega_M)t],$$

или в общем виде:

$$u = U_0 [1 + Mh(t)] \sin \omega_0 t,$$

где $h(t)$ - функция, отображающая характер изменения амплитуды огибающей первичного сигнала $\Omega_M = 2\pi F_M = \pi/T_0$.

Коэффициент модуляции определяется формулой:

$$M = \frac{U_A - U_B}{U_A + U_B},$$

где U_A и U_B - максимальное и минимальное значения амплитуды модулированного колебания.

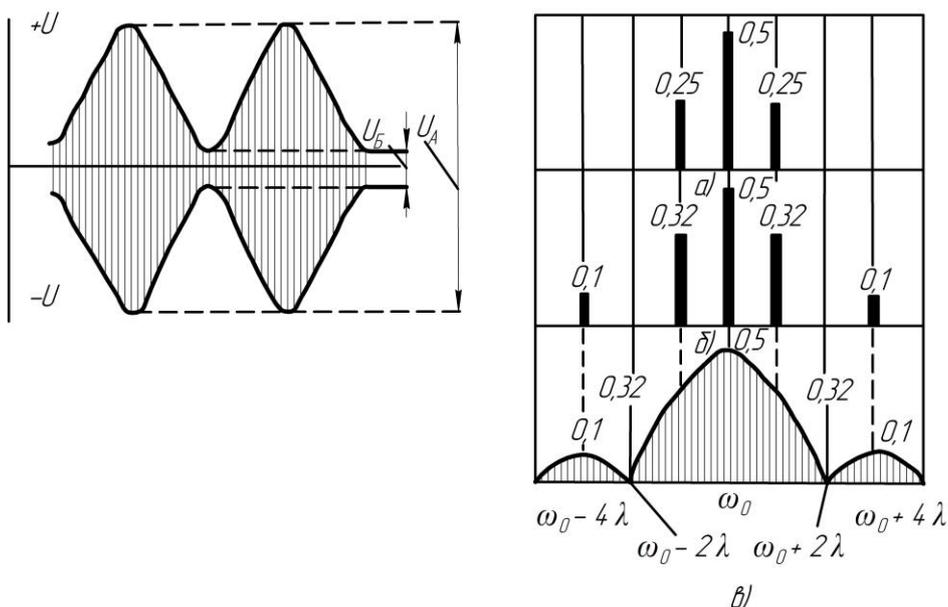


Рис.12 а) б) в) Спектр частот

Спектр частот амплитудно-модулированного колебания зависит от формы модулирующего (первичного) сигнала. При синусоидальном первичном сигнале частотой Ω в спектре а) будут три составляющие: несущая частота ω_0 и две боковые частоты $\omega_0 + \Omega$ и $\omega_0 - \Omega$. При передаче серии двоичных сигналов разного знака (точек) и длительностью T_0 частотный спектр будет соответствовать рис.12 б при $F_M = 1/(2T_0)$. При дискретной смене параметра

(амплитуды) спектра частот АМ колебания содержат множество частотных составляющих, амплитуды которых соответствуют рис.12 в.

Модулированное колебание с выхода М через усилитель У и фильтр передачи ФП поступает на вход КС (ГКТМ), к выходу которого подключен модем приема МПР. Модулированный сигнал рассматриваемого канала телемеханики проходит через полосовой приемный фильтр ФПР, усилитель приема У и поступает на амплитудный детектор Д, который осуществляет детектирование АМ сигнала.

Полученный на выходе Д в результате детектирования первичный сигнал обрабатывается выходным устройством и с выхода МПР поступает на вход приемного устройства телемеханики. При качественной передаче форма первичного сигнала на выходе МПР полностью соответствует форме первичного сигнала на входе канала телемеханики.

Существенное преимущество КТМ - АМ заключается в простоте построения модемов передачи и приема и сравнительно малой чувствительности к частотным искажениям в канале связи. Недостатками, ограничивающими использование КТМ - АМ, являются чувствительность к плавным и скачкообразным изменениям остаточного затухания группового канала телемеханики и малая помехозащищенность в отношении гладких и импульсных помех.

Наиболее широкое применение в энергосистемах нашли каналы телемеханики с частотной модуляцией

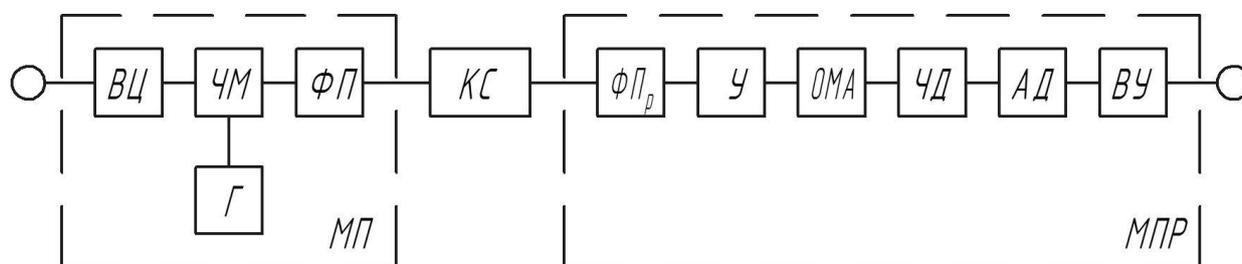


Рис.13 Функциональная схема КТМ - ЧМ

В зависимости от типа модема узел ВЦ обеспечивает либо согласование выхода передающего устройства телемеханики с ЧМ, либо (добавочно) формирование фронтов первичного сигнала, проходящего через ВЦ на вход

ЧМ. В зависимости от значения информационного параметра первичного сигнала ЧМ изменяет значение частоты тонального генератора Γ , тем самым преобразуя первичный двоичный сигнал в частотно-модулированный двоичный сигнал.

Информационными параметрами этого сигнала являются нижняя F_Z и верхняя F_A характеристические частоты модема. Кроме того, ЧМ сигнал характеризуется средней (характеристической) частотой F_0 , частотным сдвигом ΔF_C и девиацией частоты ΔF_D . Указанные параметры стандартизованы применительно к различным типам модемов.

Для Модема 50

$$\left. \begin{aligned} F_0 &= 300 + 60N_K; & F_A &= 330 + 60N_K; \\ F_Z &= 270 + 60N_K; & \Delta F_C &= 2\Delta F_D = F_A - F_Z = 60. \end{aligned} \right\}$$

Для Модема 100

$$\left. \begin{aligned} F_0 &= 240 + 240N_K; & F_A &= 30 + 240N_K; \\ F_Z &= 180 + 240N_K; & \Delta F_C &= 2\Delta F_D = F_A - F_Z = 120. \end{aligned} \right\}$$

Для Модема 200

$$\left. \begin{aligned} F_0 &= 120 + 480N_K; & F_A &= 240 + 480N_K; \\ F_Z &= 480N_K; & \Delta F_C &= 2\Delta F_D = 240. \end{aligned} \right\}$$

В этих формулах N_K - порядковый номер модема (канала) телемеханики.

В соответствии с рекомендациями МККТТ для обозначения модемов (и каналов) телемеханики и телеграфных модемов введено трехзначное обозначение, первая цифра которого 1, 2 или 4 обозначает модем 50, 100, 200 Бод, а последние две цифры - номер модема. В табл. 5 приведены значения характеристических частот модемов телемеханики в зависимости от номера модема (канала) в соответствии с рекомендацией МККТТ.

Все каналы указанные в табл.5, могут быть использованы при организации информационной многоканальной системы по выделенному для этой цели каналу ТФ с полосой рабочих частот 0,3-3,4 кГц.

Рамками в таблице выделены каналы, которые могут быть образованы по групповому каналу телемеханики с рабочей полосой частот 2,1-3,4 кГц.

При отсутствии на входе МП первичного сигнала частота тонального сигнала на выходе модема равна F_A (высшей характеристической частоте данного модема).

Таблица 5 - Значения характеристических частот модемов телемеханики в зависимости от номера модема (канала)

№ модема (канала)	$F_0, Гц$	$F_Z, Гц$	$F_A, Гц$
А) 50 бод			
101	420	390	450
102	540	510	570
103	660	630	690
104	780	750	810
105	900	870	930
106	1020	990	1050
108	1260	1230	1290
109	1380	1350	1410
110	1500	1470	1530
111	1620	1590	1650
112	1740	1710	1770
113	1860	1830	1890
114	1980	1950	2010
115	2100	2070	2130
116	2220	2070	2130
117	2340	2310	2370
118	2460	2430	2490
119	2580	2550	2610
120	2700	2670	2730
121	2820	2790	2850
122	2940	2910	2970
123	3060	3030	3090
124	3180	3150	3210
125	3300	3270	3330
Б) 100 Бод			
201	430	420	540
202	720	660	780
203	960	900	1020
204	1200	1140	1260
205	1440	1380	1500
206	1620	1620	1740
207	1920	1860	1980
208	2160	2100	2220
209	2400	2340	2460
210	2640	2580	2700

№ модема (канала)	$F_0, Гц$	$F_Z, Гц$	$F_A, Гц$
211	2880	2820	2940
212	3120	3060	3180
в) 200 Бод			
401	600	480	720
402	1080	960	1200
403	1560	1440	1680
404	2040	1920	2160
405	2520	2400	2640
406	3000	2880	3121

При воздействии на вход МП первичного сигнала значение частоты тонального сигнала будет меняться в зависимости от знака первичного сигнала, принимая значения F_A и F_Z . Пусть на вход МП воздействует первичный сигнал (рис.14 а), представляющий последовательность двоичных посылок разного знака, но с одинаковой длительностью τ_0 . Частота такого первичного сигнала определяется значением $F_{\Pi} = 1/2\tau_0$. Частотно-модулированный сигнал на выходе МП при передаче данного первичного сигнала будет иметь частотные составляющие, показанные на рис. 14 б, а.

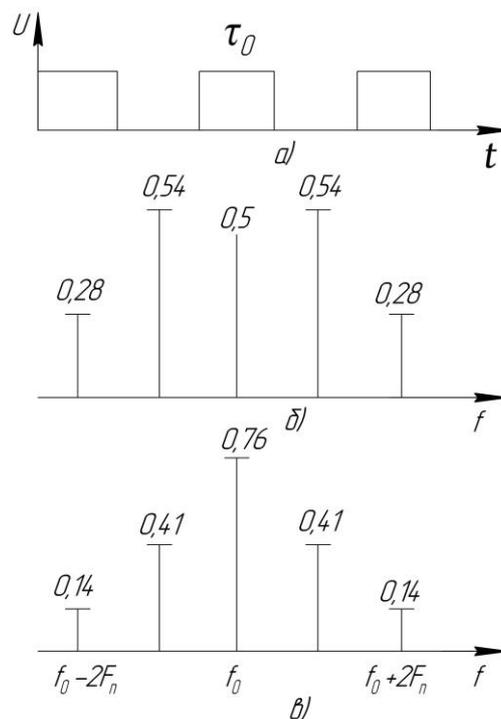


Рис. 14 а) б) в) Первичный сигнал

Значения частот этих составляющих определяются величинами:

$$F_0 = 0,5(F_A + F_Z);$$
$$F_0 \pm F_{II}; F_0 \pm 2F_{II}; F_0 \pm 3F_{II},$$

а амплитуды спектральных составляющих определяются индексом модуляции:

$$M_{чМ} = \frac{\Delta F_D}{F_{II}} = \frac{\Delta F_C}{2F_{II}}.$$

Индексом модуляции называется отношение частотного сдвига ЧМ сигнала ΔF_C к удвоенному значению первичного (модулирующего) сигнала. Спектр частот на рис. 14б соответствует $M_{чМ} = 0,8$, а на рис. 14 в - $M_{чМ} = 1,2$. Частотно-модулированный сигнал с выхода МП, пройдя КС, поступает на полосовой фильтр приема ФПр модема приема МПР. С выхода ФПр через усилитель У и ограничитель максимальных амплитуд ОМА поступают на вход частотного детектора ЧД. Частотный детектор обеспечивает преобразование ЧМ сигнала в первичный сигнал, т. е. двоичные сигналы постоянного тока, аналогичные тем сигналам, которые воздействуют на вход МП рассматриваемого КТМ. Преобразование ЧМ сигнала в первичный сигнал осуществляется в два этапа: сначала ЧМ сигнал с помощью частотного дискриминатора превращается в АМ сигнал, а затем этот сигнал с помощью амплитудного детектора превращается в двоичный сигнал постоянного тока. Качественное преобразование ЧМ сигнала в данной схеме частотного детектора возможно только при условии постоянства уровня ЧМ сигнала на входе частотного дискриминатора ЧД. Это условие обеспечивается применением ОМА, который исключает воздействие на амплитуду входного сигнала ЧД изменения остаточного затухания канала связи и паразитной амплитудной модуляции ЧМ сигнала, возникающей в процессе передачи этого сигнала по КТМ. Принцип работы ограничителя ясен из рис., где показан ЧМ сигнал на входе ограничителя (рис.15 а), зависимость $U_{ВЫХ} = \varphi(U_{ВХ})$ ограничителя (рис. 15б) и ЧМ сигнала на выходе ограничителя максимальных амплитуд (рис. 15в).

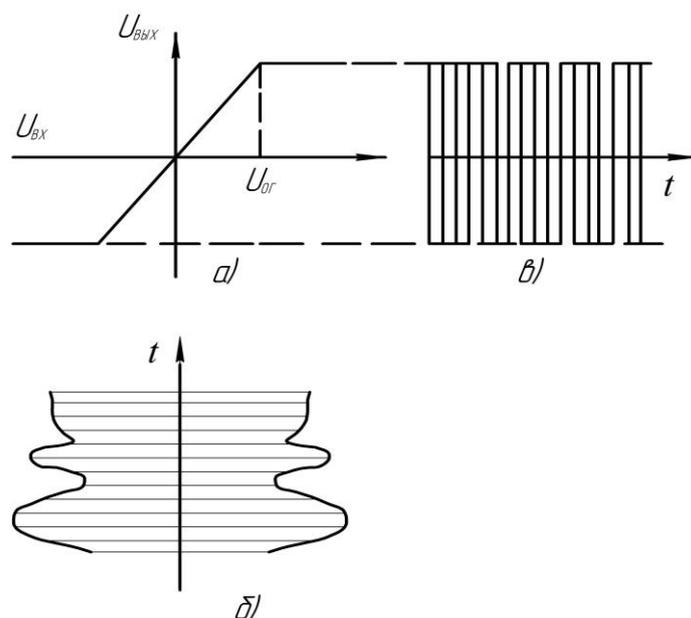


Рис. 15 ЧМ сигнал

Здесь $U_{\text{ог}}$ - порог ограничения.

Выходное устройство ВУ модема приема обеспечивает корректировку формы первичного приема сигнала и заданное значение амплитуды напряжения этого сигнала на выходе МПР. С выхода МПР сигнал поступает на вход приемного устройства телемеханики, подключенного к данному КТМ. Процесс работы частотного детектора рассмотрим применительно к схеме наиболее широко распространенного в отечественной практике модема, представленной на рис. 16 а. В данной схеме частотным дискриминатором являются два последовательно соединенных резонансных контура $L_1 - C_1$ и $L_2 - C_2$, один из которых настроен на частоту $f_1 = 0,95F_Z$, а другой - на частоту $f_1 = 1,05F_A$. Частотная зависимость напряжения тональной частоты на зажимах вторичных обмоток этих контуров приведена на рис. б. В схему АД входят диоды VD1 - VD4, конденсаторы C_3 и C_4 и резисторы R_1 и R_2 . При воздействии на вход частотного детектора сигнала тональной частоты на его выходе (зажимах а - б) появляется напряжение постоянного тока, амплитуда и полярность которого связаны с частотой входного сигнала зависимостью, описываемой кривой на

рис. в, причем напряжение на выходе детектора будет равно нулю при частоте входного сигнала, равной: $F_0 = 0,5(F_A + F_Z)$.

Если на вход частотного детектора действует ЧМ сигнал, соответствующий кривой рис.16 г, то на выходе его первичный сигнал будет соответствовать рис. 16 д.

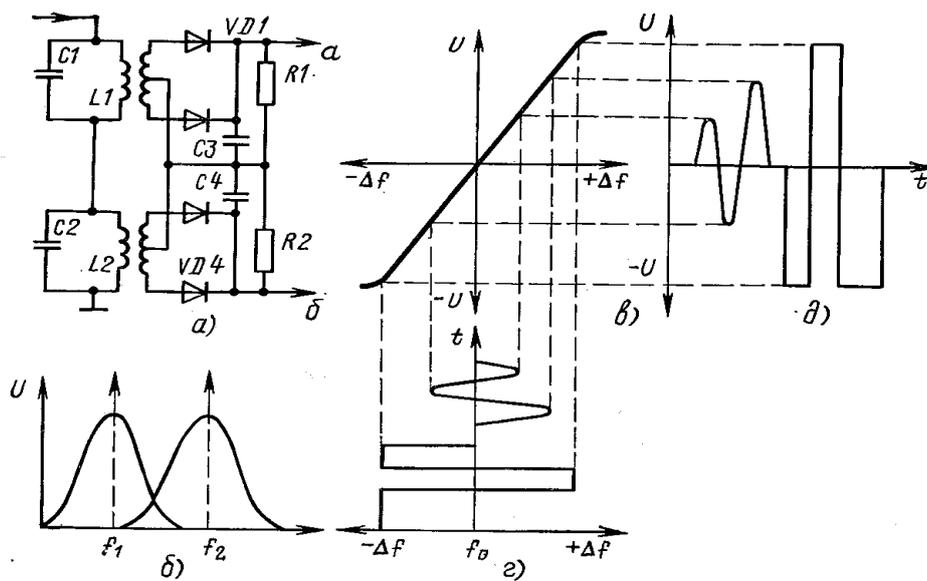


Рис.16 Частотная зависимость напряжения тональной частоты на зажимах вторичных обмоток

Преимуществами модемов с частотной модуляцией являются малая чувствительность к плавным изменениям остаточного затухания канала связи и повышенная помехозащищенность по сравнению с модемами АМ. На качество работы КТМ - ЧМ сказывается частотная погрешность в КС.

Каналы телемеханики с ФМ являются перспективными, дискретными каналами связи, и работы по использованию этих каналов в энергетике уже начаты.

При фазовой манипуляции фаза колебания несущей частоты изменяется дискретно, принимая одно из двух значений в соответствии с значением амплитуды двоичного сигнала на входе модема передачи, т. е. фаза фазомодулированного сигнала является функцией вида:

$$\theta = f(A_C),$$

где A_C - параметр первичного сигнала

На рис.17 показаны спектры частот фазоманипулированного колебания при разных значениях фазовой девиации и при дискретном модулирующем сигнале, представляющем последовательность «точек» при длительности элементарного сигнала T_0

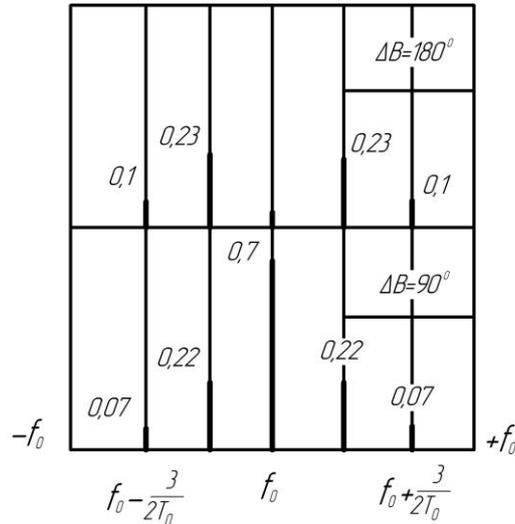


Рис.17 Спектры частот фазоманипулированного колебания при разных значениях фазовой девиации и при дискретном модулирующем сигнале

В практике встречаются два вида фазовой модуляции: обычная (ФМ) и относительная (ОФМ). На рис. 18 показаны осциллограммы сигналов на входе фазового модулятора, на выходе фазового модулятора обычной и при относительной фазовой модуляции.

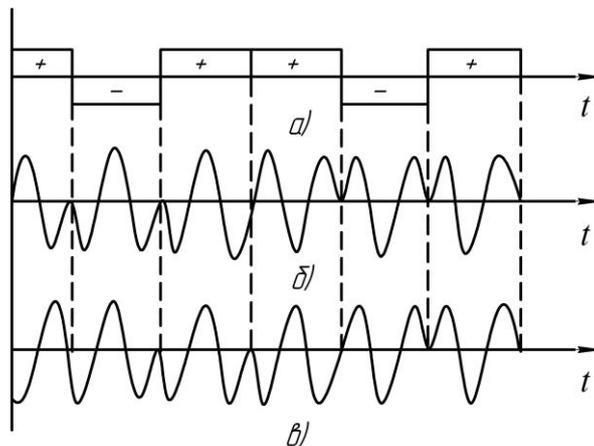


Рис. 18 Осциллограммы сигналов

Модем передачи, содержащий генератор несущей частоты ГН, фазовый модулятор ФМ, усилитель У, фильтр передачи ФП и входную цепь модулирующего сигнала ВЦ, показан на рис. Фазовый модулятор, состоящий из двух трансформаторов T_1 и T_2 и четырех диодов 1 - 4, обеспечивает получение фазовой манипуляции несущего колебания, поступающего от ГН через T_1 . В зависимости от полярности двоичного модулирующего сигнала, поданного на вход модема (вход ВЦ), открываются диоды 1 и 2 либо диоды 3 и 4. Переключение диода изменяет направление прохождения тока, несущего колебания через первичную обмотку T_2 , а следовательно, изменяет фазы несущего колебания на выходе модема на угол 180° .

Модем передачи системы ОФМ отличается от рассмотренного наличием кодирующего устройства, которое обеспечивает изменение фазы несущего колебания на 180° только при наличии на входе модема первичного сигнала определенной полярности, например положительной. Кодирующее устройство предусматривает наличие тактовых импульсов, частота следования которых синхронизирована со скоростью передачи двоичных первичных сигналов.

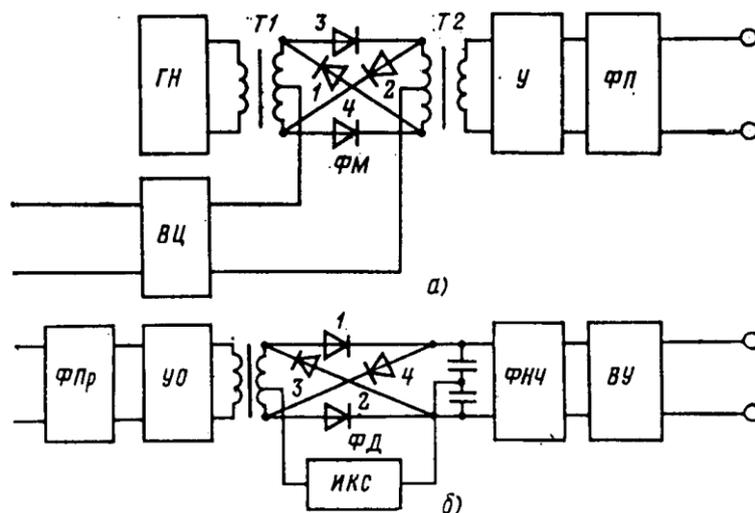


Рис.19 а) б) Модем передачи системы ОФМ

Прием фазомодулированных колебаний осуществляется с помощью фазовых детекторов ФД, которые превращают изменение фазы приемного сигнала в изменение полярности первичного сигнала на своем выходе. Для

работы ФД необходимо иметь так называемое опорное напряжение несущей частоты, синхронное и синфазное напряжение немодулированного несущего колебания модема передачи.

На рис. 19 б приведена функциональная схема модема приема колебания с ФМ при наличии источника опорного сигнала ИКС. В этой схеме ФПр - фильтр приема, УО - усилитель-ограничитель, обеспечивающий усиление приемного сигнала и ограничение его амплитуды таким образом, чтобы изменение приемного уровня и воздействие помех не вызывали амплитудной модуляции сигнала на входе фазового детектора ФД. На выходе ФД установлены фильтр нижних частот ФНЧ и выходное устройство ВУ.

Принцип работы модема приема иллюстрируется осциллограммами на рис. 20

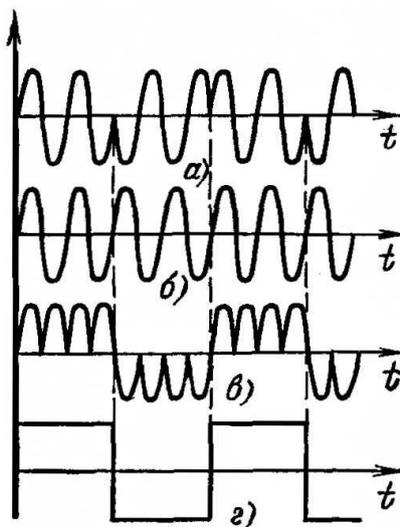


Рис.20 а) б) в) г) **Осциллограмма**

Напряжение опорного сигнала, воздействуя на диоды ФД, в зависимости от полярности полупериода открывает диоды 1 и 2 либо диоды 3 и 4, меняя тем самым направление прохождения тока фазомодулированного колебания через входное сопротивление фильтра низких частот. Как видно из кривых на рис. 20 а - в, если фаза опорного напряжения совпадает с фазой принимаемого сигнала (рис. 20 а), то на входе ФНЧ мы имеем положительные импульсы тока, если фаза приемного сигнала не совпадает с фазой опорного сигнала, то импульсы

тока (рис. 20 в) на входе ФНЧ меняют свою полярность. После ФНЧ и выходного устройства ВУ мы имеем первичные двухполярные сигналы (рис. 20 г).

Способ получения опорного сигнала из фазомодулированного колебания показан на рис. 21 а.

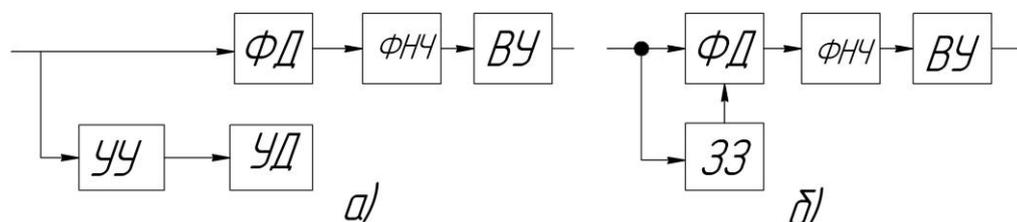


Рис. 21 а) б) **Способ получения опорного сигнала из фазомодулированного колебания**

Фазомодулированные колебания из тракта приема подаются на узел удвоения частоты УУ, на выходе которого появляется колебание с частотой, равной удвоенной частоте несущего колебания; фаза этого колебания остается неизменной при изменении фазы приемного сигнала. Напряжение сигнала удвоенной частоты воздействует на узел деления частоты УД, который вырабатывает сигнал, по частоте равный сигналу несущего колебания. Этот сигнал в качестве опорного сигнала подается на фазовый детектор ФД, где путем сравнения фаз приемного сигнала и опорного сигнала осуществляется демодуляция.

Рассмотренный способ приема весьма прост, но он имеет существенный недостаток, заключающийся в том, что могут наблюдаться произвольная смена фазы, колебания на выходе УУ при кратковременных перерывах связи или сильном воздействии помех. Это изменение фазы вызовет смену знака первичного сигнала на выходе модема приема, т. е. полное искажение принимаемой информации. Такое явление называется «обратной» (негативной) работой. Исключить явление «обратной» работы позволяют системы ОФМ, получившие широкое практическое применение. Следует отметить два способа

приема фазо-модулированного колебания ФМ: способ сравнения фаз и способ сравнения полярностей (на последнем основана работа ОФМ).

Функциональная схема устройства приема, выполненного по принципу сравнения фаз, представлена на рис.21 б. Напряжение фазомодулированного сигнала из тракта приема модема через элемент временной задержки ЭЗ, имеющий время задержки, равное длительности элементарной посылки, подается в качестве опорного сигнала на ФД. Осциллограммы, иллюстрирующие принцип работы модема приема, основанный на сравнении фаз, приведены на рис.22. Первичный сигнал (рис.22 а), воздействуя на вход модема передачи, обеспечивает появление фазо-модулированного сигнала (рис.22 б), который затем воспринимается модемом приема и поступает на первый вход ФД. На второй вход ФД в качестве опорного сигнала, подается тот же самый фазомодулированный сигнал, но сдвинутый по времени относительно первого сигнала на длительность элементарной посылки то (рис. 22в). В результате сравнения фаз сигналов (рис. 22 б и в) ФД вырабатывает сигнал, показанный на рис. г. После прохождения этого сигнала через ФНЧ и ВУ модема приема (см. рис. 22б) на выходе модема первичный сигнал будет аналогичен первичному сигналу, показанному на рис. 22 а.

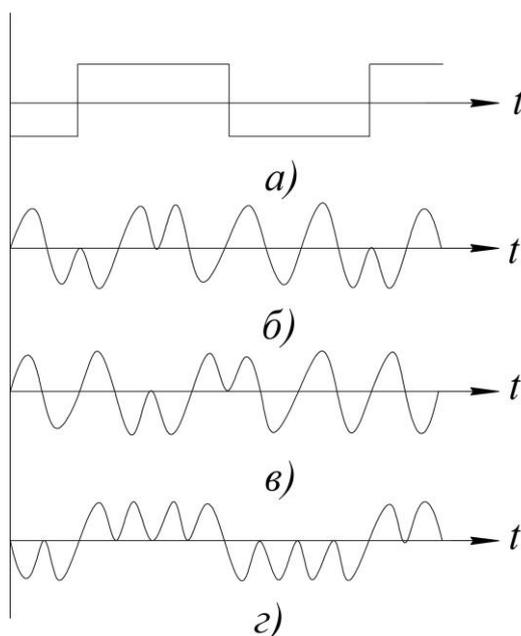


Рис. 22 Осциллограммы, иллюстрирующие принцип работы модема приема

5. Помехи

Основной причиной появления случайных искажений являются помехи. В общем случае понятие помехи определяет любое явление, вызывающее искажение параметра сигнала, несущего информацию. Помехи делятся на две группы: неаддитивные и аддитивные. Появление неаддитивных (т. е. «не суммирующихся» с сигналом) помех вызывается несоответствием основных параметров каналов связи определенным нормам, вследствие чего наблюдаются нелинейные искажения сигналов, передаваемых по каналу. Примеры таких помех были рассмотрены выше.

Аддитивными (т. е. «суммирующимися») помехами называются факторы, воздействующие на качество передачи сигнала по каналу связи извне. Аддитивные помехи проявляются в виде постороннего напряжения, проникающего в канал с соседних каналов или от других источников энергии и складывающегося с напряжением передаваемого сигнала. В общем случае аддитивные помехи содержат три типа помех: флуктуационную, гармоническую и импульсную. В частном случае может иметь место аддитивная помеха, представленная одним или двумя типами указанных помех. На рис. 23 а приведены осциллограммы аддитивных помех. Флуктуационные помехи (рис. 23 б) отличаются нерегулярностью амплитуд и длительностей и являются результатом наложения большого количества элементарных импульсов электрического тока, возникающих случайно.

Импульсные помехи (рис. 23в) представляют собой однополярные или двухполярные импульсы тока значительной амплитуды и характеризуются тем, что длительность этих импульсов во много раз меньше длительности интервала времени между двумя соседними импульсами.

Гармоническая помеха (рис. 23г) проявляется в виде одночастотного синусоидального или модулированного синусоидального сигнала. В системах передачи информации по линиям электропередачи основным источником аддитивных помех являются ЛВТ, а точнее сама ВЛ и силовое оборудование подстанций, входящих в схему ЛВТ.

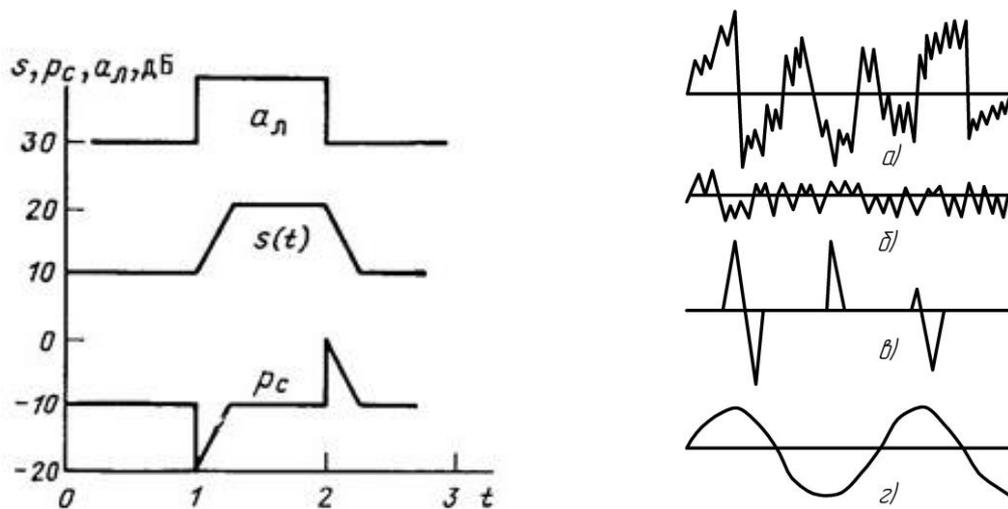


Рис. 23 Осциллограммы а) аддитивных помех б) флуктуационных помех в) импульсных помех г) гармонических помех

Причинами возникновения аддитивных помех являются коронирование линейных проводов ВЛ, частичные разряды по поверхности изоляции ВЛ и силового оборудования, коммутация силового оборудования, дуга короткого междуфазного замыкания ВЛ или замыкания фазы на землю, атмосферные разряды, посторонние ВЧ передатчики.

Все перечисленные источники помех, за исключением посторонних ВЧ передатчиков, создают помехи в виде кратковременных импульсов тока различной длительности и различных амплитуд, воздействующих на вход приемного фильтра аппаратуры системы передачи информации. Степень воздействия помех на качество передачи сигналов определяется параметрами помех не на входе приемника, а на выходе фильтра приема аппаратуры, т. е. параметрами аддитивных помех в канале связи. Импульс постоянного тока прямоугольной формы с амплитудой A_0 и длительностью τ (рис. 24 а) представляет собой совокупность бесконечного множества частотных составляющих с различными амплитудами.

Спектральная плотность такого импульса, т.е. зависимость амплитуды составляющих от частоты определяется функцией:

$$G(\omega) = 2A_0 \frac{\sin \omega \frac{\tau}{2}}{\omega}.$$

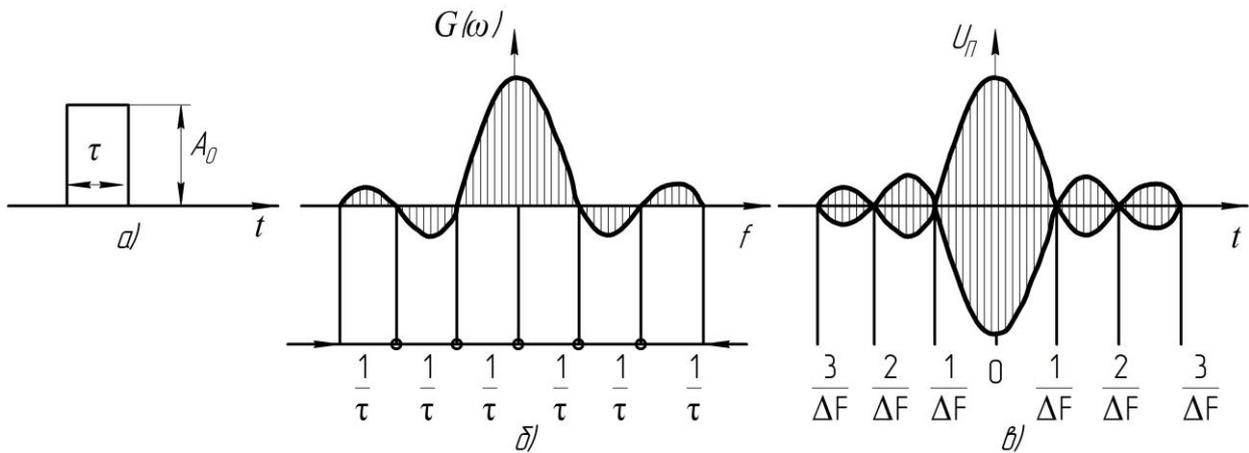


Рис. 24 а) Импульс постоянного тока прямоугольной формы с амплитудой A_0 и длительностью τ б), в) Графическое изображение функции

Графическое изображение этой функции приведено на рис. 24 б. При воздействии рассматриваемой импульсной помехи на вход полосового фильтра аппаратуры, имеющего среднюю частоту полосы пропускания ω_0 и полосу частот пропускания $\Delta\Omega = 2\pi\Delta F$, на выходе фильтра появится импульсная помеха описываемая формулой:

$$u_{\Pi} = 2\Delta F A_0 \frac{\sin \frac{\Delta\Omega}{2} t}{\Delta\Omega \frac{t}{2}} \cos \omega_0 t.$$

Эта помеха имеет форму, показанную на рис. в. Здесь A_0 - площадь импульса помехи на входе фильтра аппаратуры связи.

Таким образом, при воздействии импульсной помехи на вход полосового фильтра на его выходе получим импульс переменного тока, частота которого равна средней частоте полосы пропускания фильтра. Максимальная амплитуда этого импульса пропорциональна ширине полосы пропускания фильтра, а изменение огибающей импульса во времени происходит с частотой, численно равной половине ширины полосы частот пропускания фильтра. Если через τ_0

обозначить длительность импульса на выходе фильтра, т.е. интервал времени, соответствующий основной мощности импульса, то, как видно из рис.24 в,

$$\tau_0 \approx \frac{1}{2\Delta F} = \frac{1}{\Delta\Phi},$$

где $\Delta\Phi$ - полоса частот пропускания фильтра.

При воздействии на вход фильтра серии импульсных помех, элементы которой следуют друг за другом с интервалом времени $t_{\text{п}} > \tau_0$, на выходе фильтра получим также серию импульсов. Если импульсы помехи на входе фильтра с интервалом времени $t_{\text{п}} < \tau_0$, то на выходе фильтра получим помеху, по своей форме аналогичную флуктуационной. Следует подчеркнуть, что при одной и той же последовательности импульсных помех на входе фильтра на его выходе можем получить флуктуационные помехи, если фильтр имеет малую полосу частот пропускания. Поскольку в системах передачи информации в энергосистемах полосы рабочих частот каналов лежат в пределах от 120 до 3000 Гц, импульсные помехи аппаратуры с интервалами следования, меньшими 0,3 мс, будут проявляться на выходе любого канала в виде флуктуационных помех. Это относится к помехам от коронирования ВЛ и частичных разрядов с интервалами следования порядка $(1 - 3) \cdot 10^{-2}$ мс. Помехи, обусловленные короткими замыканиями ВЛ, коммутацией силового оборудования и атмосферными разрядами на выходе фильтров каналов, имеют вид импульсов. Источником аддитивных помех является не только линейный высоковольтный тракт (ЛВТ). Флуктуационные помехи могут быть вызваны усилительными электронными лампами и транзисторами, импульсные помехи - колебаниями напряжения питающего источника или переключениями цепей питания, гармонические помехи - явлением самовозбуждения усилительных узлов, влияющим действием соседних каналов и т. д.

Гармоническая помеха в канале связи характеризуется частотой и амплитудой напряжения или уровнем на выходе канала; флуктуационная помеха оценивается среднеквадратичным значением напряжения. При этом максимальные пики флуктуационной помехи не превышают указанное

напряжение более чем в 3 раза с вероятностью 0,99. Уровень флуктуационных помех (так же как уровень гармонической помехи) может быть измерен указателем уровня с квадратичным детектором. Флуктуационные помехи, как правило, нормируются значением уровня в полосе частот 1 кГц.

Одиночная импульсная помеха характеризуется максимальным значением напряжения и длительностью (формой). Амплитуда и форма импульсной помехи обычно определяются по осциллографу на выходе канала связи. Как было показано, форма импульсной помехи на выходе узкополосного фильтра ($\Delta F \ll f_{CP}$) соответствует форме помехи на рис. 24 б.

Исследования показали, что форма импульсной помехи на выходе широкого канала отличается от показанной на этом рисунке и определяется двумя частотными составляющими, соответствующими граничным частотам полосы пропускания фильтра, и коэффициентом наклона фазочастотной характеристики фильтра.

Фаза импульсной помехи на выходе телефонного канала показана на рис.25

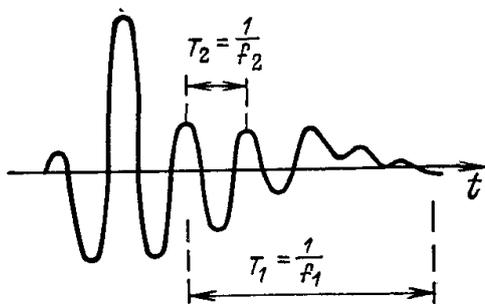


Рис. 25 Фаза импульсной помехи на выходе телефонного канала

Такая форма характерна для телефонных каналов многоканальных систем уплотнения, у которых приемный групповой фильтр имеет достаточно широкую полосу пропускания. Эта форма импульсной помехи сохраняется практически неизменной при длительности возбуждающего импульса $0 < t < 0,1$ вне зависимости от места его появления (с ЛВТ или в трактах приема-передачи аппаратуры уплотнения). Из рис.25 видно, что импульсная помеха на выходе

фильтра является нестационарным процессом затухающих колебаний напряжения с нижней и верхней частотами полосы пропускания фильтра.

Время появления в канале и амплитуда помех непрерывно меняются. Поэтому исследование отдельной импульсной помехи не дает никакого представления о воздействии импульсных помех на качество передачи информации по данному каналу. Импульсные помехи рассматривают как случайный процесс, оценить который можно с позиций теории вероятности.

Краевые искажения, обусловленные воздействием флуктуационных помех, подчиняются нормальному закону распределения, поэтому целесообразно их учитывать значением среднеквадратичных искажений, которые определяются:

для ТМ – АМ

$$\delta_{с.к} = \frac{141B}{\Delta F} e^{-0,115\Delta p};$$

для ТМ - ЧМ

$$\delta_{с.к} = \frac{50B}{\Delta F} e^{-0,115\Delta p};$$

для ТМ – ФМ

$$\delta_{с.к} = \frac{70B}{\Delta F} e^{-0,115\Delta p};$$

где $\delta_{с.к}$ выражается в процентах, а значение Δp соответствует разности эффективных уровней сигнала и помехи на выходе фильтра модема приема. Если для данного канала ТМ установлена норма искажений от флуктуационных помех δ_1 , то вероятность того, что краевые искажения в канале превышают эту норму, определяется по данным, приведенным ниже:

$\delta_1 / \delta_{с.к.}$...	1	2	3	4	5	6
$p(\delta_1 < \delta_{с.к.})$...	0,32	$4,5 \cdot 10^{-2}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$6,3 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-9}$

Искажения от импульсных помех в каналах ТМ - АМ определяются по формуле:

$$\delta = 400B \frac{A_0}{U_c} \% = 200 \frac{B}{\Delta F} \cdot \frac{U_{П\max}}{U_c},$$

где U_C - напряжение полезного сигнала на выходе полосового фильтра модема приема.

Значение A_0 связано со значением максимальной амплитуды импульсной помехи $U_{П\max}$ на выходе фильтра выражением

$$A_0 = \frac{U_{П\max}}{2\Delta F}.$$

Для каналов ТМ - ФМ величина искажений, %, определяется по формуле

$$\delta = 100 \frac{B}{\Delta F} \cdot \frac{U_{П\max}}{U_C},$$

а для ТМ - ЧМ - по формуле

$$\delta = 44 \frac{B}{\Delta F} \varphi(p) \cdot \frac{U_{П\max}}{U_C},$$

где функция $\varphi(P)$ учитывает девиацию частоты полезного сигнала в канале ЧМ (Δf_d) и полосу частот пропускания этого канала

$$p = \frac{\Delta F}{2\Delta f_d}.$$

На рис. 26 приведена зависимость $\varphi(P)$ от значения P .

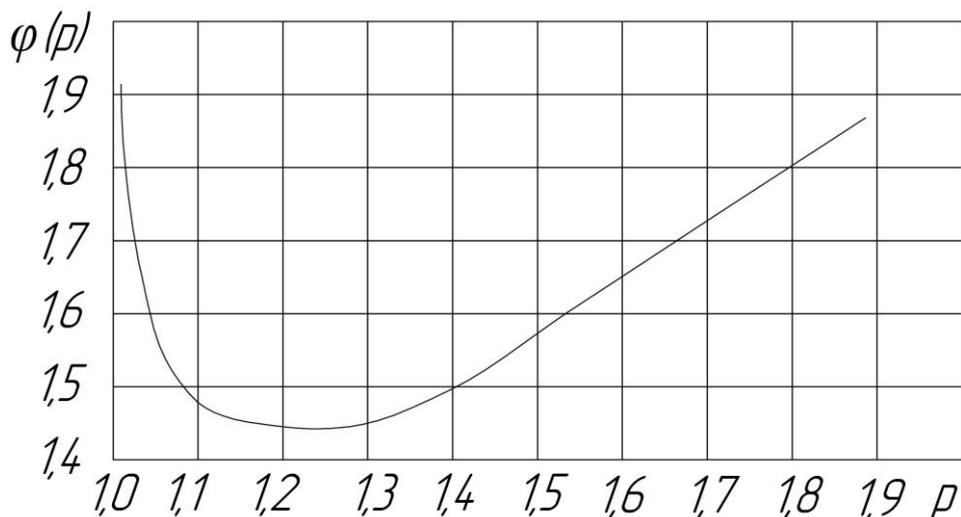


Рис. 26 Зависимость $\varphi(P)$ от значения P

В реальных условиях значение выбирается равным 1,4, и при этом

$$\delta = 66 \frac{B}{\Delta F} \cdot \frac{U_{П\max}}{U_C}.$$

Частотный двухконтурный детектор модема приема ослабляет действие импульсных помех, поэтому искажения в каналах ТМ - ЧМ учитывают по формуле

$$\delta = 50 \frac{B}{\Delta F} \cdot \frac{U_{\text{Пmax}}}{U_C}.$$

На рис.27 показана степень воздействия гармонической помехи на различные каналы телемеханики.

Частотная зависимость степени воздействия гармонической помехи на ТМ - АМ определяется частотной характеристикой приемного полосового фильтра модема, а на ТМ - ЧМ и ТМ - ФМ - кроме того, и частотной характеристикой соответственно частотного и фазового детектора.

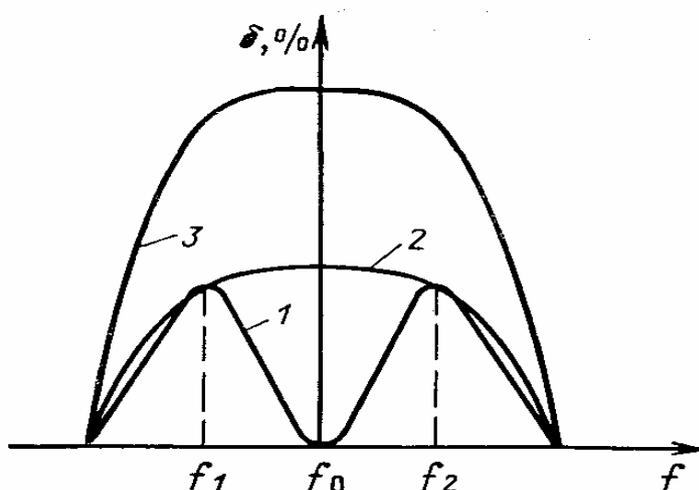


Рис. 27 Степень воздействия гармонической помехи на различные каналы телемеханики

Для канала ТМ - АМ краевые искажения в полосе пропускания фильтра определяются выражением

$$\delta = 200 \frac{B}{\Delta F} e^{-0,115\Delta p},$$

где ΔF - разность уровней сигнала и помехи на выходе фильтра приема.

Наибольшие искажения в каналах ТМ - ЧМ возникают при гармонической помехе, по частоте равной частоте настройки частотного дискриминатора модема приема, при этом

$$\delta = 100 \frac{B}{\Delta F} e^{-0,115\Delta p}.$$

5.1. Исправляющая способность приемников дискретных сигналов

Качество любого приемника информации характеризуется величиной его исправляющей способности, т. е. максимальным искажением параметра сигнала на входе приемника, при котором возможен прием информации без ошибок. Поскольку передатчик информации может вносить некоторые искажения в параметр сигнала, под исправляющей способностью системы, составленной из передатчика и приемника информации, включенных через искусственную линию, понимают максимальное значение добавочных искажений параметра сигнала, которое можно ввести без нарушения достоверности передачи информации.

Различают три вида исправляющей способности: теоретическую, эффективную и номинальную. Теоретическая исправляющая способность приемника дискретных сигналов рассчитывается по конструктивным данным устройства при условии наличия идеального фазирования по посылкам. Эффективная исправляющая способность измеряется для конкретного устройства в заданных условиях эксплуатации. Номинальная исправляющая способность определяется как минимальное значение эффективной исправляющей способности по измерению многих образцов аппаратуры в реальных условиях работы.

Исправляющая способность приемника информации определяется принятыми конструктивными решениями способа регистрации посылок. Наибольшее распространение получили два способа регистрации посылок: стробирование и интегрирование. Регистрация посылок способом стробирования базируется на следующих положениях: поскольку начало и конец дискретной посылки претерпевают воздействие нестационарных процессов, то данные участки посылки наиболее подвержены искажениям, называемым краевыми. Наиболее устойчивой является средняя часть дискретной посылки, соответствующая режиму установившегося номинального значения ее параметра (амплитуды, частоты или фазы). Способ стробирования

предусматривает использование для работы приемного устройства именно этой части дискретной посылки.

На рис. 28 а приведена функциональная схема приемного устройства, входной узел которого выполнен в виде механического распределителя. Этот распределитель состоит из сплошного контактного кольца 1, к которому подключена линия 2, кольца 3, содержащего укороченные контакты, и щетки 4, которая, вращаясь, скользит по кольцам и осуществляет электрическое соединение укороченных контактов кольца 3 с кольцом 1. Все укороченные контакты соединены между собой и выведены на вход триггера 5, с выхода которого 6 принятые посылки поступают на последующие узлы приемного устройства. Если между импульсами, поступающими из линии, и приемным распределителем установлены синфазность и синхронность, то данному устройству соответствует временная диаграмма, приведенная на рис. 28 б. На вход распределителя (кольцо 1) поступают посылки некоторой комбинации 7.

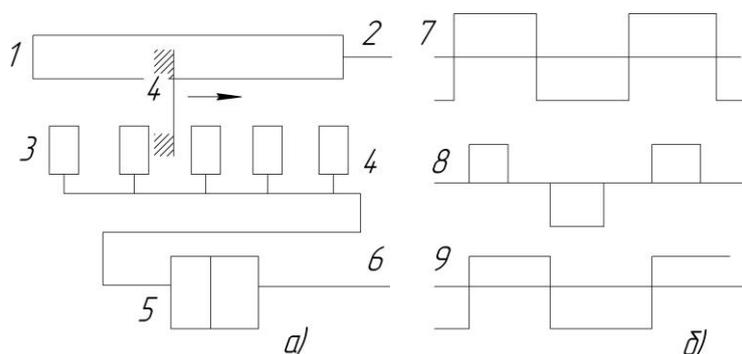


Рис. 28 а) Функциональная схема приемного устройства

б) Временная диаграмма

В моменты приема средней части каждой посылки осуществляется стробирование, которое в данном случае представляет собой соединение укороченного контакта щеткой 4 с кольцом 1. Время существования этой цепи (скольжения щетки по укороченному контакту) соответствует длительности стробирования а.

На временной диаграмме моменты стробирования показаны графиком 8 в виде импульсов тока, поступающих на вход триггера 5. Под воздействием

кратковременных импульсов стробирования 8 триггер 5 срабатывает, и с выхода его на узлы приемного устройства поступают посылки 9.

При ориентации момента стробирования (укороченного контакта) относительно середины принимаемой посылки (рис.29 а) искажения начала и конца посылки, по длительности равные или меньшие, чем

$$Q_1 = \frac{T_0 - a}{2},$$

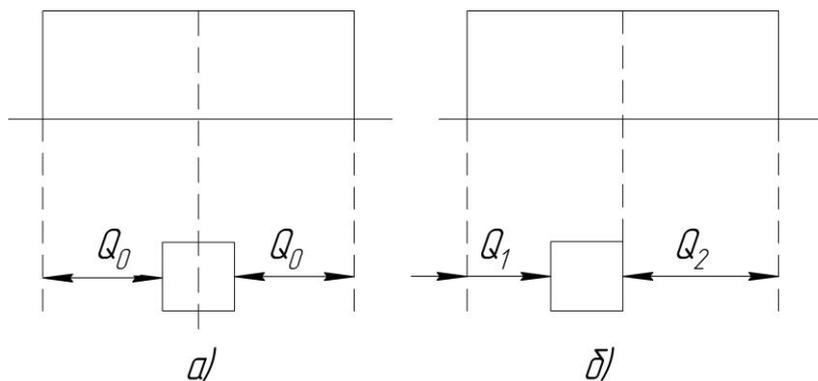


Рис. 29 Принимаемые посылки

не окажут воздействия на качество посылок, поступающих с выхода триггера 5, т. е. искаженные в указанных пределах линейные посылки будут исправлены. Если момент стробирования будет смещен относительно середины посылки (рис. 29 б), то допустимое значение искажений линейной посылки, которая будет исправлена приемным устройством, окажется меньше, чем в предыдущем случае, и определится формулой

$$Q_2 = \frac{T_0 - a}{2} - \Delta_{CM} = Q_1 - \Delta_{CM},$$

где Δ_{CM} - смещение момента стробирования относительно середины посылки, мс.

Следует отметить, что чем меньше время стробирования и точнее ориентирован момент стробирования относительно середины посылки, тем больше значение исправляющей способности устройства.

Прием посылок способом интегрирования ясен из рис.30

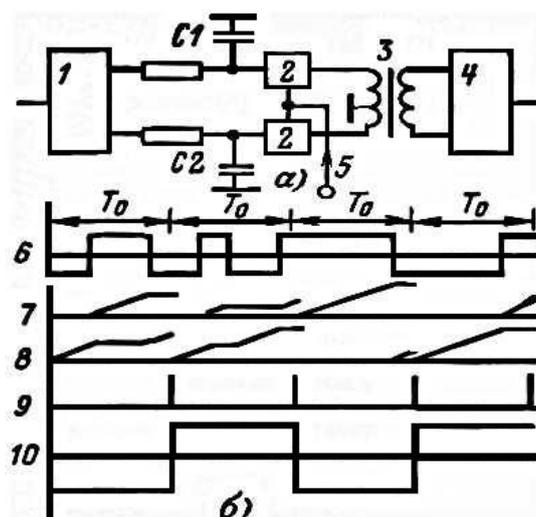


Рис. 30 а) б) Прием посылок способом интегрирования и диаграммы

Узел приемного устройства состоит из распознавателя знака посылки 1, двух накопительных элементов - конденсаторов $C1$ и $C2$, двух логических элементов И (2), сумматора 3, выполненного в виде трансформатора, и выходного триггера 4. В заданные моменты времени из схемы приемного устройства на вторые входы элементов И подается кратковременный регистрирующий импульс с зажима 5.

Пусть на вход распознавателя знака посылки поступает серия посылок, приведенная на графике 6 (рис.30). При поступлении посылки по знаку соответствующей 1 с выхода распознавателя подается напряжение, заряжающее конденсатор $C1$. Емкость конденсатора выбрана такой, чтобы постоянная времени его заряда значительно превышала длительность элементарной посылки T_0 ; таким образом, заряд конденсатора $C1$ пропорционален длительности принимаемой посылки 1.

При приеме посылки другого знака (что соответствует 0) напряжение с выхода распознавателя подается на конденсатор $C2$, параметры цепи заряда которого аналогичны параметрам конденсатора $C1$.

На графике 7 показана временная диаграмма заряда конденсатора $C1$, на графике 8 - конденсатора $C2$. В момент поступления регистрирующего импульса (график 9) элементы И открываются и конденсаторы $C1$ и $C2$ разряжаются через обмотки суммирующего трансформатора 3. Под

воздействием разностного напряжения срабатывает триггер 4, выдавая сигнал 1, если заряд конденсатора $C1$ оказался больше заряда конденсатора $C2$, или посылку 0, если больший заряд имеет место на конденсаторе $C2$.

Временная диаграмма посылок на входе триггера приведена на графике 6. Вторая посылка графика 6 претерпела искажение дробления, проявившееся в том, что посылка знака 0 кратковременно изменила знак на 1, а затем вновь приобрела знак 0. В соответствии с принципом работы устройства за время приема этой посылки оба конденсатора получают заряд, однако, поскольку длительность состояния 0 оказалась больше длительности состояния 1, конденсатор $C1$ зарядится до потенциала, меньшего, чем потенциал конденсатора $C2$. При суммировании триггер 4 выдаст посылку 0, несмотря на наличие искажения дробления. Таким образом, посылка окажется исправленной. То же самое явление будет иметь место и при краевых искажениях посылки, если они не будут превышать определенной нормы. Для того чтобы производилось исправление искаженной посылки, величина $0,5 T$ должна превышать суммарную по времени величину этих искажений не менее чем на Δt_{cp} , что соответствует времени заряда конденсатора до потенциала, достаточного для работы триггера 4. На графике 10 показаны посылки на выходе триггера 4.

Существуют приемные устройства, исправляющая способность которых обусловлена комбинированным применением способа стробирования и интегрирования.

Следует отметить, что эффективность способа интегрирования, так же как способа стробирования, в значительной мере определяется качеством фазирования приемного устройства. Надежная работа системы передачи дискретной информации определяется требованием синфазной и синхронной работы передающего и приемного устройств. Синфазность приемника с передатчика поддерживается автоматически в течение всего процесса работы системы. Задачей фазирования является обеспечение синфазности приема не только по посылкам, но и по циклам передачи. В зависимости от выполнения

устройств фазирования различают синхронные, старт-стопные и старт-стопно-синхронные системы передачи посылок.

Сравнение эффективности применения того или другого способа приема посылок должно выполняться отдельно для случая дробления посылок.

В условиях краевых искажений способ стробирования обеспечивает без искажённый прием посылки до тех пор, пока смена знака посылки не совпадет с моментом стробирования. При очень малой длительности стробирования максимальное смещение границ посылки, допустимое при данном способе приема, определяется величиной $Q_{\text{строб}} = T_0/2$. При интегральном способе приема для оценки знака посылки необходима регистрация не менее чем половины длительности посылки. При этом максимальное смещение границ посылки, обусловленное краевыми искажениями, определится величиной $Q_{\text{инт}} = 0,25T_0$. Таким образом, при краевых искажениях наиболее эффективным способом приема посылок является способ стробирования. Устройство с применением способа стробирования обеспечивает прием посылок при вдвое больших краевых искажениях, чем это допустимо для аналогичного устройства, выполненного на основе способа интегрирования.

При наличии дроблений стробирование не обеспечивает правильной регистрации посылки в том случае, когда дробление совпадает с моментом стробирования. При использовании способа интегрирования качество приема посылки не зависит от расположения моментов дробления; здесь условием правильного приема является требование, чтобы сумма длительностей импульсов дробления (импульсов противоположного знака) была менее половины длительности элементарной посылки (времени интегрирования $T_{\text{и}} = T_0$). Таким образом, если в искажениях передачи преобладает явление дробления посылок, способ интегрирования оказывается значительно эффективнее, чем способ стробирования.

Теоретическая исправляющая способность синхронного приемника, выполненного на основе способа стробирования и имеющего длительность момента стробирования a , определяется формулой, %,

$$\mu = \frac{T_0 - a}{2T_0} 100$$

(по крайвым искажениям посылок).

Исправляющая способность по дроблениям определяется формулой, %,

$$\vartheta = \frac{a}{2T_0} 100.$$

Для синхронной системы, выполненной с регистрацией посылок по способу интегрирования, $\mu=25\%$, $\theta=50\%$.

Исправляющая способность старт-стопного приемника с регистрацией посылок по способу стробирования определяется формулой, %,

$$\mu = \frac{Q_{\text{доп}}}{T_0} 100,$$

где $Q_{\text{доп}}$ - допустимое смещение границ-посылок, %.

Следует подчеркнуть, что при старт-стопном приеме следует считаться с возможностью искажения начала стартового импульса или «смещением старт-стопного перехода».

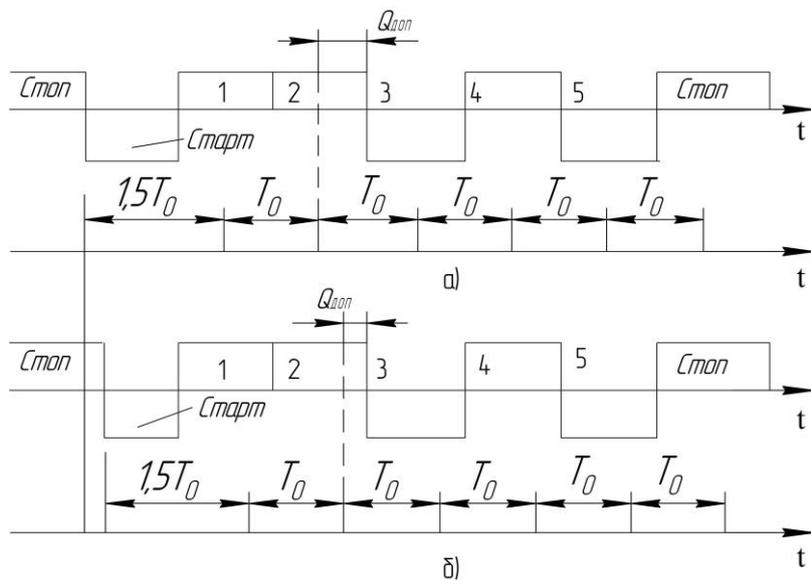


Рис. 31 а) Временная диаграмма неискаженных посылок старт-стопной комбинации б) Временная диаграмма для случая искажения начала стартовой посылки

На рис. 31 а приведены временная диаграмма неискаженных посылок старт-стопной комбинации и расположение укороченных контактов (моментов стробирования).

Эта диаграмма соответствует случаю идеального фазирования, и при этом

$$Q_{\text{доп}} = \frac{T_0 - a}{2} 100,$$

а следовательно

$$\mu_{\text{ст}} = \frac{T_0 - a}{2T_0} 100.$$

На рис. 31 б представлена временная диаграмма для случая искажения начала стартовой посылки (смещения старт-стопного перехода) на величину $Q_{\text{ст}}$. Это смещение вызвало смещение моментов стробирования всех посылок относительно середины этих посылок. Если проанализировать условия приема, например, четвертой посылки, то окажется, что допустимые искажения конца этой посылки составляют $Q_{\text{доп}}$. При превышении этого значения посылка будет зарегистрирована неправильно.

Таким образом

$$Q_{\text{доп}} = Q'_{\text{доп}} + Q_{\text{ст}},$$

где $Q'_{\text{доп}}$ - допустимое смещение границ информационных посылок при наличии смещения старт-стопного перехода.

В соответствии с рекомендациями МККТТ старт-стопным искажением называется величина, %,

$$\delta_{\text{ст}} = \frac{Q_{\text{max}}}{T_0} 100,$$

где Q_{max} - максимальная измеренная разность между поступившими и теоретическими интервалами, разделяющими любые границы посылок и старт-стопный переход.

Смещение старт-стопного перехода при этом условно полагается равным нулю, теоретически же интервалы определяются относительно этого нулевого

перехода. Таким образом, при одинаковой скорости передачи и равной длительности моментов стробирования синхронная система передачи обладает более высокой исправляющей способностью, чем старт-стопная. Современные электронные приемные устройства имеют исправляющую способность в пределах от 40 до 48%, однако в ряде случаев этого недостаточно для обеспечения заданной достоверности передачи; дальнейшее повышение достоверности достигается применением специальных способов передачи информации. Эффективным способом повышения достоверности является метод внесения избыточности в передаваемый сигнал. Любые методы внесения избыточности в сигнал связаны с увеличением объема сигнала (увеличением мощности спектра) либо времени передачи сигнала. При проверке такого сигнала на приемке имеется возможность по ряду дополнительных его качеств отличать правильно принятый сигнал от неправильного, а в ряде случаев даже восстанавливать неправильный сигнал. Вторым эффективным способом повышения достоверности является использование на приеме специальных устройств - детекторов качества сигнала. Этот способ будет рассмотрен ниже.

В практике выполнения современных устройств передачи дискретной информации широко используется метод повышения достоверности путем применения корректирующих кодов.

5.2. Повышение достоверности путем применения корректирующих кодов

Рассмотренный выше способ увеличения информационной емкости сигнала путем использования кодовых (простых) комбинаций не обеспечивает повышение достоверности передачи информации в условиях воздействия факторов, искажающих двоичную посылку. При использовании простых кодов одна информационная комбинация отличается от другой одним размером (например, 1100 и 1001), даже искажение всего одной посылки в такой кодовой комбинации вызывает потерю передаваемой информации и прием ошибочной (несуществующей) информации. Для обеспечения повышенной достоверности

передачи информации в условиях помех используются специальные корректирующие коды.

В корректирующих кодах комбинации, несущие информацию, отличаются друг от друга не менее чем двумя элементами. Все количество возможных комбинаций корректирующего кода подразделено на две группы - комбинации разрешенные, т.е. комбинации, несущие полезную информацию, и комбинации запрещенные. Наличие неправильного приема хотя бы одного элемента разрешенной комбинации превращает эту комбинацию в запрещенную комбинацию, которая воспринимается приемным устройством не как информация, а как сигнал о наличии ошибки. Таким образом, корректирующие коды обеспечивают обнаружение ошибок при передаче информации, а в ряде случаев и исправление этих ошибок. В соответствии с этим можно говорить о кодах с обнажением ошибок и об исправляющих кодах.

Корректирующие коды подразделяются на равномерные и неравномерные, двоичные и многопозиционные.

Неравномерные коды характеризуются разным количеством элементов в комбинации, а многопозиционные коды - использованием для передачи информации сигналов, параметр которых может принимать более двух дискретных значений. Использование неравномерных кодов и кодов многопозиционных, как правило, значительно усложняет устройства передачи и приема информации, поэтому эти виды корректирующих кодов не нашли широкого применения.

Двоичные равномерные корректирующие коды могут быть блочными и непрерывными. Блочные коды предусматривают передачу информации отдельными комбинациями - блоками, которые кодируются и декодируются независимо друг от друга. Непрерывные коды представляют собой непрерывную последовательность разрядов (посылок), и разделение этой последовательности на отдельные блоки не предусматривается. В свою очередь, блочные коды подразделяются на неразделимые и делимые блочные коды. В неразделимом блочном коде информационные разряды

появляются в одно время с проверочными разрядами, и разделить их нельзя. Примерами неразделимого блочного кода являются коды с постоянным весом, коды с проверкой на четность. Кодовая комбинация с постоянным весом всегда содержит определенное количество единиц. Так, при семизначном коде № 3, рекомендованном МККТТ для передачи телеграфной информации, в каждой комбинации имеется три единицы и четыре нуля. В приемном устройстве ошибка определяется подсчетом единиц и нулей в комбинации. Если одна из единиц превратится в нуль, то при подсчете окажутся две единицы и пять нулей, что явится сигналом ошибки. При превращении нулевой посылки в единицу будет зарегистрировано четыре единицы и три нуля, что также будет сигнализировать об ошибке. Данный код обнаруживает только ошибки, изменяющие соотношение 3/4.

В коде с проверкой на четность разрешенными кодовыми комбинациями являются комбинации, содержащие четное количество единиц. Проверка в приемном устройстве осуществляется подсчетом единиц в принятой комбинации. Если единиц окажется нечетное количество, то фиксируется ошибка. Данный код определяет наличие неправильного приема нечетного числа посылок (1, 3, 5), но не регистрирует наличие четного числа неправильно принятых посылок. Разделенными блочными кодами называются коды, в которых часть разрядов (например, n разрядов) отведена для передачи информации, а другая часть разрядов (например, k разрядов) предназначена для проверки качества приема и называется проверочными. Такие коды называются (nk) - кодами.

Среди делимых кодов различают систематические и несистематические коды. Прежде чем перейти к рассмотрению этих кодов, рассмотрим процесс сложения, умножения и деления двоичных кодовых комбинаций по модулю 2.

Сложение по модулю 2 основано на следующих положениях:

$$1 \oplus 1 = 0; 0 \oplus 0 = 0; 0 \oplus 1 = 1; 1 \oplus 0 = 1.$$

Таким образом, сложение двух двоичных комбинаций 10110 и 10101 выполняется следующим образом:

$$\begin{array}{r} \oplus 10110 \\ 10101 \\ \hline 00011, \end{array}$$

т. е. сложение выполняется по разрядам с учетом указанных правил.

Умножение двух комбинаций соответствует правилу арифметического умножения, но суммирование выполняется по модулю 2. Предположим, комбинацию 10111 надо умножить на 1001, получим

$$\begin{array}{r} \times 10111 \\ 1001 \\ \hline 10111 \\ 00000 \\ \oplus 00000 \\ 10111 \\ \hline 10101111 \end{array} .$$

Деление аналогично арифметическому делению, но вместо вычитания производится сложение по модулю 2. Предположим, что надо разделить 110101 на 101. Получим:

$$\begin{array}{r} \oplus 110101 \\ 101 \\ \hline \oplus 111 \\ 101 \\ \hline \oplus 100 \\ 101 \\ \hline 11 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 101 \\ \hline 1111 \oplus \frac{11}{101}, \end{array}$$

т. е. получим число 1110 и остаток 11/101. Непосредственно из правил сложения по модулю 2 вытекает правило: сумма по модулю 2 двух или нескольких комбинаций систематического кода является комбинацией этого же кода, т. е. зависимость между информационными и проверочными элементами в суммарной комбинации будет такой же, как и в исходных комбинациях.

Систематические коды представляют собой многоразрядные комбинации, в которых выделены позиции (разряды) для передачи информационных посылок и позиций для передачи проверочных посылок. Каждый элемент проверочной комбинации получается сложением по модулю 2 определенной комбинации информационных посылок. Простейшим представителем систематического кода является код с четным числом единиц. Кодовая комбинация этого кода имеет n разрядов, из которых $(n - 1)$ разрядов - информационные и один разряд - проверочный. Знак проверочного элемента выбирается таким же, как и знак суммы по модулю 2 всех информационных моментов.

На приеме выполняется сложение всех элементов кода по модулю 2, и по результатам сложения определяется наличие нечетного числа ошибок, т. е. пропаданий или появлений знаков. Четное количество ошибок код не определяет. Пусть имеется код с $n=4$, т. е. с $2^4=8$ информационными комбинациями и одной проверочной. Предположим, что надо передать информационную комбинацию 011. Знак проверочного разряда определится как

что надо передать информационную комбинацию 011. Знак проверочного разряда определится как

$$a_4 = a_1 \oplus a_2 \oplus a_3 = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0,$$

и кодовая комбинация будет иметь вид 0011. На приемном конце при суммировании всех элементов по модулю 2 получим 0. Предположим, что комбинация исказилась и искажение изменило три знака комбинации, т.е. она воспринята как комбинация 1101. При суммировании элементов по модулю 2 получим на приеме знак 1, что является сигналом ошибки. Если комбинация искажена на два знака, т. е. стала 1001, то при суммировании на приеме получим знак 0, что подтверждает необнаружение при данном коде четного числа ошибок. Наибольшее распространение получили систематические коды Хемминга и циклический код. Перед рассмотрением этих кодов уточним некоторые понятия.

Кодовым расстоянием между двумя кодовыми комбинациями. называется число одноименных разрядов с отличными символами. Для двоичного кода кодовое расстояние численно равно сумме по модулю 2 сравниваемых комбинаций. В трехразрядном коде с разрешенными кодовыми комбинациями 101; 110; 011; 000 кодовые расстояния определяются как

$$\begin{array}{ccccc} \oplus & \oplus & \oplus & \oplus & \oplus \\ \begin{array}{r} 101 \\ 110 \\ \hline 011 \end{array} & \begin{array}{r} 110 \\ 011 \\ \hline 101 \end{array} & \begin{array}{r} 011 \\ 000 \\ \hline 011 \end{array} & \begin{array}{r} 101 \\ 000 \\ \hline 101 \end{array} & \begin{array}{r} 110 \\ 000 \\ \hline 110 \end{array} \end{array}$$

и будут равны 2, так как в каждом случае сравнения имеем два разряда с разными значениями символов (знаков посылок).

Если при составлении кода задано обнаружение до 1 ошибок или исправление до σ ошибок, то между этими величинами и кодовым расстоянием должны быть следующие зависимости:

$$\begin{aligned} d_0 &\geq \delta + 1; \\ d_0 &\geq 2l + 1. \end{aligned}$$

Если код используется для исправления 1 ошибок и обнаружения $\sigma > 1$ ошибок, то необходимо выполнить требование

$$d_0 \geq \delta + l + 1.$$

Помехоустойчивость любого кода характеризуется коэффициентом обнаружения или исправления ошибок

$$m_0 = \frac{A_0}{A_0 + B_0},$$

где A_0 - количество комбинаций, в которых ошибка обнаруживается или исправляется; B_0 - количество комбинаций, в которых ошибка не обнаруживается и не исправляется.

Избыточность кода определяется формулой

$$W = \frac{r}{n} = 1 - \frac{\log_2 M}{\log_2 N},$$

где n - число разрядов кода; r - число проверочных разрядов в каждой кодовой комбинации; M - число разрешенных комбинаций; N - число неразрешенных комбинаций.

Для (n, k) -кода число комбинаций равно 2^n , а число разрешенных комбинаций определяется формулой

$$M = 2^k = 2^{n-r}.$$

Кодом Хемминга называется систематический блочный разделимый (n, k) -код, в котором проверочные разряды представляют собой линейные комбинации информационных разрядов, т. е. значения проверочных разрядов меняются в зависимости от передаваемой комбинации информационных посылок. Различают код Хемминга с кодовым расстоянием $d_0=3$, исправляющий любые одиночные ошибки, и код Хемминга с $d_0=4$, исправляющий любые одиночные ошибки и обнаруживающий все двойные ошибки.

При приеме кода Хемминга осуществляется проверка правильности передачи, и при появлении ошибки определяется номер неправильно принятого разряда и осуществляется исправление ошибки. Рассмотрим процесс образования проверочных комбинаций при передаче и процесс выявления номера неправильно принятого разряда на приеме применительно к коду с $d_0=3$ и пятиразрядной информационной комбинации.

В соответствии с формулой

$$2^r = 2^{n-r} \geq n - 1$$

для $k=5$ число элементов кода $n=9$, число разрядов проверочной комбинации равно $n - k = 9 - 5 = 4$. В табл.5 даны номера разрядов рассматриваемого кода в двоичном написании. Из таблицы видно, что в комбинациях, в составе которых имеется только одна единица, она соответствует номерам разрядов 1, 2, 4 и 8. Эти разряды целесообразно использовать для образования проверочной комбинации. Таким образом, разряды P1, P2, P4, P8 - проверочные, а разряды P3, P5, P6, P7, P9 - информационные.

Таблица 5 - Номера разрядов рассматриваемого кода в двоичном написании

Номер разряда кодовой комбинации	Запись номера разряда в двоичной комбинации при n=4			
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1

Рассмотрим весь процесс передачи информации. Предположим, что полезная информация соответствует комбинации 01101. В информационных разрядах она запишется в виде

P_9	P_7	P_6	P_5	P_3
0	1	1	0	1

Проверочная комбинация формируется из информационной путем определения значимости каждого ее разряда в соответствии с формулами

В нашем случае

$$\begin{aligned}
 P_1 &= P_3 \oplus P_5 \oplus P_7 \oplus P_9; & P_1 &= 1 \oplus 0 \oplus 1 \oplus 0 = 0; \\
 P_2 &= P_3 \oplus P_6 \oplus P_7; & P_2 &= 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1; \\
 P_4 &= P_5 \oplus P_6 \oplus P_7; & P_4 &= 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0; \\
 P_8 &= P_9, & P_8 &= 0,
 \end{aligned}$$

т. е. проверочная комбинация запишется как

P_8	P_4	P_2	P_1
0	0	1	0

Таким образом, общая кодовая комбинация, содержащая информацию (в разрядах P_3, P_5, P_6, P_7, P_9) и проверочную комбинацию (в разрядах P_1, P_2, P_4, P_8), будет иметь вид:

P_9	P_8	P_7	P_6	P_5	P_4	P_3	P_2	P_1
0	0	1	1	0	0	1	1	0

Предположим, что при приеме неправильно принят знак P_5 , т.е. воспринята комбинация

P_9	P_8	P_7	P_6	P_5	P_4	P_3	P_2	P_1
0	0	1	1	1	0	1	1	0

Для выявления ошибки на приеме производится четырехкратная проверка кодовой комбинации путем суммирования по модулю 2 следующих разрядов:

проверка №1 – P_1, P_3, P_5, P_7, P_9 ;

проверка №2 – P_2, P_3, P_6, P_7 ;

проверка №3 – P_4, P_5, P_6, P_7 ;

проверка №4 – P_8, P_9 .

В нашем случае получим :

проверка №1 – $0 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 0 = 1$;

проверка №2 – $1 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 1 = 0$;

проверка №3 – $0 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$;

проверка №4 – $0 \oplus 0 = 0$,

что соответствует комбинации 0101, которая, как видно из табл., соответствует 5, т. е. номеру неправильно принятого разряда. Определив номер неправильно принятого разряда, легко восстановить (исправить) комбинацию, изменив знак указанного разряда на обратный. Таким образом, при появлении единичной ошибки будет обнаружено не только это появление, но и номер разряда, в котором произошла ошибка. Если кодовая комбинация принята правильно, то процесс проверки даст следующие значения:

проверка №1 – $0 \oplus 1 \oplus 0 \oplus 1 \oplus 0 = 0$;

проверка №2 – $1 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 1 = 0$;

проверка №3 – $0 \oplus 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0$;

проверка №4 – $0 \oplus 0 = 0$,

Отсутствие в результатах проверки единиц является признаком правильного приема кодовой комбинации.

5.3. Циклические системы передачи информации и системы с обратной связью

Все известные методы повышения достоверности передачи дискретной информации нашли свое отражение в системах передачи без обратной связи и с обратной связью. Системы передачи без обратной связи используют

симплексный канал связи и подразделяются на системы передачи простым кодом, системы с кодом, исправляющим ошибки, и системы с повторением передачи информации.

Для реализации систем с обратной связью требуется дуплексный канал связи (обратный и прямой). Они подразделяются на системы с обратной информационной связью и с решающей обратной связью.

5.4. Системы с повторением передачи информации

Достоверность в системах с повторением передачи информации простым кодом достигается многократной передачей кодовой комбинации и сравнением на приемном конце принятых комбинаций по критерию большинства, т. е. восприятию той комбинации, которая соответствует наибольшему числу совпадений принятых комбинаций. При другой схеме построения приемного устройства производится поэлементное сравнение принятых комбинаций, на основе которого принимается решение выбора безошибочной комбинации.

В случае сравнения комбинаций вероятность ошибочного приема при трехкратном повторении определяется выражением

$$P_{ош.н} \approx 3n^2 p^2,$$

а при пятикратном повторении

$$P_{ош.н} \approx 10n^3 p^3,$$

В случае поэлементной проверки и трехкратной передачи

$$P_{ош.н} = 3np^2,$$

при пятикратном повторении

$$P_{ош.н} = 10np^3.$$

Таким образом, системы с повторением и поэлементным сравнением обеспечивают значительно меньшую вероятность ошибки, чем системы с проверкой по комбинациям.

Данные соотношения соответствуют случаю, когда в канале связи имеют место одиночные (случайные) искажения, не зависящие друг от друга. При

наличии пакетов ошибок вероятность появления ошибочно принятых комбинаций резко возрастает, так как пакет ошибок может исказить две и более соседних комбинаций. Для повышения достоверности в этих условиях необходимо использовать большие длины кодовых комбинаций или увеличивать число повторений.

Недостатком систем с повторением является также значительное снижение скорости передачи информации. Рациональной разновидностью системы передачи информации с повторением можно считать систему передачи по параллельным каналам связи.

Поскольку ошибки, возникающие в разных каналах связи, являются независимыми, достоверность передачи у подобных систем значительно выше, чем у систем с последовательным повторением. Время задержки информации у систем с параллельной передачей и у систем передачи простым кодом без повторения одинаково. Преимуществом систем с параллельной передачей является их повышенная надежность в условиях повреждения каналов связи. Широкое распространение получили системы параллельной передачи с использованием кодов, обнаруживающих ошибки. В этом случае для передачи используются два канала связи, и при обнаружении ошибки в одном канале информация воспринимается из другого.

Вероятность ошибочного приема при такой системе параллельной передачи соответствует вероятности приема необнаруженной ошибки:

$$P_{\text{ош.пар}} = P_{\text{ош.н}}.$$

В этом отношении система с параллельной передачей эквивалентна системе передачи по одному каналу связи с кодом, обнаруживающим ошибки. Однако последняя система имеет большие потери информации, так как сигнал стирания вырабатывается при каждом обнаружении ошибки, а в системе с параллельной передачей стирание происходит только в случае появления ошибки одновременно в обоих каналах.

5.5. Системы передачи информации с обратной связью

Системы передачи без обратной связи могут обеспечивать сколь угодно высокую достоверность за счет увеличения цикла повторения, но при этом значительно снижается пропускная способность. Системы передачи с кодом, исправляющим ошибки, могут обеспечить высокую достоверность, однако при этом значительно усложняются приемные устройства. Поэтому широкое распространение получили системы с обратной связью. В этих системах обратный канал связи используется для запроса в случае приема ошибочной комбинации; по этому запросу выполняется повторение передачи. В системах с обратной связью имеет место переменная избыточность информации, вводимая в зависимости от условий приема и проявляющаяся в частоте запросов и повторений. Избыточность максимальна при увеличении искажений в канале связи и минимальна при отсутствии этих искажений. Системы с обратной информационной связью и с обратной решающей связью отличаются тем, что в первых системах решение о повторной передаче принимает передающее устройство на основе сравнения переданной комбинации с комбинацией, полученной от приемного устройства по обратному каналу связи, а в системах с решающей обратной связью решение о повторной передаче комбинации принимает приемное устройство, которое по обратному каналу связи выдает передающему устройству команду о повторной передаче комбинации.

Рассмотрим особенности работы системы передачи с информационной обратной связью. Передающее устройство, передавая информацию, в то же время фиксирует информационную комбинацию в накопительном блоке. Приемное устройство, приняв информационную комбинацию, не передает ее сразу на выходные блоки, а фиксирует в своем накопительном блоке и, оценив ее, передает по обратному каналу связи информацию о принятой комбинации передающему устройству. Образование обратного информационного сигнала - квитанции о принятии комбинации - может быть выполнено различным способом.

При «полной» информационной обратной связи каждой комбинации соответствует своя комбинация - квитанция; если квитанций меньше, чем кодовых комбинаций, то информационная обратная связь называется укороченной. Большое распространение получили системы, в которых квитанция является полным повторением принятой приемником кодовой комбинации; такая связь часто называется ретрансляционной обратной связью и является полной информационной обратной связью. Существуют системы, в которых корректирующие коды использованы таким образом, что по прямому каналу передается информационная часть корректирующего кода (k разрядов), а по обратному каналу передается квитанция в виде проверочной части корректирующего кода (r разрядов). Поскольку обычно $k > r$, такие системы относятся к системам с укороченной информационной обратной связью.

В любом случае передающее устройство, получив по обратному каналу связи квитанцию и сравнив ее с комбинацией в накопительном блоке, определяет, правильно или неправильно воспринята приемным устройством кодовая комбинация. Если квитанция не соответствует переданной кодовой комбинации, то это расценивается как ошибочный прием и с передающего устройства по прямому каналу связи передается команда «стирания», а затем повторно передается кодовая комбинация из накопительного блока. Приемное устройство, приняв команду «стирания», разрушает ранее принятую комбинацию и воспринимает повторно переданную комбинацию. Далее приемное устройство вновь выдает по обратному каналу связи квитанцию о принятой кодовой комбинации. Если прием был выполнен без ошибки, передающее устройство передает следующую кодовую комбинацию, а приемное устройство выдает в выходной блок предыдущую кодовую комбинацию.

Анализ систем с информационной обратной связью показывает:

в системах с полной информационной обратной связью все ошибки, вызванные искажениями в прямом канале связи, обнаруживаются и устраняются:

в системах с укороченной информационной обратной связью (когда квитанция одного вида соответствует двум или более кодовым комбинациям) искажения в прямом канале связи, которые вызывают переход данной кодовой комбинации в кодовую комбинацию, имеющую одинаковую с первой квитанцию, не могут быть обнаружены;

ошибки на приеме проявляются в том случае, если они возникают как в прямом, так и в обратном каналах связи (соответственно при передаче кодовой комбинации и квитанции). В этом случае система с полной информационной обратной связью работает лучше, чем система с укороченной обратной связью;

искажения комбинации команды «стирания» могут способствовать приему ошибочных комбинаций.

Следует сделать вывод, что для получения системы высокой достоверности с информационной обратной связью необходимо применять «полную» информационную обратную связь и обеспечить высокую надежность передачи сигнала «стирания».

Системы с решающей обратной связью основаны на том, что анализ правильности принятой кодовой комбинации выполняется в приемном устройстве, и если обнаруживается наличие ошибки, выполняется «запрос» передающего устройства по каналу обратной связи. Передающее устройство, получив «запрос», повторяет передачу кодовой комбинации. Существует много вариантов систем с решающей обратной связью (РОС), различающихся по тем или другим признакам. Система РОС с ожиданием работает следующим образом: передающее устройство по прямому каналу связи передает кодовую комбинацию, закодированную корректирующим кодом, и «ожидает» результат передачи этой комбинации. Если по обратному каналу связи от приемника поступит сигнал «запрос», то передающее устройство повторит передачу указанной комбинации, а если по обратному каналу связи придет сигнал подтверждения правильного приема, передающее устройство передаст по прямому каналу связи следующую кодовую комбинацию. Время передачи одной кодовой комбинации определяется формулой

$$T = t_{\text{комб}} + t_p + t_{\text{о.с}},$$

где $t_{\text{комб}}$ - длительность передачи комбинации; t_p - время распространения сигнала по каналу связи; $t_{\text{о.с}}$ - длительность обратного сигнала.

При наличии искажений общее время передачи комбинации будет равно NT , где N - количество повторений.

Системы с ожиданием имеют наименьшую скорость передачи по сравнению с более сложными системами РОС, однако разность скоростей значительно сокращается при увеличении длительности кодовой комбинации, т. е. когда $t_{\text{комб}} \gg t_p + t_{\text{о.с}}$. Большое распространение получили системы РОС с блокировкой. В этих системах как по прямому, так и по обратному каналам связи передаются и информация, и приемные сигналы, поэтому передающее и приемное устройства выполнены одинаково в соответствии с функциональной схемой на рис. 32. Имеются две станции (А и Б), и на каждой из них установлены приемопередающие устройства по рис., связанные между собой прямым и обратным каналами связи. При передаче информации со станции А устройство управления 5 вырабатывает сигнал запроса очередной комбинации (ЗОК), под действием которого на повышенной скорости информационные комбинации поступают от источника информации на входной накопитель 1, а через него на кодирующее устройство 2. Комбинации кодируются корректирующим кодом и передаются по прямому каналу связи на станцию Б и одновременно записываются в буферном накопителе устройства станции А.

Емкость буферного накопителя M измеряется количеством запоминаемых кодовых комбинаций и должна быть такой, чтобы обеспечить повторение передачи комбинации в случае ее искажения в канале связи.

Необходимо, чтобы

$$M \geq 2 + \frac{2t_p^2}{t_{\text{комб}}} \approx 3 + \frac{2t_p}{t_{\text{комб}}}.$$

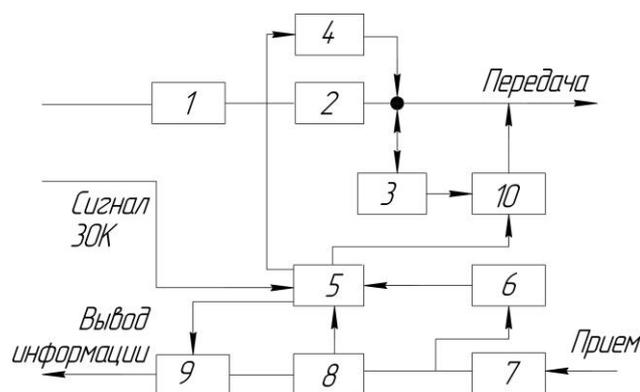


Рис. 32 Функциональная схема

В устройстве на станции Б переданные информационные разряды накапливаются в приемном накопителе 9. Если декодирующее устройство 8 не обнаружило ошибки, то информационные разряды из приемного накопителя с высокой скоростью передаются приемнику информации. Если декодирующее устройство 8 обнаружило ошибку, то от него к управляющему устройству 5 подается сигнал наличия ошибки, после чего управляющее устройство на станции Б: стирает информацию, накопленную в приемном накопителе 9; блокирует вход приемника, воздействуя на блокиратор 7.

Время блокировки равно времени передачи M комбинаций; блокировка снимается к моменту поступления на вход приемника элементов повторной кодовой комбинации; прекращает передачу сигналов ЗОК; подключает датчик комбинации «запрос» и по каналу связи передает на станцию А комбинацию запроса; вслед за ней передается информация, накопленная в буферном накопителе 3 станции Б, начиная с комбинации номер $W - N$ и кончая комбинацией с номером W (при передаче которой была обнаружена ошибка). Комбинация запроса принимается устройством станции А и декодируется детектором служебных сигналов 6. Команда с детектора служебных сигналов подается на устройство управления 5, которое прекращает передачу и блокирует приемник на время $T_{\text{бл}}$. Затем со стороны станции А от датчика 4 посылается комбинация запроса на станцию Б и вслед за ней передаются повторно комбинации, накопленные в буферном накопителе 3, через выходной узел 10. Время блокировки приемника выбирается из условия $T_{\text{бл}}=M$.

Во время повторной передачи со станции А на станцию Б прием начинается с той комбинацией, в которой была обнаружена ошибка. В свою очередь, на станции А не принимаются те комбинации, переданные с буферного накопителя станции Б, которые предшествовали моменту приема ошибочной комбинации; прием начинается только с комбинации подтверждения приема исправленной комбинации. Таким образом, после запроса последовательность приема на станциях А и Б не нарушается.

Рассмотренная система с РОС характеризуется тем, что информация в виде кодовых посылок передается по обоим каналам. Известны системы, в которых информация передается только по прямому каналу, а по обратному каналу передается сигнал, одна полярность которого соответствует сигналу подтверждения правильности приема, а изменение полярности служит сигналом появления ошибки. Работа таких систем в общих чертах аналогична рассмотренной ранее.

При выборе способа повышения достоверности передачи необходимо располагать данными о заданной достоверности, характере помех в канале, возможности организации обратного канала связи. При отсутствии обратного канала повышение достоверности достигается применением либо кодов с исправлением ошибок, либо метода повторной (или параллельной) передачи информации. Выбор типа кода и количества повторений передачи определяется характером и распределением ошибок в канале связи. Если в канале связи наблюдаются одиночные независимые ошибки (случайные искажения), то целесообразно использовать трехкратное повторение передачи, или, например, код Хемминга, исправляющий одиночные ошибки.

Для кода Хемминга при $k=5$ и $n=9$ вероятность неправильного приема определится выражением

$$P_{ош.к} = C_n^2 P_{ош}^2 = 36 P_{ош}^2,$$

в то время как при повторной передаче комбинации с $k=5$ $P_{ош.к} = 75 P_{ош}^2$. Сравнение этих величин показывает, что применение исправляющего кода в данном случае даст больший эффект, чем применение повторной передачи,

однако устройства с повторной передачей конструктивно более просты, чем устройства с исправляющим кодом. Пропускная способность канала связи при трехкратном повторении определяется по формуле, бит/с,

$$C_{повт} = \frac{B}{S} = 0,333B,$$

где S - число повторений; B - скорость передачи.

При использовании исправляющего кода

$$C_{испр} = \frac{k}{n} B = \frac{5}{9} B = 0,555B.$$

Таким образом, и с этой точки зрения использование исправляющего кода более эффективно. В системах с обратной связью используются также коды, обнаруживающие (но не исправляющие) ошибку, которые имеют меньшую избыточность, чем исправляющие коды. Следствием этого является возможность повышения пропускной способности канала (при определенном характере искажений) и упрощения устройств.

При наличии обратного канала связи целесообразно применять системы с обратной связью.

6. Общие сведения о каналах телемеханики по линиям электропередачи

Использование линий электропередачи для передачи телемеханической информации обусловлено:

- а) экономическими преимуществами, заключающимися в том, что для организации систем телемеханики не требуется сооружения специальных линий связи. Для передачи сигналов используются те же линейные сооружения, которые предназначены для передачи электроэнергии;
- б) высокой механической надежностью линейных сооружений линий электропередачи, наличием постоянного контроля за состоянием ВЛ, высокой оперативностью в деле устранения повреждений;
- в) совпадением схем энергетических связей объектов со схемами построения информационных связей, необходимых для диспетчерского управления этими объектами.

Основными факторами, усложняющими передачу информации по проводам ВЛ, являются высокий уровень линейных помех и нестабильность параметров линейных трактов, обусловленная эксплуатационными переключениями силового оборудования, входящего в схемы линейных трактов.

В зависимости от диапазона частот, используемого для передачи сигналов телемеханики, каналы связи по ВЛ разделяют на высокочастотные каналы, использующие частоты 30—1000 кГц, среднечастотные с рабочими частотами 5—30 кГц и низкочастотные. Низкочастотные каналы тональной частоты имеют рабочие частоты 0,2—5 кГц, а каналы подтональных частот — 5—47 и 75—200 Гц.

Высокочастотные каналы связи используются в распределительных сетях 35—220 кВ и на линиях высшего класса напряжения. Среднечастотные каналы связи могут быть использованы в распределительных сетях 10—35 кВ и при передаче информации по проводам изолированных грозозащитных тросов. Тональные и подтональные частоты нашли широкое применение как в отечест-

венной, так и в зарубежной практике передачи телемеханической информации по фазным проводам линий электропередачи 0,4— 10 кВ. Актуальной задачей современной энергетики является надежное обеспечение энергией потребителей сельскохозяйственного назначения, питающихся от распределительных сетей 6— 10 кВ. Данная задача решается путем комплексной автоматизации и телемеханики этих сетей. Комплексная автоматизация предусматривает оснащение этих сетей новой распределительно-коммутационной аппаратурой, устройствами релейной защиты, автоматикой определения мест повреждений ВЛ, системами телесигнализации, телеизмерения и телеуправления. В указанных условиях использование ВЛ 10 кВ для осуществления систем телемеханики на тональных и подтональных частотах приобретает особо важное значение. Следует отметить, что этот способ передачи телеинформации в сетях 10 кВ является наиболее перспективным, поскольку в этих сетях, имеющих сложную конфигурацию ВЛ с ответвлениями, применение традиционных каналов высокочастотной связи по ВЛ практически исключается из-за наличия волновых процессов отражения высокочастотных сигналов.

При организации систем телемеханики по ВЛ следует учитывать технические возможности и экономические показатели различных каналов телемеханики. Высокочастотные каналы телемеханики, выполненные по радиальным схемам, должны использоваться для связи ЦДП энергосистем с ПЭС, электростанциями и выделенными объектами управления. Для связи ПЭС с РЭС и выделенными объектами управления используются радиальные высокочастотные каналы и высокочастотные кустовые каналы телемеханики. Радиальные каналы телемеханики используют на тех направлениях, где имеется большой поток информации или информация, которая должна поступать на ДП ПЭС непрерывно. Применение кустовых высокочастотных каналов телемеханики, обеспечивающих связь ДП ПЭС с несколькими объектами при использовании одного дуплексного канала, обеспечивает

экономии спектра частот уплотнения ВЛ и максимальную унификацию оборудования связи и телемеханики.

На уровне связи РЭС с опорными подстанциями 35 и 110 кВ целесообразно использовать кустовые высокочастотные каналы телемеханики. В сетях 0,4—10 кВ должны использоваться каналы, выполненные на тональных и подтональных частотах с передачей телеинформации из сети 0,4—10 кВ на опорную питающую подстанцию. Полученная на ОП информация должна ретранслироваться на РЭС (или ПЭС) по соответствующим высокочастотным каналам.

Высокочастотные каналы телемеханики

Высокочастотный (ВЧ) канал телемеханики по ВЛ является сложной технической системой, включающей в себя ЛВТ по проводам ВЛ, специальную аппаратуру передачи информации по ВЛ, модемы телемеханики. Каждый из этих элементов имеет свои показатели качества работы, свои специфические особенности, которые должны учитываться при проектировании, наладке и эксплуатации ВЧ каналов телемеханики по ВЛ. Целесообразно рассмотреть особенности элементов, составляющих этот канал.

6.1. Линейный высокочастотный тракт

Высокочастотные каналы по ВЛ в зависимости от схемы ЛВТ разделяются на простые и сложные. Сложными каналами называются каналы, в схему ЛВТ которых входят ВЛ с ответвлениями или несколько ВЛ, разделенных промежуточными подстанциями.

Функциональная схема сложного канала связи приведена на рис.. Линейный тракт этой системы связи содержит промежуточную подстанцию 2, на которой выполнена схема ВЧ обхода, обеспечивающая прохождение ВЧ сигнала с *ВЛ1* на *ВЛ2* и в обратном направлении.

В общем случае линейным высокочастотным трактом называется совокупность устройств, расположенных между ВЧ входными зажимами двух конечных полуккомплектов аппаратуры уплотнения, предназначенной для

передачи ВЧ сигнала. В состав ЛВТ входят ВЧ кабели *ВК*, фильтры присоединения *ФП*, конденсаторы связи *КС*, ВЧ заградители *ВЗ*, провода линий электропередачи *ВЛ1* и *ВЛ2*, силовое оборудование подстанций 1—3.

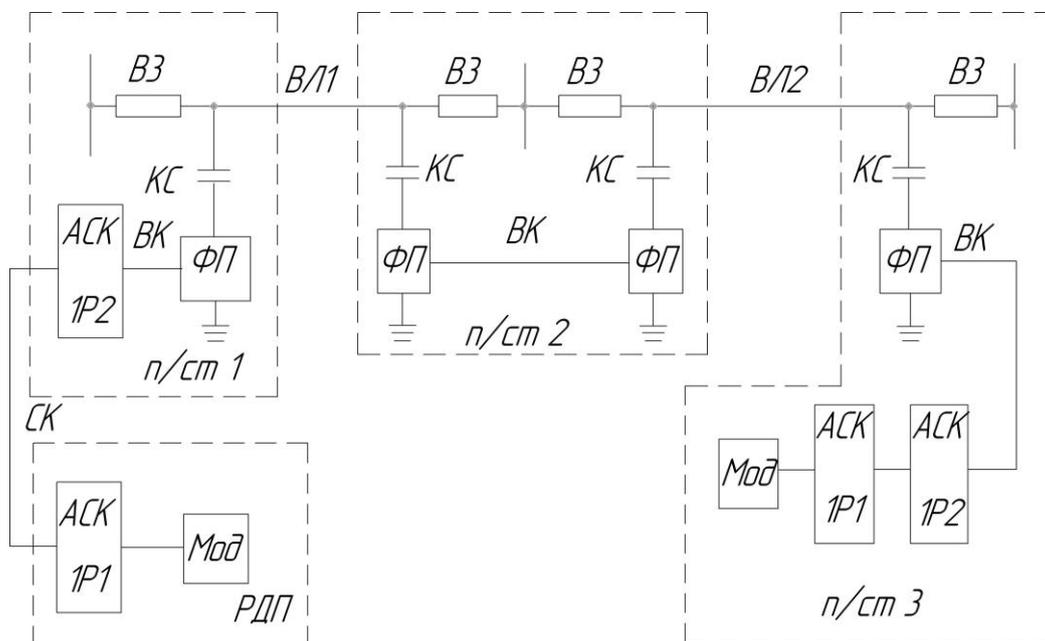


Рис.33 Функциональная схема сложного канала связи по ВЛ

Качество ЛВТ в отношении передачи ВЧ сигналов определяется величиной и характером частотной характеристики затухания, стабильностью частотной характеристики затухания, уровнем и характером линейных помех в полосе рабочих частот канала. Чем меньше неравномерность частотной характеристики ЛВТ и чем более стабильна эта характеристика во времени, тем более устойчиво будет работать канал передачи информации. Появление неравномерности частотной характеристики обусловлено рядом факторов: неравномерностью затухания ВЛ, неравномерностью частотной характеристики добавочного затухания, вносимого ВЧ обходами, частотной неравномерностью дополнительного затухания $\Delta\alpha_{от}$, обусловленного появлением в ЛВТ многократно отраженных волн от точек (узлов) несогласования входных сопротивлений (точек неоднородности). Последний фактор в большинстве случаев организации ВЧ каналов по ВЛ играет решающую роль.

В процессе эксплуатации ВЛ производится коммутации силового оборудования на подстанциях, отключения ВЛ, по которым организован ЛВТ,

заземление проводов ВЛ после отключения. При этом меняется нагрузка нерабочих фаз ВЛ, по которой организован ЛВТ, а следовательно, меняется и коэффициент отражения от концов линии. Последнее изменяет степень влияния многократно отраженных волн на частотную характеристику затухания. Нестабильность частотной характеристики затухания ЛВТ обуславливается не только наличием отраженных волн, но и влиянием окружающей среды, а также изменением конечных затуханий и затуханий перехода ВЧ обходов. Наличие такой нестабильности является специфической особенностью ВЧ систем связи по ВЛ, при использовании схем подключения фаза — земля, с которой приходится считаться при организации ВЧ каналов передачи информации по ВЛ. Одним из основных показателей, характеризующих качество канала связи для передачи сигналов телемеханики или другой информации, является его амплитудно-фазовая характеристика.

Частотная характеристика остаточного затухания ВЧ канала по ВЛ определяется частотными характеристиками затухания не только трактов передачи и приема аппаратуры уплотнения, но и ЛВТ.

6.2. Модемы телемеханики с ЧМ

В настоящее время в энергосистемах широко используются модемы телемеханики с частотной модуляцией несущего тонального сигнала. Типовые функциональные схемы передатчика и приемника современного модема, предназначенного для передачи дискретных сигналов, приведены на рис.

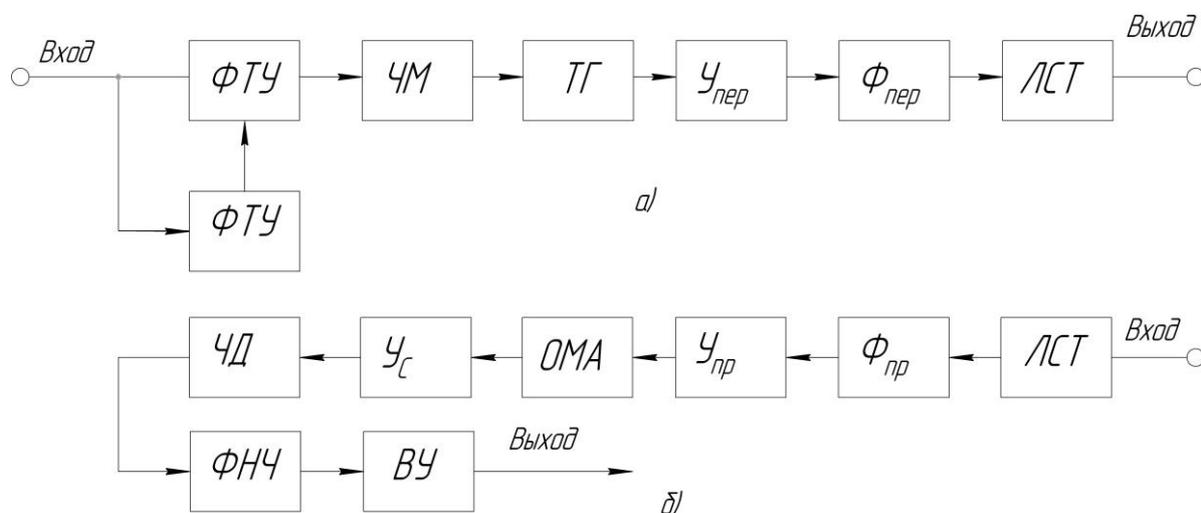


Рис.34 Функциональные схемы: а – модема передачи; б – модема приема

Рассмотрим особенности работы модема передачи. При отсутствии первичного сигнала на входе МП пороговое устройство ПУ, воздействуя через формирующее триггерное устройство ФТУ на частотный модулятор ЧМ, обеспечивает формирование сигнала характеристической частоты f_A . Этот сигнал с выхода тонального генератора ТГ поступает в канал связи через усилитель передачи $U_{\text{пер}}$, полосовой фильтр передачи и линейный согласующий трансформатор ЛСТ. Если на входе МП появляется первичный сигнал, то воздействие ПУ на ФТУ прекращается, и частота сигнала на выходе МП будет определяться параметром первичного сигнала. Наличие ПУ обеспечивает защиту канала ТМ от воздействия помех со стороны линии, соединяющей МП с первичным устройством телемеханики, и передачу по каналу ТМ заданного сигнала f_A , длительное наличие которого сигнализирует об отсутствии первичного сигнала на входе МП. Формирующее триггерное устройство ФТУ обеспечивает при передаче информации формирование дискретного тонального сигнала, форма которого не зависит от формы нарастания амплитуды напряжения первичного сигнала. На рис. а приведена модуляционная характеристика МП, содержащего ФТУ. Модуляционной характеристикой МП называется зависимость отклонения частоты сигнала на его выходе от напряжения первичного сигнала на входе МП. Осциллограмма первичного сигнала на входе МП показана на рис. б. ФТУ характеризуется значениями напряжения срабатывания U_1 и U_2 , при которых происходит скачкообразное изменение частоты выходного сигнала соответственно с $(f_0 + \Delta f)$ на $(f_0 - \Delta f)$ и обратно (кривые 1 и 2). Сравнение кривых б, в показывает, что наличие ФТУ обеспечивает четкую форму формирования сигналов характеристик частот на выходе МП даже при нестабильности амплитуды первичного сигнала на входе МП. Основными требованиями, предъявляемыми к ФТУ, являются равенство и стабильность напряжений U_x и $U < i$.

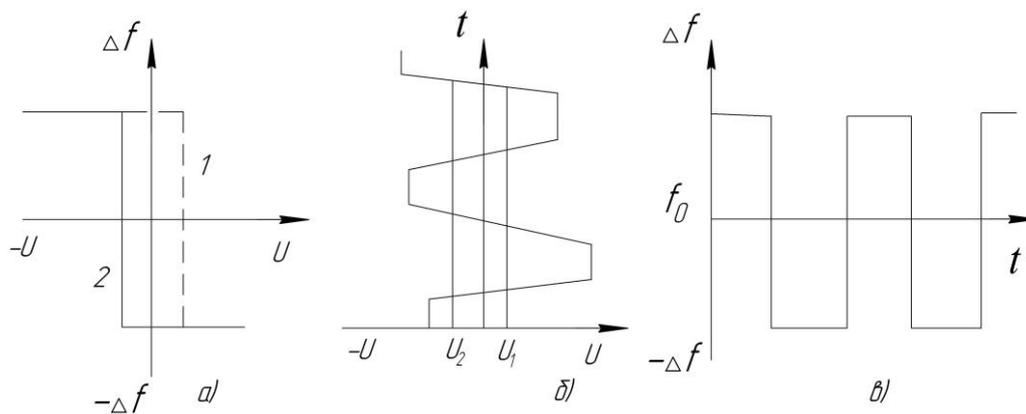


Рис. 35 Модуляционная характеристика (а) и осциллограмма первичного сигнала на входе модема передачи (б) и форма ЧМ сигнала на входе модема (в)

Сформированный первичный сигнал с выхода $\Phi TУ$ поступает на вход ЧМ, принципиальная схема которого приведена на рис. вместе со схемой тонального генератора ТГ.

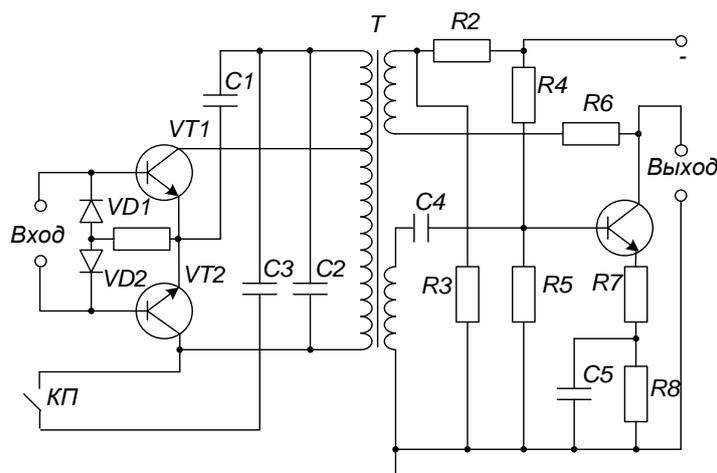


Рис. 36 Принципиальная схема частотного модулятора и генератора тональной частоты

Частотный модулятор (манипулятор) выполнен на двух транзисторных ключах $VT1$ и $VT2$, с помощью которых производится подключение конденсатора $C1$ либо ко всей обмотке катушки индуктивности колебательного контура генератора, либо к части витков этой катушки. Тональный генератор выполнен на транзисторе $VT3$. Колебательный контур генератора состоит из первичной обмотки трансформатора T и конденсатора $C2$; две вторичные обмотки T , одна из которых включена в цепь базы, а вторая в коллекторную

цепь транзистора $VT3$, обеспечивают связь колебательного контура с транзистором. Напряжение сигнала тональной частоты снимается с коллектора транзистора $VT3$. Колебательный контур генератора с помощью конденсатора $C2$ настроен на верхнюю характеристическую частоту. При воздействии на вход ЧМ сигнала отрицательной полярности транзистор $VT2$ открывается, сопротивление перехода коллектор — эмиттер становится весьма малым и конденсатор $C1$ оказывается подключенным параллельно конденсатору $C2$.

Поскольку общая емкость колебательного контура увеличится, генератор начнет генерировать сигнал нижней характеристической частоты. Эта частота устанавливается выбором емкости конденсатора $C1$. При воздействии на вход ЧМ сигнала положительной полярности транзистор $T2$ закрывается, а транзистор $T1$, открывшись, подключает конденсатор $C1$ к части обмотки колебательного контура. Эквивалентная емкость контура уменьшается, и генератор начинает генерировать сигнал верхней характеристической частоты. Таким образом, в такт с работой ФТУ происходит изменение частоты тонального генератора от низшей характеристической частоты F_A до высшей характеристической частоты F_Z . Ключ КП и конденсатор $C3$ служат для перевода генератора в режим генерирования сигнала средней частоты модема передачи при проведении эксплуатационных испытаний и проверок канала передачи информации.

В общем случае качество модемов определяется: значениями и стабильностью характеристических частот модема передачи; паразитной амплитудной модуляцией на выходе модема передачи; спектром и уровнем мешающих частот модема передачи; избирательностью модема приема; чувствительностью и характеристикой ограничителя максимальных амплитуд модема приема; частотной характеристикой дискриминатора модема приема; собственным уровнем помех и вносимыми модемами искажениями.

Номинальные значения характеристических частот модемов определяются по формулам:

а) для Модемов 50

$$F_A = 330 + 120 n_m;$$

$$F_Z = 270 + 120 n_m;$$

б) для Модемов 100

$$F_A = 300 + 240 n_m;$$

$$F_Z = 180 + 240 n_m;$$

в) для Модемов 200

$$F_A = 240 + 480 n_m;$$

$$F_Z = 0 + 480 n_m.$$

В этих формулах n_m — порядковый номер модема; F_A — верхняя характеристическая частота, Гц; F_Z — нижняя характеристическая частота, Гц.

Допустимое отклонение разности характеристических частот модемов передачи не должно превышать:

а) для Модемов $50 \pm 0,2$ Гц;

б) для Модемов $100 \pm 0,4$ Гц;

в) для модемов 200 240 ± 6 Гц.

Средняя частота модема определяется выражением

$$F_0 = \frac{F_A + F_Z}{2},$$

где F_A — верхняя характеристическая частота; F_Z — нижняя характеристическая частота.

Отклонение средней частоты модема передачи от номинального значения не должно превышать:

а) для Модемов $50 \pm 0,2$ Гц;

б) для Модемов $100 \pm 0,4$ Гц;

в) для Модемов $200 \pm 0,8$ Гц.

Разность уровней передачи сигналов характеристических частот на линейном выходе модема передачи должна составлять не более 1,7 дБ для всех видов модемов.

Глубина паразитной амплитудной модуляции на выходе фильтра передачи любого модема при номинальной скорости передачи посылок не должна превышать 20%.

При качественной настройке выходного фильтра модема передачи уровень мешающего сигнала на выходе передатчика модема при передаче первичных сигналов с номинальной скоростью передачи измеряется в полосе рабочих частот соседних КТМ того же группового канала телемеханики и должен быть не менее чем на 40 дБ ниже полусуммы уровней передачи сигналов характеристических частот.

Собственные искажения передатчика модема при передаче на его вход симметричных посылок типа 1:1 должны быть не более значений, указанных в технических условиях на данный вид модема.

Если в технических условиях отсутствуют указанные данные, то максимально допустимые собственные искажения передатчика не должны превышать 2,5%.

Частотно-модулированный сигнал с выхода канала связи, пройдя согласующий трансформатор *ЛСТ*, фильтр приема и усилитель приема, поступает на ограничитель максимальных амплитуд *ОМА*.

Ограничитель обеспечивает постоянство амплитуды приемного сигнала на входе частотного детектора *ЧД* в условиях изменения напряжения сигнала на входе МПР под воздействием различных факторов.

В *ЧД* осуществляется преобразование частотно-модулированного сигнала в двухполярный сигнал постоянного тока, который через фильтр низкой части *ФНЧ* поступает на выходное устройство *ВУ*. Это устройство обеспечивает формирование первичного сигнала и передачу его на вход приемного устройства телемеханики через соответствующую соединительную линию.

Наиболее сложными и ответственными узлами МПР являются ограничитель максимальных амплитуд и частотный детектор.

Один из вариантов исполнения этих элементов показан на принципиальной схеме, приведенной на рис.37

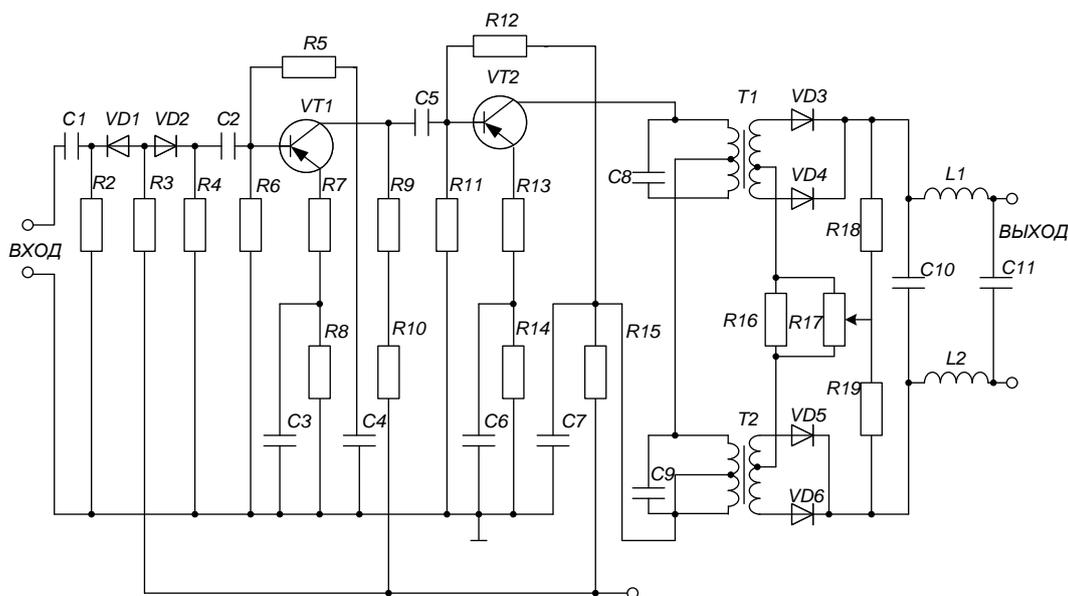


Рис.37 Принципиальная схема ограничителя максимальных амплитуд и частотного детектора

Ограничитель максимальных амплитуд выполнен на диодах $VD1$, $VD2$ и резисторах $R2$, $R3$ и $R4$. Порог ограничения ОМА регулируется изменением сопротивления резистора $R3$, через который на диоды $VD1$ и $VD2$ подается смещение от источника -24 В. Ограничитель максимальных амплитуд является обязательным элементом модемов приема с частотной или фазовой модуляцией, он обеспечивает поступление на вход частотного дискриминатора сигнала постоянной амплитуды даже в условиях значительного изменения уровня приемного сигнала на входе модема или наличия паразитной амплитудной модуляции приемного сигнала вследствие воздействия помех или нестационарных процессов, сопровождающих прохождение модулированного сигнала через полосовые фильтры. Наличие на входе частотного дискриминатора ЧМ колебания постоянной амплитуды позволяет получить на его выходе сигнал, амплитуда которого является функцией изменения частоты ЧМ колебания. Если на входе ЧД это колебание имеет меняющуюся амплитуду, на его выходе получаем сигнал, форма которого будет функцией изменения не только частоты, но и амплитуды ЧМ колебания (т. е. искаженный сигнал).

Частотно-модулированное колебание с выхода усилителя $VT1$, расположенного за ОМА, поступает на вход частотного дискриминатора —

транзистора $VT2$ с резонансными контурами в коллекторной цепи. Резонансные контуры выполнены на трансформаторах $T1$ и $T2$, первичные обмотки которых настроены соответственно с помощью конденсаторов $C8$ и $C9$ на частоты, симметрично расположенные относительно средней частоты рабочей полосы данного модема.

Для обеспечения высокой избирательности резонансных контуров соединение их с коллекторной цепью транзистора $VT2$ осуществлено через отвод первичных обмоток трансформаторов. Вторичные обмотки трансформаторов $T1$ и $T2$ соединены со схемами амплитудных детекторов, которые выполнены соответственно на диодах $VD3$, $VD4$ и $VD5$, $VD6$. Выход амплитудных детекторов подан на фильтр низкой частоты $\Phi НЧ$, состоящий из катушек индуктивности $L1$, $L2$ и конденсаторов $C10$, $C11$.

Качество рассматриваемого двухконтурного дискриминатора определяется линейностью его частотной характеристики, которая представляет собой зависимость напряжения сигнала постоянного тока на выходе дискриминатора от частоты тонального сигнала, поступающего на его вход при постоянном напряжении этого сигнала.

Качество частотной характеристики дискриминатора оценивается неравномерностью, дБ, определяемой по формуле

$$\Delta D = 20 \lg \frac{U_{\text{д}1}}{U_{\text{д}2}}$$

где $U_{\text{д}1}$ — напряжение на выходе дискриминатора при данном частотном отклонении и идеальной характеристике дискриминатора; $U_{\text{д}2}$ — напряжение при том же частотном отклонении и реальной частотной характеристике дискриминатора. В соответствии со сказанным ранее нелинейность частотной характеристики в рабочем диапазоне частотных отклонений должна быть не более 1,5 дБ. Таким образом, линейной частью частотной характеристики дискриминатора считается участок характеристики с нелинейностью не более 1,5 дБ. Запасом линейности дискриминатора называют разность частотного интервала линейного участка дискриминатора $\Delta F_{\text{д}}$ и максимального

частотного сдвига $\Delta F_{\text{сд}}$ при передаче частотно-модулированного сигнала при условии, что обе эти величины отсчитываются от средней частоты канала:

$$Z_{\text{д}} = \Delta F_{\text{д}} - \Delta F_{\text{сд}}$$

Этот запас зависит не только от конструкции модемов, но и от канала связи, который используется в данной системе телемеханики. Если канал связи работает по системе ОБП без синхронизации частот, запас дискриминатора должен составлять не менее 10 Гц при скоростях передачи до 100 Бод и 20 Гц при скоростях 200—300 Бод. Если имеется система синхронизации, то запас может быть снижен соответственно до 5 и 10 Гц.

На рис.38 приведены характеристики дискриминаторов идеального (прямая 1), реального при малом линейном участке (кривая 2) и реального при неправильной настройке (прямая 3).

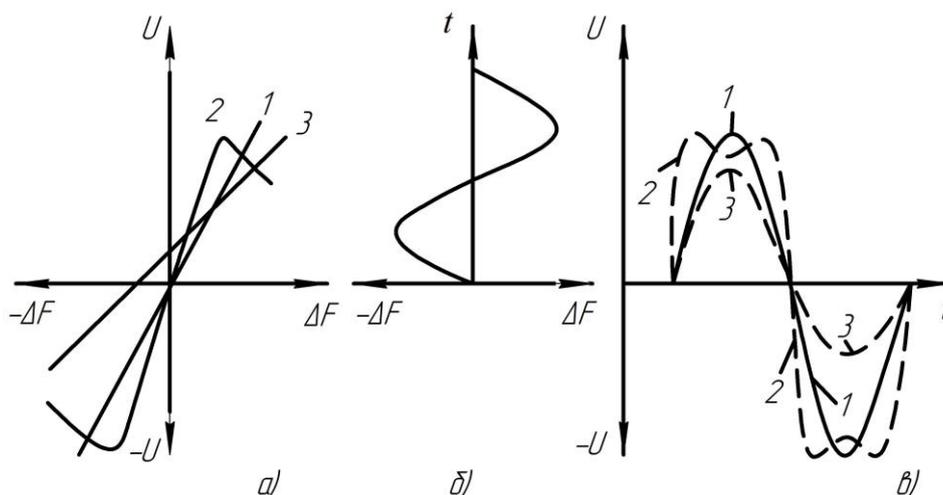


Рис. 38 а) б) в) Частотные характеристики дискриминатора

При воздействии на дискриминатор частотно-модулированного колебания, частота которого изменяется в соответствии с рис.38 б, на выходе детектора получим сигналы, показанные на рис.38 в (1 — сигнал при идеальном дискриминаторе, 2—сигнал при дискриминаторе с малым линейным участком, 3 — сигнал при неправильно настроенном дискриминаторе). Из кривых видно, что неправильно настроенный дискриминатор и дискриминатор с малым линейным участком частотной характеристики обуславливают появление значительных искажений сигнала на выходе детектора модема приема.

Анализ кривых на рис. показывает необходимость тщательной настройки дискриминатора, правильного выбора его линейности и определенного соотношения частотного сдвига модулированного колебания и частотной характеристики дискриминатора.

Важным параметром модема приема является чувствительность, которая численно равна уровню сигнала средней рабочей частоты на выходе модема, при котором начинается ограничение амплитуды сигнала на выходе ограничителя амплитуд ОМА. На рис. 39 приведена амплитудная характеристика тракта приема модема, представляющая зависимость напряжения сигнала на выходе ограничителя от уровня сигнала на входе модема.

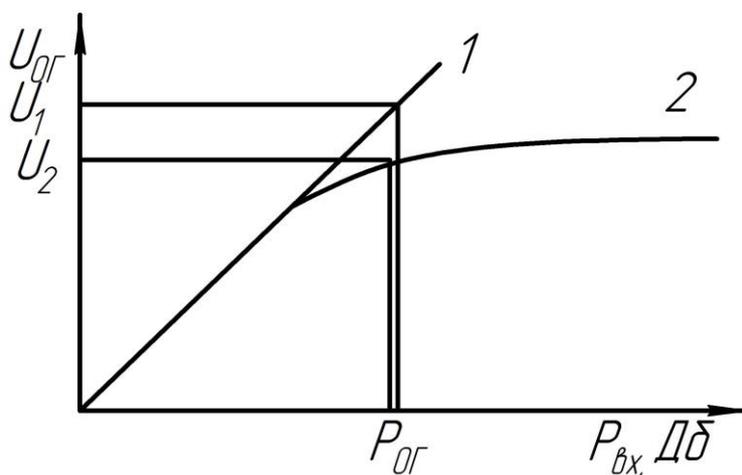


Рис.39 Амплитудная характеристика тракта приема модема

Чувствительность модема приема равна уровню приемного сигнала $P_{ог}$, при котором выполняется условие

$$20 \cdot \lg \frac{U_1}{U_2} = 1,5.$$

где U_1 — напряжение, которое было бы на выходе ограничителя, если бы амплитудная характеристика ограничителя была линейна (прямая 1); U_2 — напряжение на выходе ограничителя с реальной характеристикой (кривая 2).

$$P_{э\min} = 10 \div 20 \cdot \lg(1 - m_n),$$

где m_n — коэффициент паразитной амплитудной модуляции частотно-модулированного сигнала на входе ограничителя максимальных амплитуд.

Наличие в схеме модема приема ограничителя максимальных амплитуд обеспечивает устойчивую работу в условиях изменения затухания канала связи и защищает дискриминатор приемного устройства от воздействия амплитудных помех и паразитной амплитудной модуляции частотно модулированного сигнала.

6.3 . Низкочастотные каналы телемеханики

В электрических распределительных сетях 0,4—10 кВ в отечественной и зарубежной практике широко используются каналы телемеханики, рабочие частоты которых лежат в диапазоне от нескольких до 5—6 кГц.

На рис. приведены упрощенные функциональные схемы подключения низкочастотных модемов телемеханики к проводам трехфазных модемов телемеханики и проводам трехфазных линий электропередачи.

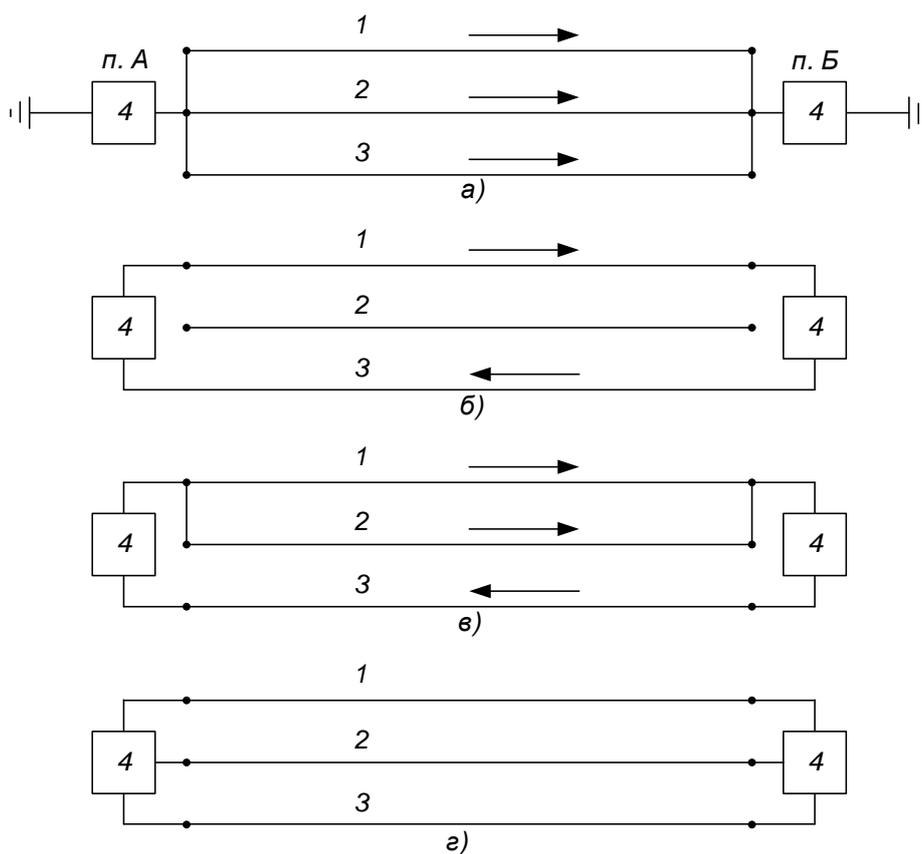


Рис.40 Упрощенные функциональные схемы подключения модемов телемеханики к ВЛ:

а - схема «три фазы - земля»; б - схема «фаза - фаза»; в - схема «фаза - две фазы»; г - схема «три фазы»

На рис.40 а модемы 4 подключены на схеме «три фазы — земля», в которой сигнал модема передачи с пункта А на пункт В передается по фазовым проводам (1—3) и возвращается в пункт А по земле.

Подобный канал телемеханики часто называют каналом нулевой последовательности.

Для подключения модемов к каналу нулевой последовательности используют либо силовые трансформаторы с выведенной нейтральной точкой линейных обмоток 0,4—10 кВ (рис.41а) либо измерительные трансформаторы напряжения (рис. 41б).

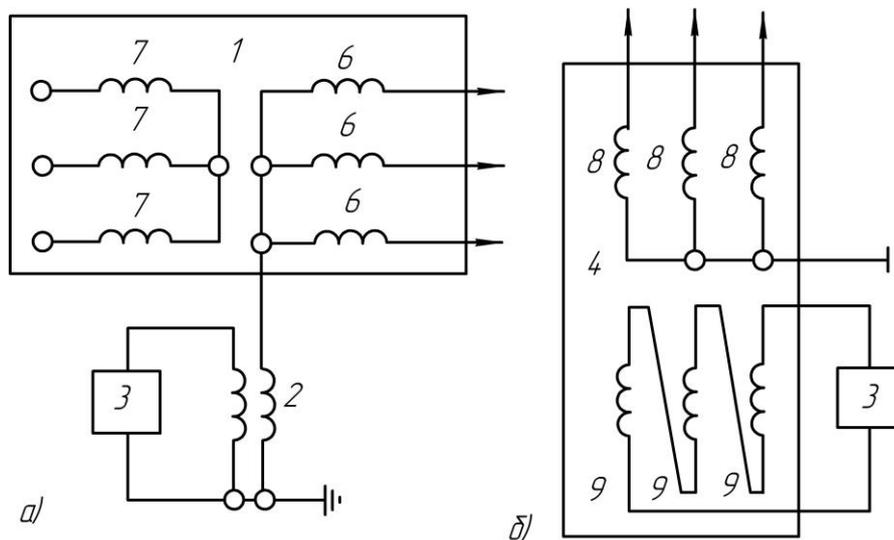


Рис. 41 а) б) Схемы подключения модема к ВЛ по схеме «три фазы — земля»

В первом случае средняя точка линейных обмоток силового трансформатора 1 заземлена через линейную обмотку трансформатора связи 2, а модем телемеханики 3 включен во вторичную обмотку трансформатора связи. При использовании в качестве элемента присоединения трехфазного измерительного трансформатора напряжения, например НТМИ-10 (рис. 41б), модем телемеханики 3 подключают к вторичным обмоткам 9, соединенным в схему разомкнутого треугольника. В схеме на рис. а сигнал с выхода модема 3 через линейную обмотку трансформатора связи 2 поступает на фазные провода ВЛ через среднюю точку линейных обмоток 6 силового трансформатора 1,

соединенных по схеме «звезда». В схеме на рис. 41 б сигнал с выхода модема поступает на вторичные обмотки 9 измерительного трансформатора 4 и трансформируется через линейные обмотки 8 на каждый фазный провод ВЛ.

Приемный сигнал с фазных проводов проходит на вход модема тем же путем, но только в обратной последовательности. На рис. 41б приведена схема подключения модема к ВЛ при междуфазном включении. В этом случае сигнал с пункта *A* передается на пункт *B* по одному фазному проводу и возвращается по другому. Модемы пунктов *A* и *B* соединены как бы двухпроводной линией, и передача сигнала осуществляется без использования земли. Такая схема подключения называется каналом «фаза — фаза». Третий фазный провод 2 в передаче сигнала не участвует.

В схеме присоединения «две фазы - фаза» передача сигнала осуществляется по тракту, образованному фазой 3 и двумя фазами (1 и 2), соединенными между собой в пунктах *A* и *B*.

При реализации схем используют различные устройства присоединения на пунктах управления (ПУ) и контролируемых пунктах (КП). Пункт управления располагается на подстанции 110/10 или 35/10 кВ, питающей распределительную сеть 10 кВ, поэтому целесообразна установка в нем многообъектного устройства телемеханики, имеющего связь с КП, расположенными на всех линиях, отходящих от данной подстанции.

На рис.41 показан силовой трансформатор 1, шины 10 кВ (2) и отходящие от шин линии 10. Передающий модем телемеханики 6 подключают к шинам 10 кВ через трансформатор связи 5 и резонансные контуры, образованные из конденсаторов связи 3 и катушек индуктивности 4. Включение резонансных контуров рассчитано на работу по схеме «фаза — фаза». Рабочими фазами являются фазы *A* и *C*. Контур, подключенный к фазе *B*, является вспомогательным, компенсирующим возможную асимметрию схемы. Контуры настроены на частоту рабочего сигнала. Рабочий сигнал модема передачи 6 через трансформатор связи 5 и резонансные контуры поступает на шины Л и С

и распространяется по фазным проводам *A* и *C* всех линий, подключенных к шинам 10 кВ данной подстанции.

Подключение к линии приемного модема осуществляют через два измерительных трансформатора тока (7), включенных в фазы *A* и *C* соответствующей линии 10 кВ. Приемный сигнал с выходных обмоток трансформаторов тока 7 поступает на вход приемного модема 9 через трансформатор связи 8. Для осуществления приема телеинформации с каждой линии, отходящей от шин подстанции, на соответствующих фазных проводах указанных линий устанавливаются свои трансформаторы тока и трансформаторы связи. Выходы всех трансформаторов связи подключены к соответствующим выходам общего модема приема. Устройства телемеханики, используемые в данных каналах, предусматривают временное разделение информационного обмена между ПУ и каждым КП.

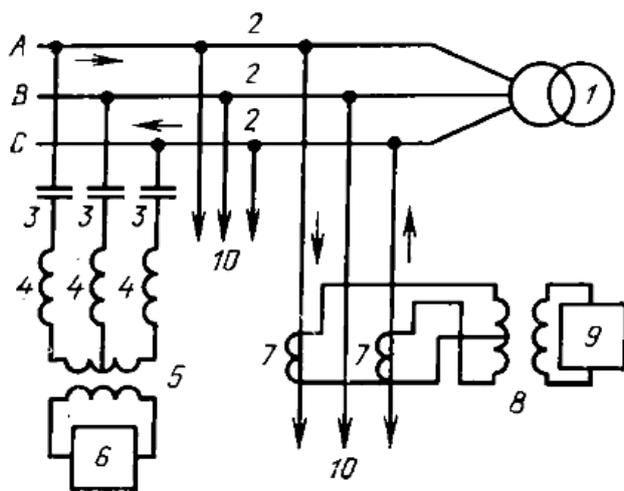


Рис.41 а Схема подключения модема к ВЛ по схеме «фаза — фаза»

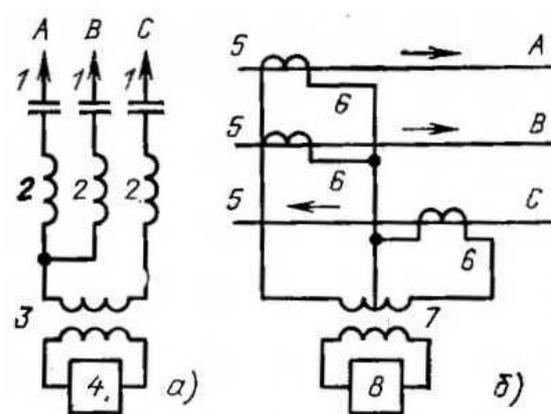


Рис. 41б Схема подключения модема к ВЛ по схеме «две фазы - фаза»

Схема присоединения модема передачи (рис.41 а) отличается от предыдущей схемы только подключением резонансных контуров (1, 2) к линейной обмотке трансформатора 3, а схема присоединения модема приема к ВЛ (рис. 41 б) отличается наличием третьего трансформатора тока 6. Сигнал с выхода модема передачи 4 поступает через трансформатор связи 3 на систему

резонансных контуров, образованных конденсаторами и катушками индуктивности 2. Все контуры настроены на рабочую частоту модема передачи. Выбранная схема подключения резонансных контуров к линейным зажимам трансформатора связи 3 обеспечивает передачу сигнала по системе «две фазы (A и B) — фаза C». Для приема сигнала по системе используются три трансформатора тока 6, каждый из которых подключен к своему фазному проводу 5 рассматриваемой линии.

Вторичные обмотки трансформаторов тока соединены с линейной обмоткой трансформатора связи 7 таким образом, что на вход модема приема 8 поступает сигнал, напряжение которого определяется суммой напряжений сигналов трех трансформаторов тока.

На контролируемых пунктах чаще всего применяется схема подключения модема со стороны обмоток низшего напряжения силового трансформатора 10/0,4 или 6/0,4 кВ. Применительно к варианту использования линейного тракта «фаза — фаза» функциональная схема подключения модема приемопередатчика на КП приведена на рис. 42

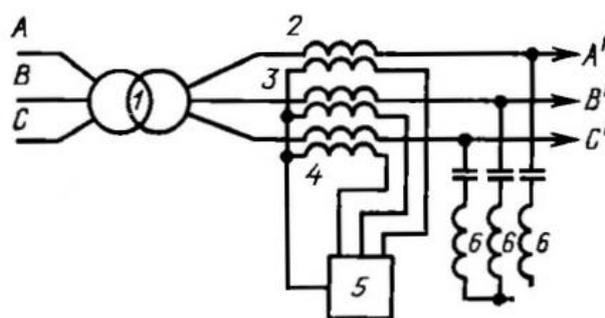
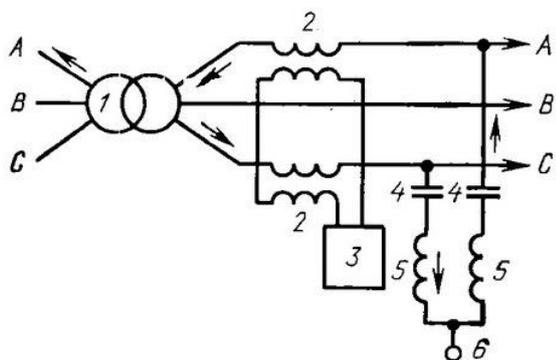


Рис. 42 Схема подключения модема на КП по схеме «фаза- фаза»

Рис.42 Схема подключения модема на КП по схеме «три фазы»

В фазные провода A и C обмоток низшего напряжения силового трансформатора 10/0,4 кВ (1) включены линейные обмотки двух трансформаторов связи (2). Вторичные обмотки этих трансформаторов включены последовательно и присоединены к выходным зажимам модема

приема-передачи 3. Для исключения влияния нагрузки трансформатора 1 на качество передачи информации предусмотрены резонансные контуры (4, 5), включенные между собой последовательно и присоединенные соответственно к фазам *A* и *C*. Оба контура настроены на рабочую частоту модема, и сопротивление их на этой частоте составляет несколько ом. Наличие контуров обеспечивает не только стабильность параметров устройства подключения в условиях изменения силовой нагрузки трансформатора 1, но и защиту канала передачи информации от проникновения в него помех со стороны потребителя электроэнергии, подключенного к сети 0,4 кВ. В тех случаях, когда в трансформаторе имеется вывод нулевой точки обмоток низшего напряжения, эту точку соединяют с зажимом б резонансных контуров. Передача сигнала от модема 3 через обмотки трансформаторов связи 2 возбуждает в фазных проводах *A* и *C* и соответствующих обмотках трансформатора 1 ток, частота которого соответствует частоте рабочего сигнала модема. Этот ток замыкается по цепи, составленной из последовательно включенных обмоток *A* и *C* трансформатора 1, линейных контуров. В трансформаторе 1 этот ток трансформируется в ток, протекающий по фазным проводам ВЛ 10 кВ.

При приеме информации на КП сигнал телемеханики с фазных проводов ВЛ 10 кВ поступает на вход модема 3, претерпевая те же самые преобразования, что и при передаче, но в обратной последовательности.

В зарубежной практике нашли применение каналы телемеханики, включенные по схеме «три фазы». В этой схеме сигнал распространяется по всем трем фазам ВЛ 10 кВ подобно току промышленной частоты, причем токи сигнала телемеханики в различных фазных проводах сдвинуты относительно друг друга по фазе на 120° . Для обеспечения этого требования применяются специальные модемы телемеханики 5, имеющие три пары линейных зажимов. Подключение выполняется со стороны сети 0,4 кВ (*A'*, *B'*, *C'*) с помощью трехфазного трансформатора связи, линейные обмотки которого (2, 3 и 4) включены соответственно в проводе вторичных обмоток силового трансформатора 10/0,4 кВ (1).

Резонансные контуры б, настроенные на частоту рабочего сигнала модема 5, обеспечивают стабильную работу канала телемеханики в условиях меняющейся нагрузки сети 0,4 кВ и уменьшают воздействие помех, возникающих в нагрузке, на качество передачи сигнала телемеханики.

В зависимости от конкретного исполнения устройств системы телемеханики по проводам ВЛ 10 кВ подразделяются на системы телесигнализации (СТС), системы телеуправления (СТУ), системы телеуправления — телесигнализации (СТУ — ТС) и системы СТУ — ТС — ТИ, обеспечивающие организацию полного телеинформационного комплекса. В зависимости от схемы используемых модемов каналы телемеханики могут быть симплексными, дуплексными и полудуплексными. Симплексные каналы используются в СТС и СТУ, дуплексные каналы, в которых передача и прием информации осуществляются на разных рабочих частотах, используются в СТУ — ТС и СТУ — ТС — ТИ. Полудуплексные каналы телемеханики предусматривают передачу телемеханической информации с ПУ на КП и в обратном направлении на одной и той же частоте рабочего сигнала. В этом случае применяется временное разделение направлений передачи информации. Каналы телемеханики в сетях 0,4—10 кВ выполняются, как правило, с использованием модемов ТМ — АМ при передаче в линию несущей и двух боковых полос частотного спектра модулированного сигнала (АМ — ДБП). В некоторых типах модемов используется принцип фазовой модуляции несущего сигнала (ТМ — ФМ), однако широкого применения эти модемы в настоящее время еще не получили.

При передаче информации по ВЛ 0,4—10 кВ на тональных частотах приходится считаться с наличием селективных помех, обусловленных гармоническими составляющими тока промышленной частоты. Источниками этих помех являются нелинейность трансформаторов 10/0,4 кВ, а также нелинейные нагрузки (дуговые печи, преобразователи тока, тиристорные регуляторы, телевизоры и т. д.) потребителей. Амплитуды напряжения помех имеют ярко выраженную частотную зависимость. Наибольшие амплитуды в

диапазоне частот от 100 до 1000 Гц имеют помехи, по частоте соответствующие нечетным гармоникам тока промышленной частоты. Напряжение четных гармоник промышленного тока в этом же диапазоне частот обычно в 5—10 раз меньше амплитуды напряжения рядом расположенной нечетной гармоники. Рабочие частоты каналов телемеханики при работе в диапазоне частот от 100 до 3000 Гц расположены между частотами гармонических помех промышленного тока, и для защиты от воздействия этих помех в приемных модемах применяют узкополосные фильтры с полосой пропускания 10—15 Гц. Для увеличения избирательности фильтра по частоте нечетной гармоники промышленного тока среднюю частоту полосы пропускания фильтра сдвигают в сторону частоты четной гармоники.

Коэффициент несинусоидальности промышленного тока в электрических сетях 10 кВ зависит от назначения этих сетей. В зависимости от характера производства в электрических сетях промышленного назначения коэффициент несинусоидальности лежит в пределах от 5 до 12%, в городских электрических сетях 4—5%, а в сельских электрических сетях 2—3%. При организации каналов телемеханики на частотах свыше 600 Гц считают, что уровень гармоник на шинах 10 кВ не превышает 0,1% номинального напряжения сети, а на стороне 0,4 кВ уровень гармонических помех составляет 0,4—0,7% номинального напряжения.

При оценке качества линейного тракта канала телемеханики по распределительным электрическим сетям 0,4—10 кВ часто используют понятие коэффициента передачи K .

Различают коэффициент передачи по напряжению K_u/i , коэффициент передачи по току K_i/i , коэффициент передачи по напряжению и току K_u/i , и коэффициент передачи по току и напряжению K_i/U

Линейный тракт по распределительным сетям 0,4—10 кВ может быть представлен в виде последовательного включения четырехполосников, являющихся эквивалентами линии электропередачи, силового трансформатора, измерительного трансформатора, компенсирующих конденсаторов и т. д.

Коэффициент передачи сигнала в столь сложной схеме определяется как произведение коэффициентов передачи элементов, составляющих линейный тракт. Канал нулевой последовательности (КНП) («три фазы — земля») оценивается коэффициентом передачи по назначению. КНП используется в электрических сетях с изолированной нейтралью при подключении модемов передачи и приема к ВЛ через трансформаторы. Передача информации осуществляется в тональном и подтональном диапазонах частот. Преимуществами данного вида канала телемеханики являются простота присоединения к ВЛ, небольшая мощность модемов передачи (<4 Вт), обусловленная тем, что в КНП передаваемый информационный сигнал не шунтируется элементами оборудования высокого напряжения. Недостатком КНП является малая помехозащищенность в условиях возникновения замыкания фазы ВЛ на землю. Указанный недостаток значительно ограничивает область применения КНП. Наибольшее распространение получили системы телемеханики, использующие линейные тракты «фаза — фаза» или «фаза — две фазы». Для оценки этих трактов в зависимости от конкретного выполнения устройств присоединения используются коэффициенты передачи по току или смешанные коэффициенты передачи (напряжение — ток, ток — напряжение). Преимуществом систем передачи телеинформации по фазным проводам без использования земли является повышенная помехозащищенность в условиях замыкания ВЛ на землю. Недостатками этих систем являются сравнительно сложное исполнение устройств присоединения и необходимость использования модемов передачи большой мощности (300—1000 Вт). На базе рассматриваемых линейных трактов в энергосистемах выполнены системы телесигнализации, телеуправления и циркулярного телеуправления (ЦТУ). Циркулярное телеуправление предусматривает управление энергообъектами, расположенными в глубине электрической сети, со стороны центрального пункта управления не только в нормальных, но и в аварийных ситуациях. К ЦТУ предъявляются повышенные требования надежности выполнения команд. Для работы ЦТУ используется симплексный канал, связывающий передатчик ЦТУ, расположенный в ПУ, с

приемниками ЦТУ, расположенными в любой точке управляемой электрической сети. Приемник ЦТУ выполняется с учетом исполнения двух-трех команд телеуправления, связанных с коммутацией оборудования низкого напряжения, расположенного в пункте его установки. Повышение надежности ЦТУ обеспечивается применением высокоизбирательных фильтров в устройствах приема и увеличением мощности управляющего сигнала. В зарубежной практике используются ЦТУ, мощность управляющего сигнала которых на выходе передатчика составляет 0,4—0,5% мощности управляемой сети

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В пособии сформулированы основные задачи, решение которых необходимо для реализации оперативного мониторинга состояния, в том числе оперативный анализ топологии электрической сети, разработка и модернизация информационных комплексов, использование режимных моделей в процессе мониторинга, проработка и мониторинг оперативных ремонтных заявок, мониторинг готовности оперативного персонала и разработка средств контроля и повышения этой готовности.

Рассмотрены принципы построения экспертных систем в оперативно-диспетчерском управлении энергетическими объединениями и электросетями. Показано, что использование этих принципов особенно эффективно в условиях отечественных энергообъединений и электросетей.

Показаны возможности использования тренажеров в режиме «советчиков» оперативного персонала при планировании различных операций, воздействующих на объект управления. В перспективе эти тренажеры могут использоваться как «советчики» в контуре оперативного управления, что имеет чрезвычайно большое значение для оперативного мониторинга надежности ЕЭС/ЕНЭС.

Показана типовая структура комплекса технических средств на базе технологии «клиент-сервер», на основе которой построены разработанные во ВНИИЭ комплексы ОИК АСДУ «Диспетчер» и ДС-Альфа с гетерогенной структурой.

Применительно к системе «клиент-сервер» дана типовая функциональная структура программного обеспечения комплекса, ориентированная на современные открытые технологии обработки данных.

Разработаны формальные обобщенные алгоритмы первичной и вторичной обработки данных в телемеханических комплексах, позволяющие унифицировать технические требования и организовать единую систему сертификации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Скляр, О. К. Волоконно-оптические сети и системы связи [Текст] : учеб.пособие /О. К. Скляр. - 2-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2010. - 272 с. : ил. - (Учебники для вузов. Спец. лит.). - Библиогр. : с. 254.
2. Калентионок, Е. В. Оперативное управление в энергосистемах [Текст] : учеб.пособие / Е. В. Калентионок, В. Г. Прокопенко, В. Т. Федина ; под ред. В. Т. Фебина. - Минск : Вышэйш. шк., 2007. - 351 с. : рис. - Библиогр.: с. 347.
3. Курицын, С. А. Телекоммуникационные технологии и системы [Текст] : учеб.пособие / С. А. Курицын. - М. : Академия, 2008. - 300 с. - (Высшее проф. образование. Радиотехника).
4. Акулиничев, Ю. П. Теория электрической связи [Текст] : учеб.пособие : рек. УМО / Ю. П. Акулиничев. - СПб. : Лань, 2010. - 234 с. : ил. - (Учебники для вузов. Спец. лит.). - Библиогр. : с. 230.
5. Митюшкин, К. Г. Телеконтроль и телеуправление в энергосистемах [Текст] : учеб.пособие / К. Г. Митюшкин. - М. : Энергоатомиздат, 1990. - 288 с. - Предм. указ.: с. 281.
6. Бурденков, Г. В. Автоматика, телемеханика и передача данных в энергосистемах [Текст]: учеб. / Г. В. Бурденков, А. И. Малышев, Я. В. Лурье. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 336 с.
7. Справочник по проектированию систем передачи информации в энергетике [Текст] / С. С. Агафонов, Б. А. Жучков, И. И. Цитвер; под ред. В. Х Ишкиной. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 264 с.
8. Шандров, Б. В. Технические средства автоматизации [Текст] : учеб.: рек. Мин. обр. РФ / Б. В. Шандров, А. Д. Чудаков. - М.: Академия, 2007. - 362 с.: рис. - (Высшее проф. образование. Автоматизация и управление). - Библиогр. : с. 358 .
9. Рачков, М. Ю. Технические средства автоматизации [Текст] : учеб. : рек. УМО / М.Ю. Рачков. - 2-е изд., стер. - М. : Изд-во Моск. индустриального ун-та, 2009. - 186 с. : рис., табл. - Библиогр. : с. 178 . - Предм. указ. : с. 180 .
10. Мясоедов, Юрий Викторович. Альбом схем и диаграмм по предмету "Телемеханика" [Текст] : учеб.-метод. пособие / Ю. В. Мясоедов, С. В. Лушников ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск : Изд-во Амур.гос. ун-та, 1998. - 70 с. : рис., табл. - Библиогр.: с. 68.
11. Технические средства диспетчерского и технологического управления [Текст] : учеб.-метод. комплекс для спец. 140203 - Релейная защита и автоматизация / АмГУ, Эн.ф. ; сост. Ю. В. Мясоедов. - Благовещенск : Изд-во Амур.гос. ун-та, 2006. - 271 с.

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Мясоедов Юрий Викторович,

профессор кафедры энергетики АмГУ, канд. техн. наук.

Мясоедова Лариса Анатольевна,

Старший преподаватель кафедры энергетики АмГУ.

Подгурская Ирина Геннадьевна,

Старший преподаватель кафедры энергетики АмГУ.

Технические средства диспетчерского и технологического управления.
Учебное пособие.

Издательство АмГУ. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 7, 1875. Заказ 610