

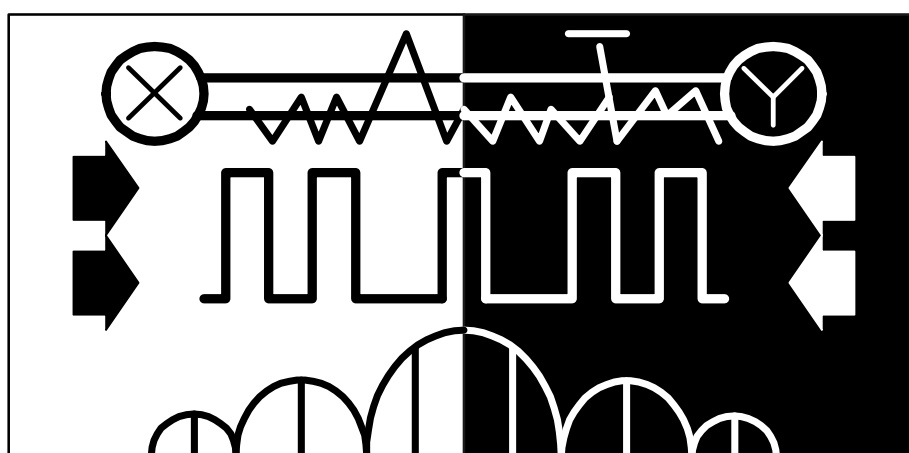
Н.И. Сорока, Г.А. Кривинченко

ТЕЛЕМЕХАНИКА

Конспект лекций
для студентов специальности
1-53 01 07 «Информационные технологии и управление
в технических системах»
всех форм обучения

Часть 4

Системы телемеханики



Минск

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивное развитие народного хозяйства требует прогрессивных сдвигов в его структуре, разработки и внедрения новых методов производства и управления. В этой связи все большую роль начинают играть комплексная механизация и автоматизация производственных процессов. Одной из существенных сторон этой большой и сложной задачи является проблема сбора, передачи и обработки информации, необходимой как непосредственно для управления процессом производства, так и для решения связанных с ним научно-технических вопросов.

В решении этой сложной комплексной задачи важную роль играют телемеханические методы контроля и управления. В ряде случаев телемеханические системы становятся незаменимым средством при важнейших научных исследованиях. Так, благодаря применению телеметрических систем значительно облегчается исследование земных глубин, становится возможным детальное изучение процессов, протекающих на труднодоступных объектах.

Исключительное значение приобрела радиотелеметрия, с помощью которой можно получить информацию при исследованиях верхних слоев атмосферы и космоса, при испытаниях движущихся объектов, самолетов, космических кораблей, автомобилей и т.п. Развитие новых областей и научных исследований постоянно расширяет круг задач, решаемых радиотелеметрическими методами, предъявляет все более высокие требования к точности, надежности, быстродействию и экономичности телемеханической аппаратуры.

Наряду с этими требованиями развитие науки и техники ставит телемеханике новые, все более сложные задачи и в отношении характера исследуемых физических процессов. Особую важность приобретает исследование быстропротекающих процессов и передача широкополосных сигналов.

При проектировании телемеханической аппаратуры наряду с требованиями точности и надежности важную роль имеют и такие факторы, как экономичность, малогабаритность и малое потребление энергии.

Целью настоящего конспекта является ознакомление студентов с принципами построения систем телеизмерения, телеуправления, телерегулирования и передачи дискретных сообщений.

Конспект будет полезен как при изучении теоретических основ телемеханики, так и при разработке конкретных систем телемеханики.

1. ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЕ

1.1. Основные понятия. Классификация

Телеизмерение (ТИ) – получение информации о значениях измеряемых параметров контролируемых и управляемых объектов методами и средствами телемеханики (ГОСТ 26.005-82). Таким образом, телеизмерение определяется как область автоматических измерений на расстоянии через каналы связи без непосредственного участия человека в процессе измерения. ТИ как область техники и технических наук одновременно является частью измерительной техники и телемеханики. В связи с этим в ТИ развиваются и применяются одновременно методы и технические средства измерений и телемеханика. Телеизмерение отличается от обычных электрических измерений, которые не могут быть применены для измерения на расстоянии вследствие возникновения погрешностей из-за изменения параметров линии связи, окружающей среды и действия помех. Даже если бы указанные погрешности находились в допустимых пределах, передача большого числа показаний потребовала бы большого числа проводов. Кроме того, в некоторых случаях (передача измерения с подвижных объектов – самолетов, спутников, ракет и др.) обычные методы принципиально не могут быть использованы. Методы телеизмерения позволяют уменьшить погрешность при передаче измеряемых величин на большие расстояния, а также многократно использовать линию связи. Сущность телеизмерения заключается в том, что измеряемая величина, предварительно преобразованная в ток или напряжение, дополнительно преобразовывается в сигнал, который затем передается по линии связи. Таким образом, передается не сама измеряемая величина, а эквивалентный ей сигнал, параметры которого выбирают так, чтобы искажения при передаче были минимальными.

Структурная схема телеизмерения приведена на рис. 1.1.

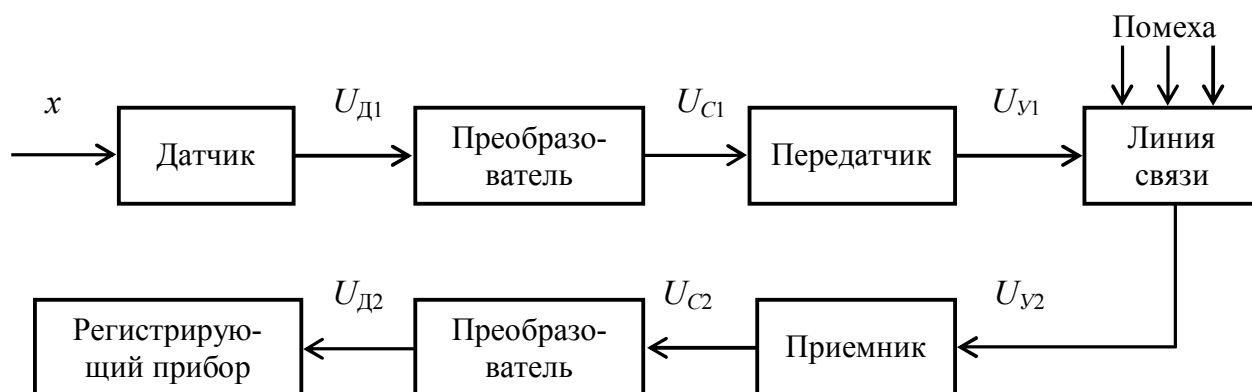


Рис. 1.1. Структурная схема телеизмерения

Измеряемая величина X (давление, влажность, уровень, скорость, вибрация и т.п.) преобразуется с помощью датчика (первичного преобразователя) в электрическую величину $U_{д1}$ (ток, напряжение, сопротивление, емкость, индуктивность). Сигнал с выхода датчика не может быть непосредственно использован для передачи по информационному каналу. В таких случаях выходные сигналы от датчиков подаются на каналные преобразователи, где преобразуются к единому (унифицированному) параметру $U_{с1}$ (напряжение 0...5 В, напряжение 0...10 В, ток 0...100 мА), принятому для данной системы. Параметр $U_{с1}$ преобразуется в передатчике методом кодирования и модуляции в параметр сигнала U_{v1} , пригодный для передачи по линии связи. Следовательно, передатчик согласовывает параметр $U_{с1}$ с линией (каналом) связи. На приемной стороне сигнал U_{v2} (он отличается от U_{v1} за счет воздействия помех в линии связи) поступает на вход приемника и преобразуется (демодулируется и декодируется) в величину $U_{с2}$, которая приемным преобразователем преобразуется в значение тока или напряжения, которое эквивалентно измеряемой величине и воспроизводит ее на регистрирующем приборе. Совокупность технических средств на передающей, приемной сторонах и канале связи, необходимых для автоматического измерения одного или ряда параметров на расстоянии, включая датчик и регистрирующий прибор, называется **телеизмерительной системой (СТИ)**. А технические средства, предназначенные для осуществления телеизмерений путем ряда автоматических преобразований и передачи сигналов через канал связи, называются **телеизмерительным устройством**. Процесс телеизмерения производится **без непосредственного участия человека**.

Различают телеизмерение по вызову и по выбору, текущих и интегральных значений.

Телеизмерение по вызову – телеизмерение по команде, посылаемой с пункта управления (ПУ) на контролируемый пункт (КП) и вызывающей подключение на КП передающих устройств, а на ПУ – соответствующих приемных устройств. Телеизмерение по вызову позволяет использовать одну линию связи (канал телеизмерения) для поочередного наблюдения за многими объектами телеизмерения. Диспетчер с помощью отдельной системы телеуправления может подключать к каналу ТИ желаемый объект ТИ. На ПУ показания можно наблюдать на общем выходном приборе. Если показания имеют различные шкалы, то измеряемые величины подключаются к разным приборам. При ТИ по вызову можно применять автоматический опрос объектов ТИ циклически по заданной программе.

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

Телеизмерение текущих параметров (ТИТ) – получение информации о значении измеряемого параметра в момент опроса устройством телемеханики.

Телеизмерение интегральных значений (ТИИ) – получение информации об интегральных значениях измеряемых величин, проинтегрированных по заданному параметру, например времени, в месте передачи.

1.1.1. Характеристики систем ТИ. Основной характеристикой СТИ является точность. Точность характеризуется статической погрешностью, или просто погрешностью.

Погрешность – степень приближения показаний приемного прибора к действительному значению измеряемой величины. Согласно ГОСТ 26.205-83, классы точности каналов ТИ должны быть установлены для устройств и комплексов при цифровом и аналоговом воспроизведении измеряемых параметров из следующего ряда: 0,15; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5. Основная приведенная погрешность устройства ТИ в процентах от конечного значения рабочей части шкалы выходного прибора не должна превышать указанных значений классов точности. Так, для класса точности 1,0 основная приведенная погрешность $\delta \leq 1\%$.

Различают абсолютную Δ , относительную $\delta_{отн}$ и приведенную $\delta_{пр}$ погрешности:

$$\Delta = x_u - x_d; \delta_{отн} \% = \Delta \cdot 100 / x_d; \delta_{прив} \% = \Delta \cdot 100 / (x_{max} - x_{min}), \quad (1.1)$$

где x_d – действительное значение телеизмеряемой величины (измеряемое образцовым прибором);

x_u – измеренное значение (показания регистрирующего прибора);

x_{max} , x_{min} – предельное значение измеряемой величины (по шкале регистрирующего прибора).

Основная погрешность зависит от принципа действия, конструкции и технологии изготовления устройства ТИ, определяемая при нормальных условиях. Это соответствует номинальному напряжению и частоте, отсутствию помех, работе при температуре окружающего воздуха $20 \pm 3^\circ\text{C}$ и относительной влажности 30...80 %, отсутствию внешних и других полей, нехарактерных для нормальных условий, и т.п.

Дополнительные погрешности вызываются различными отклонениями от нормальных условий работы.

Согласно ГОСТ 26.205-83, допускается отклонение напряжения питания от плюс 10 до минус 15 % (класс устройств АСЗ) и от плюс 15 до минус 20 % (класс устройств АСИ) от номинальных параметров питания. Номинальные параметры питания устройств от электрических сетей переменного тока частотой 50 Гц должны быть следующие: напряжение однофазной сети – 220 В; напряжение трехфазной сети – 220/380 В. Допускается отклонение частоты 50 Гц от плюс 2 до минус 2 % (класс 3) и от плюс 5 до минус 5 % (класс 4). Устройства должны выполнять заданные функции при отклонениях уровня сигнала на

входе приемного устройства на плюс 50 и минус 50 % от номинального значения входного сигнала.

Телеизмеряемые величины должны воспроизводиться аналоговым или цифровым прибором в абсолютных значениях измеряемых величин. Это значит, что если передаваемая величина выражается в тоннах, то прибор на приемной стороне должен быть отградуирован в тоннах. Лишь в особых случаях допускается воспроизведение в процентах.

Устройство ТИ состоит из многих преобразователей, усилителей и других узлов, включенных последовательно и работающих в различных во многих случаях независимых между собой условиях. Тогда средняя квадратичная погрешность системы равна

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \dots + \delta_n^2},$$

где δ_i – значение средней квадратической погрешности i -го преобразователя или последовательно включенного блока.

Результирующая погрешность преобразователей или узлов, включенных последовательно, для которых погрешности имеют между собой стопроцентную корреляцию, равна алгебраической сумме:

$$\delta_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \delta_i. \quad (1.2)$$

Для устройств телеизмерений в ряде случаев определяется только погрешность телепередачи, в которую не входят погрешность первичных преобразователей и погрешности регистрирующих устройств.

Одним из существенных источников погрешностей для многих устройств ТИ являются помехи в канале связи. Помехоустойчивость устройств телеизмерений оценивается по средней квадратической $\delta_{ск}$ и средней $\delta_{ср}$ погрешностям [1]. Для случайных непрерывных величин они характеризуются интегральными выражениями:

$$\delta_{ср} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} \delta(t) dt; \quad \delta_{ск} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} (\delta(t) - \delta_{ср})^2 dt. \quad (1.3)$$

где T – время наблюдения;

$\delta(t)$ – мгновенное значение приведенной погрешности.

При слабых флуктуационных помехах преобладает средняя квадратическая погрешность, в то время как при сильных флуктуационных помехах может преобладать средняя помеха.

К важнейшим характеристикам устройства ТИ относятся время установления показаний ТИ, называемое **быстродействием** и определяемое как интервал между моментом скачкообразного изменения ТИ параметра и моментом, начиная с которого показания воспроизводящего и записывающего прибора

достигает нового значения с заданной погрешностью (обычно $\pm 2\%$ установленного значения). Допустимое время установления в промышленных устройствах ТИ $T_{\text{дон}} = 3 \dots 5$ с. По времени установления показаний системы телеизмерений делятся на три группы: со временем установления показаний до 1 с, от 1 до 4 с и более 4 с. Погрешность, возникающая во время установления показаний, обусловлена наличием в тракте ТИ узкополосных фильтров, инерционных и интегрирующих звеньев, а в дискретных и кодовых (цифровых) устройствах – также временем прямого и обратного преобразований непрерывного сигнала в цифровой эквивалент, периодичностью отсчетов в циклических системах ТИ и временем передачи.

При квантовании возникает **погрешность квантования**, определяемая шагом квантования ΔU . При равномерном квантовании максимальное значение приведенной погрешности:

$$\delta_{\text{прив}} \% = \frac{\Delta U \cdot 100}{2(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})} = \frac{1 \cdot 100}{2(N-1)} = \frac{50}{2^n - 1}, \quad (1.4)$$

где $x_{\text{max}} - x_{\text{min}}$ – диапазон измерения параметра;

N – число интервалов квантования;

n – число разрядов двоичного кода.

1.1.2. Суммирование измеряемых величин. В системах телеконтроля в ряде случаев возникает задача суммирования измеряемых величин на передающей и приемной стороне. Суммирование необходимо, например, при ТИ суммарной мощности пространственно рассредоточенных электростанций или потребителей электроэнергии, суммарного расхода воды, нефти, газа и т.п.

Для уменьшения числа телеизмеряемых параметров суммирование целесообразно применять на приемной стороне. Однако это удастся осуществить только на крупных сосредоточенных пунктах. При рассредоточенных пунктах суммирование телеизмеряемых величин производится на приемной стороне. В процессе суммирования измеряемые величины x (см. рис. 1.1) преобразуются в соответствующие вспомогательные величины $U_{\text{д}}$, так что

$$U_{\text{д1}} = f_1(x_1); U_{\text{д2}} = f_2(x_2); \dots; U_{\text{дn}} = f_n(x_n). \quad (1.5)$$

Для суммирования необходимо выполнить условие

$$\sum_{i=1}^n U_{\text{дi}} = K \sum_{i=1}^n x_i. \quad (1.6)$$

Это условие выполняется, если зависимость между $U_{\text{д1}}$ и x линейная:

$$U_{\text{дi}} = f_i(x)_i = K_i A_i, \quad (1.7)$$

где K_i – постоянный коэффициент, при этом все коэффициенты равны между собой, т.е.

$$K_1 = K_2 = \dots = K_n = K. \quad (1.8)$$

Коэффициент K называется постоянной суммирования. Очевидно, что

$$\sum_{i=1}^n U_{\text{д}i} = \sum_{i=1}^n K(x_1 + x_2 + \dots + x_n) = K \sum_{i=1}^n x_i. \quad (1.9)$$

Для суммирования наиболее часто используются такие вспомогательные величины, как электрический ток или напряжение и число импульсов (кодовые комбинации).

1.1.3. Классификация систем телеизмерения. Все системы могут быть **одноканальными**, когда по одной линии связи передается только одно измерение, и **многоканальными**, когда по одной линии связи передается много измерений (**классификация по числу измеряемых величин**). Многоканальность достигается с помощью частотного и временного способов разделения сигналов.

По методам воспроизведения измеряемой величины системы ТИ подразделяются на аналоговые и цифровые. К аналоговым системам относятся системы, у которых сигналы модулированы с помощью непрерывных и импульсных модуляций. В аналоговых системах может применяться дискретизация по времени, но отсутствует квантование по уровню. В аналоговых системах регистрация сигнала осуществляется, как правило, в аналоговой форме электроизмерительными приборами. В случае, когда необходимо произвести обработку результатов на ЭВМ, на приемной стороне производится преобразование в цифровой эквивалент с помощью аналого-цифровых преобразователей (АЦП). Наибольшее применение находят цифровые системы, где телеизмеряемый параметр преобразуется в цифровой эквивалент. Преимущества этих систем приведены во введении [2]. В настоящее время широкое применение находят системы с кодоимпульсной модуляцией и сложными (псевдослучайными) сигналами.

Системы ТИ можно классифицировать по виду программы, по которой они работают. Подавляющее большинство СТИ работают по жесткой (заранее заданной) программе, по которой передаются все измеряемые сообщения независимо от того, несут ли они информацию получателю или являются избыточными. В настоящее время широко применяются адаптивные телеизмерительные системы, автоматически изменяющие программу работы в зависимости от изменения характеристик передаваемых сообщений и внешних условий.

По температурным условиям устройства ТИ делятся на три группы: **для производственных помещений, закрытых неотапливаемых помещений и для установки на открытом воздухе.**

В зависимости от **вида используемого** канала связи различают **радио, проводные** (в том числе **волоконно-оптические**) и **гидроакустические** телеметрические системы.

Различают телеметрические системы **военного** и **промышленного назначения**, а также используемые для проведения **научных исследований**.

По **помехоустойчивости** системы делятся на три категории (табл. 1.1).

По **надежности** системы ТИ делятся на три категории (табл. 1.2).

Следует отметить, что иногда телеметрические системы бывают составной частью более крупных систем и комплексов (например, в космических комплексах, комплексах для трубопроводного транспорта, в комплексах для энергосистем). Однако имеются области науки, техники и народного хозяйства, в которых телеметрические системы применяются как отдельные самостоятельные системы. К таким областям относятся авиационная и ракетно-космическая техника, океанология и морская техника, промышленность, метеорология, геофизика, медицина и т.п.

Таблица 1.1

Требования к достоверности систем ТИ

Вероятностные характеристики	Вероятность P события не более		
	Категории систем		
	1	2	3
Вероятность трансформации сообщений ТИ	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}
Вероятность трансформации отсчета кодового ТИ	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}

Таблица 1.2

Требования к надежности систем ТИ

Характеристики по надежности	Категории систем		
	1	2	3
Наработка на отказ, ч.	не менее 10 000	не менее 5000	не менее 2500

1.2. Телеметрические системы с частотным разделением каналов

Сущность частотного разделения каналов (ЧРК) состоит в том, что в пределах спектра частот, выделяемого для данной телеметрической системы, выбираются некоторые постоянные частоты $F_{пл} - F_{пн}$, называемые поднесущими частотами. Каждая поднесущая частота модулируется (первичная модуляция) сигналом U_{ci} , передаваемым по этому каналу. При этом около каждой поднесущей частоты образуется соответствующий спектр частот. Ширина спектра в каждом канале ΔF_i определяется частотным спектром телеметрируемой величины и используемым способом модуляции.

Условное распределение спектра поднесущих частот по информационным каналам системы ТИ приведено на рис. 1.2.

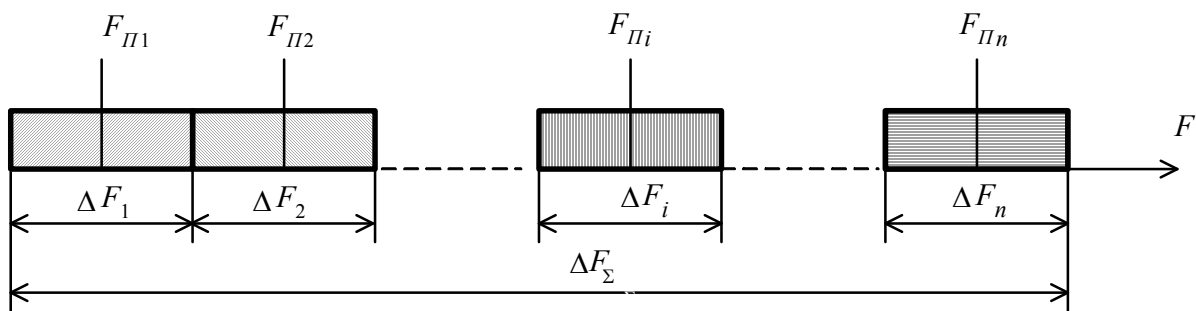


Рис. 1.2. Пример распределения спектра поднесущих частот по информационным каналам

Поднесущие частоты разносятся таким образом, чтобы при их модуляции и объединении каналов не произошло заметного наложения спектров сигналов соседних каналов.

Промодулированные поднесущие колебания всех каналов подводятся к сумматору и после преобразования передаются по общему каналу к радиопередатчику. Суммарный сигнал используется для модуляции высокочастотных колебаний передатчика (вторичная модуляция). Вторичная модуляция применяется в случаях, описанных в подразделе 4.4 [3].

На приемной стороне после детектора устанавливается система фильтров, с помощью которых происходит разделение модулированных сигналов поднесущих частот по соответствующим каналам. Число фильтров, каждый из которых настроен на одну из поднесущих частот, обычно соответствует числу каналов. Выделенные фильтрами модулированные колебания поднесущих частот подвергаются демодуляции. При этом в качестве демодулирующих устройств на приемной стороне используются соответственно амплитудный, частотный или фазовый детекторы.

Структурные схемы КП и ПУ многоканальной телеметрической системы с ЧРК приведены на рис. 1.3 и 1.4 соответственно.

Выходные электрические сигналы датчиков (первичных преобразователей), воспринимающих и преобразующих измеряемые величины, поступают на вход преобразователей, где они преобразуются к единому электрическому сигналу (нормируются), принятому для данной телеметрической системы и через фильтр нижних частот (ФНЧ) поступают на первичные (канальные) модуляторы (М). ФНЧ устраняют высокочастотные выбросы сигнала, поступающего от датчика, которые возникают из-за переходных и других процессов во входных цепях и тем самым устраняют перемодуляцию генераторов поднесущих. Конструктивно ФНЧ может находиться в преобразователе-нормализаторе. На второй вход канальных М поступают сигналы от генераторов поднесущих частот. Модуляция в этом случае может быть амплитудной (АМ), частотной (ЧМ) или фазовой (ФМ). Сигналы с выхода канальных модуляторов поступают на

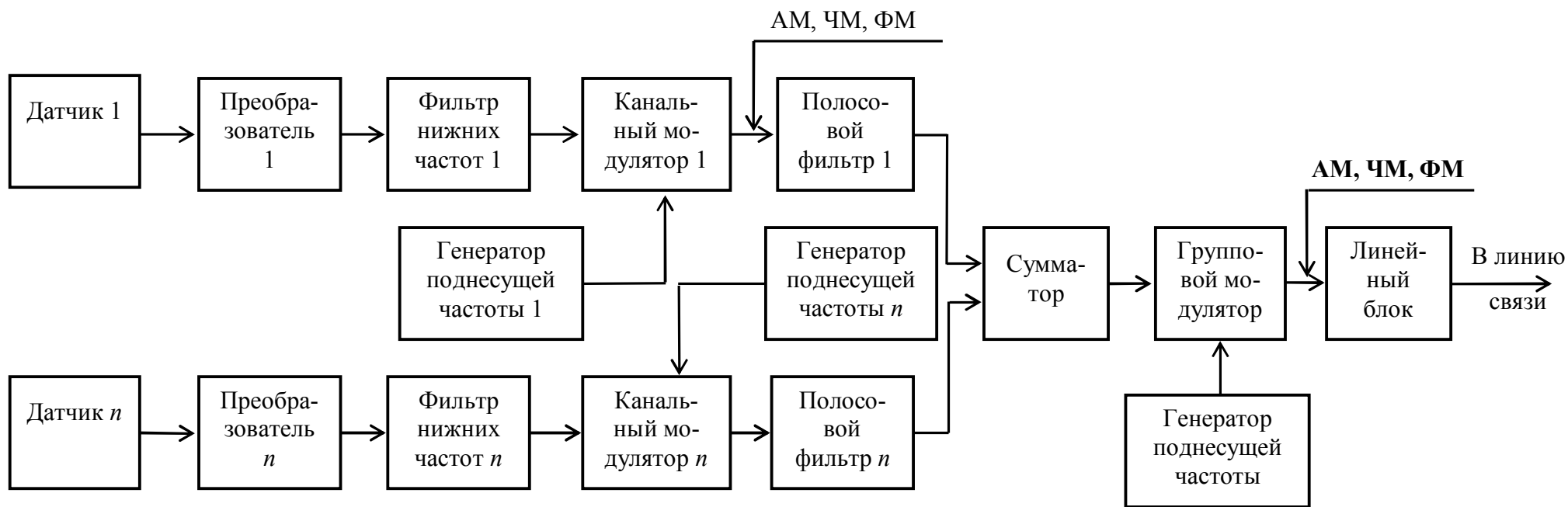


Рис. 1.3. Структурная схема КП телеметрической системы с ЧРК

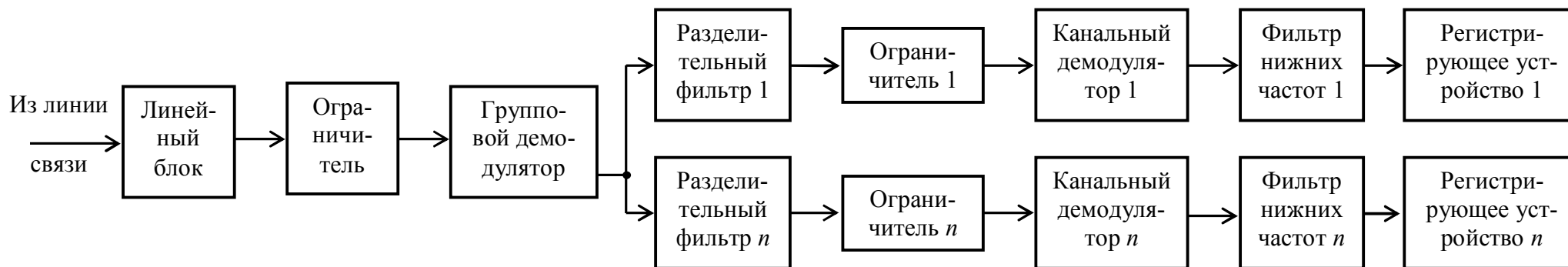


Рис. 1.4. Структурная схема ПУ телеметрической системы с ЧРК

вход полосовых фильтров, резонансная частота которых равна частоте генераторов поднесущих, а полоса частот определяется видом первичной модуляции. Сигналы с выхода канальных полосовых фильтров подаются на схему суммирования, где они смешиваются, а затем поступают на групповой модулятор, где осуществляется вторичная модуляция, и после этого через линейный блок поступают в линию связи, которая может быть как радио, так и проводная. Линейный блок (ЛБ) служит для согласования выходных параметров передатчика с параметрами линии связи.

На ПУ сигнал из линии связи поступает на вход ЛБ, который согласовывает выходные параметры линии связи с входными параметрами приемника. Если на второй ступени применялись ЧМ и ФМ, то перед групповым демодулятором (ДМ) помещают ограничитель, который устраняет паразитную амплитудную модуляцию, возникающую в линии связи из-за воздействия помех. Групповым демодулятором освобождаемся от несущей частоты, и на выходе образуется напряжение, подобное тому, которое действует на входе группового модулятора (см. рис. 1.3). Этот сигнал, спектр которого охватывает спектры частот всех каналов, подается на входы всех (разделительных) фильтров, настроенных соответственно на частоты поднесущих $F_{П1} \dots F_{Пn}$, а полоса частот определяется видом модуляции на первой ступени. Каждый из полосовых фильтров пропускает в основном составляющие спектра частот только соответствующего ему канала, отфильтровывая сигналы всех других частот. Таким образом, с помощью полосовых фильтров производится разделение сигналов по информационным каналам на приемной стороне. За счет несовершенства амплитудно-частотных характеристик полосовых фильтров имеет место взаимное перекрытие их частотных характеристик, что приводит к проникновению сигналов из одних каналов в другие (переходные искажения). На выходе полосовых канальных фильтров устанавливаются демодуляторы (детекторы). Назначение канальных ограничителей соответствует назначению ограничителя, установленного перед групповым демодулятором. В результате вторичного детектирования (демодуляции) каждого из полученных сигналов демодулятора формируются напряжения, отображающие в некотором масштабе сигналы измерительных преобразователей. Эти сигналы через ФНЧ, которые служат для увеличения отношения сигнал/шум, записываются регистрирующим устройством. Таким образом, разделительные фильтры и демодуляторы составляют декодер телеметрической системы с ЧРК.

Из рассмотрения структурной схемы аналоговой телеметрической системы с ЧРК видно, что основными элементами телеметрической системы являются элементы передатчика и приемника (групповой модулятор, генератор несущей частоты, линейные блоки, групповой демодулятор), канальные модуляторы, генераторы поднесущих колебаний, полосовые фильтры, ограничители, демодуляторы, фильтры нижних частот и регистрирующие устройства. Модуляторы и демодуляторы достаточно полно изложены в [3]. Регистрирующие устройства могут быть индивидуальные, устанавливаемые в каждом канале, и многоканальные (например самописцы). Для калибровки показаний регистри-

рующих устройств, которые могут изменяться из-за изменения условий распространения сигналов, может производиться поочередное подключение к каналам вместо датчиков информации калибровочного напряжения. По этим показаниям на ПУ производится корректировка коэффициента передачи канальных трактов.

1.2.1. Искажения в системах ТИ с ЧРК. Передача сообщений через любые реальные системы связи сопровождается искажениями, в результате чего эти сообщения на приеме отличаются от передаваемых.

Все искажения логично разделить на два основных вида: независимые, возникающие из-за наложения на сигнал различного рода шумов (**аддитивные помехи**), и зависимые, причиной которых является несовершенство тракта передачи (**мультипликативные помехи**). К мультипликативным искажениям относятся зависимые искажения, появляющиеся вследствие нелинейности амплитудных, частотных и фазовых характеристик канала связи, а также искажения, обусловленные появлением паразитных каналов связи (например многолучевое распространение радиоволн). Происхождение этих искажений непосредственно связано с сигналом, и при его отсутствии искажения не обнаруживаются, или другими словами – при отсутствии полезных сообщений исчезают и зависимые искажения. Для систем с ЧРК характерны два вида зависимых искажений. Первый вид – перекрестные искажения – обусловлен неидеальностью характеристик группового тракта, которые приводят к появлению множества комбинационных частот, либо к наложению на сигнал помехи, имеющей случайный характер.

Перекрестные искажения в групповом тракте следует разделить на следующие группы: искажения в низкочастотной (НЧ) части тракта, к которой относятся усилители видеоканала, модуляторы и демодуляторы; искажения в высокочастотной (ВЧ) части тракта, которая включает в себя радиотракт передающего и приемного устройств; искажения в пространстве вследствие изменения условий распространения волн.

Второй вид – переходные искажения – обусловлен недостаточной селективностью разделительных фильтров, вследствие чего возникает помеха по соседнему каналу.

Проанализируем оба вида искажений и оценим влияние параметров группового тракта передачи на их величину. Входным сигналом группового тракта в системах с ЧРК является многоканальное сообщение, представляющее собой сумму модулированных поднесущих $S_i(t)$:

$$U_{вх} = x(t) = \sum_{i=1}^n S_i(t), \quad (1.10)$$

где n – число каналов,
выходным – принятое сообщение:

$$U_{вых}(t) = x'(t).$$

Вследствие воздействия различного рода помех форма принятого сообщения $x'(t)$ будет отличаться от переданного, т.е. на приеме будет искажена. Тогда условно сигнал на выходе можно представить в виде

$$U_{\text{вых}}(t) = x'(t) = kx(t - \tau) + \varepsilon_n(t), \quad (1.11)$$

где $kx(t - \tau)$ – неискаженное сообщение;

$\varepsilon_n(t)$ – напряжение перекрестной помехи.

Условием неискаженного прохождения сигнала через групповой тракт является постоянство коэффициента k – для всех мгновенных значений сигнала $x(t)$, а время запаздывания τ – постоянно для всех составляющих спектра группового сигнала.

В реальных устройствах получить идеальные характеристики невозможно вследствие следующих причин:

– наличие реактивностей (L , C), входящих в состав звеньев тракта, приводит к тому, что частотная и фазовая характеристики тракта отличаются от идеальных;

– стремление к максимальному использованию мощности передатчика для повышения помехоустойчивости системы к более полному использованию модуляционной характеристики, вследствие чего амплитудная характеристика группового тракта становится нелинейной.

При известных характеристиках реального группового тракта ошибку от перекрестных искажений принципиально можно определить. Однако эта задача настолько сложна, что получить оптимальные для расчетов аналитические выражения невозможно. Поэтому при расчетах приходится идти на дальнейшие упрощения, а именно: определить ошибки, вносимые отдельными звеньями группового тракта, рассматривая их независимо; найти общую ошибку, пользуясь критерием среднеквадратичной ошибки.

В зависимости от того, какой вид модуляции используется во второй ступени, влияние неидеальности характеристики группового тракта в создании перекрестных искажений будет различным. Так, при АМ во второй ступени искажения возникают из-за нелинейности амплитудных характеристик низкочастотной и высокочастотной частей группового тракта.

При частотной модуляции во второй ступени нелинейность амплитудной характеристики НЧ части тракта является причиной перекрестных искажений так же, как и при АМ. Нелинейность же амплитудной и неравномерность частотной характеристик высокочастотной части тракта не вызовут искажений, так как паразитные изменения амплитуды ЧМ сигнала устраняются ограничителем, включенным перед частотным детектором. Это весьма важное качество систем с ЧМ во второй ступени. Основное влияние на прохождение ЧМ сигнала оказывает нелинейность фазовой характеристики группового тракта.

Рассмотрим методику и примеры расчета перекрестных и переходных искажений для НЧ и ВЧ трактов системы.

Перекрестные искажения в НЧ части группового тракта. Перекрестные искажения в НЧ части тракта определяются нелинейностью амплитудной характеристики. Так как анализ этих искажений является достаточно сложной задачей, то обычно ограничиваются их приближенной оценкой. Рассмотрим два приближенных способа: при аппроксимации амплитудной характеристики линейно-ломаной; при аппроксимации амплитудной характеристики полиномом.

Аппроксимация амплитудной характеристики линейно-ломаной. Амплитудная характеристика НЧ части группового тракта в этом случае будет иметь вид, показанный на рис. 1.5.

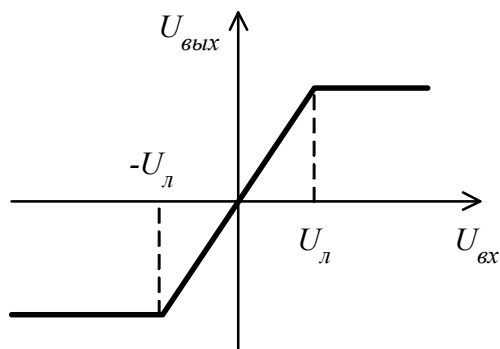


Рис. 1.5. Амплитудная характеристика НЧ части группового тракта

Здесь U_l – уровень полной линейной модуляции. Такую аппроксимацию целесообразно выбирать, если перед модулятором включен ограничитель группового сигнала $x(t)$ с целью улучшения энергетических соотношений. При этом амплитудная характеристика тракта будет определяться характеристикой ограничителя. Для получения неискаженного сигнала при работе необходимо использовать только линейную часть характеристики, т.е.

$$x(t) \leq U_l.$$

Превышение групповым сигналом $x(t)$ уровня полной линейной модуляции приводит к появлению искажения, так как все мгновенные значения x , превышающие U_l , не будут воспроизводиться на выходе группового тракта. Известно, что если число модулированных поднесущих достаточно велико (не менее 8...10) и фазы поднесущих случайны и равновероятны в интервале $0..2\pi$ (используются отдельные генераторы поднесущих), то в соответствии с центральной предельной теоремой Ляпунова можно считать, что сумма напряжений модулированных поднесущих – групповой сигнал – представляет собой случайный стационарный процесс. При этом достаточно хорошим приближением для функции распределения $W(x)$ является нормальный закон.

$$W(x) = \frac{1}{x_g \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2x_g^2}}, \quad (1.12)$$

где x – мгновенное значение суммы поднесущих;
 x_g – эффективное значение группового сигнала.

$$x_g = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \sum_{i=1}^n S_i^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt}. \quad (1.13)$$

При равенстве всех амплитуд немодулированных поднесущих и при сто-
процентной амплитудной модуляции каждой

$$x_{\vartheta} = U \sqrt{\frac{3n}{4}}, \quad (1.14)$$

при частотной –

$$x_{\vartheta} = U \sqrt{\frac{n}{2}}, \quad (1.15)$$

где U – амплитуда немодулированной поднесущей.

Зная функцию $W(x)$, можно найти вероятность того, что мгновенное значе-
ние группового сигнала x превысит уровень $U_{л}$ (вероятность перемодуляции):

$$P(|x| \geq U_{л}) = \int_{-\infty}^{-U_{л}} W(x) dx + \int_{U_{л}}^{\infty} W(x) dx,$$

или

$$P(|x| \geq U_{л}) = 1 - 2 \int_0^{U_{л}} W(x) dx. \quad (1.16)$$

Учитывая выражение (1.12) и производя замену переменных, получим

$$P_{ПМ} = P(|x| \geq U_{л}) = 1 - \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^H e^{-\frac{y^2}{2}} dy,$$

или

$$P_{ПМ} = 1 - 2\Phi(H), \quad (1.17)$$

где $y = \frac{x}{x_{\vartheta}}$, $\frac{U_{л}}{x_{\vartheta}} = H$ – порог перемодуляции.

Вероятность перемодуляции характеризует ту часть времени работы сис-
темы, в течение которой $|x| \geq U_{л}$. Это время зависит от порога перемодуляции.
Чем больше величина H , тем меньшее время происходит перемодуляция, тем
меньше уровень перекрестных помех. Чтобы оценить ошибку, вносимую пере-
крестной помехой в каждый канал, необходимо найти их спектральную плот-
ность. Так как перекрестные помехи представляют собой случайный процесс,
то ширина спектра будет определяться средней длительностью выбросов слу-
чайного процесса $x(t)$.

$$\tau(H) = \frac{P_{ПМ}}{n(H)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{P_{ПМ}}{F_{П}} e^{\frac{H^2}{2}},$$

где $F_{П}$ – частота поднесущей n -го канала;

$\frac{2F_{\Pi}}{\sqrt{3}} e^{-\frac{H^2}{2}} = n(H)$ – число выбросов случайной величины y , превосходящих уровень H .

Средняя ширина спектра перекрестных искажений равна обратной величине средней длительности выброса:

$$\Delta f(H) = \frac{1}{\tau(H)} = \frac{2F_{\Pi}}{\sqrt{3}P_{\Pi\Pi}} e^{-\frac{H^2}{2}}. \quad (1.18)$$

Спектральная плотность перекрестных помех (удельная мощность в полосе 1 Гц) на выходе НЧ части группового тракта может быть определена из выражения

$$P_{0НЧ} = \frac{P_{\varepsilon}}{\Delta f(H)} = \frac{2 \int_{U_{л}}^{\infty} \varepsilon_{\Pi}^2 W(\varepsilon_{\Pi}) d\varepsilon_{\Pi}}{\Delta f(H)} = \frac{2 \int_{U_{л}}^{\infty} (U_{л} - x)^2 W(x) dx}{\Delta f(H)}, \quad (1.19)$$

где P_{ε} – мощность перекрестных помех;

ε_{Π}^2 – квадрат ошибки;

$W(\varepsilon_n)$ – плотность вероятности случайного процесса, а так как $U_{л} = \text{const}$, то для всех $|x| \geq U_{л}$.

$$W(\varepsilon_n) = W(x).$$

Учитывая выражения (1.12) и (1.17) и произведя интегрирование, получим

$$\begin{aligned} P_{0НЧ} &= \frac{\frac{2x_3^2}{\sqrt{2\pi}H} \int_0^{\infty} (H-y)^2 e^{-\frac{y^2}{2}} dy}{\Delta f_n} = \frac{x_3^2 \left[P_{nm}(H^2+1) - \sqrt{\frac{2}{\pi}} H e^{-\frac{H^2}{2}} \right]}{\Delta f_n} = \\ &= \frac{x_3^2 \left[P_{nm}(H^2+1) - \sqrt{\frac{2}{\pi}} H e^{-\frac{H^2}{2}} \right] \cdot \sqrt{3} P_{\Pi\Pi} e^{\frac{H^2}{2}}}{2F_n} = \\ &= -\sqrt{\frac{3}{2\pi}} \cdot \frac{P_{\Pi\Pi} x_3^2 H}{F_n} \left[\sqrt{\frac{\pi}{2}} \left(\frac{H^2+1}{H} \right) e^{\frac{H^2}{2}} P_{\Pi\Pi} - 1 \right]. \end{aligned} \quad (1.20)$$

Для $H > 3$ вероятность перемодуляции может быть приближенно оценена соотношением

$$P_{\Pi\Pi} \approx \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \frac{1}{H} e^{-\frac{H^2}{2}}. \quad (1.21)$$

Тогда выражение (1.20) можно представить в виде

$$P_{0Нч} \approx \sqrt{\frac{3}{2\pi}} \cdot \frac{x_3^2 P_{ПМ}}{HF_{\Pi}}, \quad (1.22)$$

или

$$P_{0Нч} \approx \frac{\sqrt{3}}{\pi} \cdot \frac{x_3^2}{H^2 F_{\Pi}} e^{-\frac{H^2}{2}}. \quad (1.23)$$

Представляя перекрестную помеху на выходе разделителя каналов как шум с постоянной спектральной плотностью $P_{0Нч}$, можно рассчитать средне-квадратичную ошибку на выходе отдельного канала. Если поднесущие выбираются из таблицы стандартных поднесущих частот, то F_{ci} изменяется в зависимости от номера канала. Следовательно, ошибка также будет изменяться. Для того чтобы величина ошибки была постоянна в каждом канале, амплитудные значения поднесущих необходимо выбирать из условия

$$U_i = U_1 \sqrt{\frac{F_{ci}}{F_{c1}}}. \quad (1.24)$$

В свою очередь

$$\sum_{i=1}^n U_i = nU, \quad (1.25)$$

где U – среднее значение амплитуды поднесущей, постоянное для каждого канала.

Следовательно,

$$U_1 = \frac{nU \sqrt{F_{c1}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt{F_{ci}}}. \quad (1.26)$$

Аппроксимация амплитудной характеристики полиномом. Аппроксимация амплитудной характеристики группового тракта полиномом используется в тех случаях, когда предварительное ограничение группового тракта перед второй ступенью модуляции отсутствует, и аппроксимация линейно-ломаной становится грубым приближением. В этом случае амплитудную характеристику можно определить полиномом вида

$$U_{вых} = a_1 U_{вх} + a_2 U_{вх}^2 + a_3 U_{вх}^3 + \dots,$$

где a_1, a_2, a_3 – постоянные коэффициенты, величина и знак которых определяется видом характеристики.

Так как искажения группового тракта должны быть небольшими, то нелинейность реальной характеристики не будет значительной. Поэтому при анализе достаточно ограничения тремя первыми членами этого выражения.

Тогда ошибку от перекрестных помех можно представить в виде

$$\varepsilon_{II}(t) = a_2 x^2(t) + a_3 x^3(t).$$

В качестве примера предположим, что на вход поступают два сигнала $S_1(t) = U_1 \cos \omega_1 t$ и $S_2(t) = U_2 \cos \omega_2 t$. Для простоты вычислений принимаем, что $U_1 = U_2 = 1$.

Тогда

$$\begin{aligned} \varepsilon_{II}(t) &= a_2 (\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t)^2 + a_3 (\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t)^3 = a_2 (\cos^2 \omega_1 t + 2 \cos \omega_1 t \times \\ &\times \cos \omega_2 t + \cos^2 \omega_2 t) + a_3 (\cos^3 \omega_1 t + 3 \cos^2 \omega_1 t \cos \omega_2 t + 3 \cos \omega_1 t \cos^2 \omega_2 t + \cos^3 \omega_2 t) = \\ &= a_2 \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos 2\omega_1 t + \cos(\omega_1 - \omega_2)t + \cos(\omega_1 + \omega_2)t + \frac{1}{2} \cos 2\omega_2 t + \frac{1}{2} \right] + \\ &+ a_3 \left[\frac{1}{2} \cos \omega_1 t + \frac{1}{4} \cos(2\omega_1 - \omega_1)t + \frac{1}{4} \cos(2\omega_1 + \omega_1)t + \frac{3}{2} \cos \omega_2 t + \frac{3}{4} \cos(2\omega_1 + \omega_2)t + \right. \\ &+ \frac{3}{4} \cos(2\omega_1 - \omega_2)t + \frac{3}{2} \cos \omega_1 t + \frac{3}{4} \cos(2\omega_2 - \omega_1)t + \frac{3}{4} \cos(2\omega_2 + \omega_1)t + \frac{1}{2} \cos \omega_2 t + \\ &\left. \frac{1}{4} \cos(2\omega_2 - \omega_2)t + \frac{1}{4} \cos(2\omega_2 + \omega_2)t \right]. \end{aligned} \quad (1.27)$$

Из этого выражения видно, что в спектре даже при немодулированных поднесущих появляются комбинационные составляющие вида: $2\omega_1 \pm \omega_2$; $2\omega_2 \pm \omega_1$; $2\omega_1 \pm \omega_1$; $2\omega_2 \pm \omega_2$; $\omega_1 \pm \omega_2$. Причем число их резко возрастает с увеличением числа каналов. Так при числе каналов $n = 5$ число комбинационных составляющих вида $\omega_i \pm \omega_j = 20$, а при $n = 10$ число составляющих вида $\omega_i \pm \omega_j$ равно 90. Последнее обстоятельство является причиной ограничения числа каналов (до 18...20) в радиотелеметрических системах с частотным разделением каналов.

На основании выражения (1.27) можно установить, какие составляющие перекрестных помех попадают в полосу, занимаемую групповым сигналом, и определить мощность перекрестных помех:

$$P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m P_i,$$

где P_i – мощность составляющих, попадающих в полосу группового тракта.

Расчеты показывают, что

$$P_{\Sigma} \approx \frac{1}{4}(a_2 U^4 n^2 + \frac{3}{2} a_3^2 U^6 n^3). \quad (1.28)$$

Принимая приближенно, что спектральная плотность перекрестной помехи в полосе группового сигнала равномерна, и пренебрегая влиянием квадратичного члена характеристики, получим выражение для спектральной плотности перекрестной помехи:

$$P_{\text{0НЧ}} = \frac{P_{\Sigma}}{F_{\Pi}} \approx 0,4 \frac{a_3^2 U^6 n^3}{F_{\Pi}}. \quad (1.29)$$

Коэффициент a_3 можно найти из экспериментальной амплитудной характеристики группового тракта.

Среднеквадратичную ошибку от перекрестных искажений на выходе отдельного i -го канала можно определить из выражений [1].

Для уменьшения влияния перекрестных искажений выбор поднесущих частот производят по коэффициентам r_n (табл. 1.3), либо по таблицам стандартных частот (табл. 1.4).

Таблица 1.3

Типовые наборы коэффициентов

r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6
1	1,3	1,8	2,45	3,0	4,5
1	1,8	3,3	5,7	9,85	17,0
1	2,3	3,95	9,0	18,7	35,0

Таблица 1.4

Стандарты поднесущих частот

Ка- нал	Центральная частота, Гц	Нижний предел, Гц	Верхний предел, Гц	Максималь- ная девиация частоты, %	Частота пе- редаваемого сигнала, Гц
1	2	3	4	5	6
1	400	370	430	$\pm 7,5$	6,0
2	560	518	602	$\pm 7,5$	8,4
3	730	675	785	$\pm 7,5$	11
4	960	888	1032	$\pm 7,5$	14
5	1300	1202	1399	$\pm 7,5$	20
6	1700	1572	1828	$\pm 7,5$	25
7	2300	2127	2473	$\pm 7,5$	35
8	3000	2775	3225	$\pm 7,5$	45
9	3900	3607	4193	$\pm 7,5$	59
10	5400	4995	5905	$\pm 7,5$	81

1	2	3	4	5	6
11	7350	6799	7601	$\pm 7,5$	110
12	10 500	9712	11 288	$\pm 7,5$	160
13	14 500	13 412	15 588	$\pm 7,5$	220
14	22 000	20 350	23 650	$\pm 7,5$	330
15	30 000	27 750	32 250	$\pm 7,5$	450
16	40 000	37 000	43 000	$\pm 7,5$	600
17	52 500	48 562	56 438	$\pm 7,5$	790
18	70 000	64 750	75 250	$\pm 7,5$	1050
19	93 000	86 025	99 975	$\pm 7,5$	1400
20	124 000	114 700	133 300	$\pm 7,5$	1900
21	165 000	152 625	177 375	$\pm 7,5$	2500

При таком выборе поднесущих частот комбинационные частоты будут присутствовать, но они не будут совпадать с рабочей частотой.

Перекрестные искажения в ВЧ части группового тракта. Произведем анализ перекрестных искажений, возникающих в высокочастотной части, предполагая, что НЧ часть не вносит искажений.

Если во второй ступени имеет место АМ, то при экспериментальном определении коэффициента a_3 автоматически будет учтено влияние нелинейности характеристики и ВЧ части. Поэтому ограничимся рассмотрением лишь случая ЧМ во второй ступени.

Как было указано выше, при ЧМ во второй ступени искажения в ВЧ тракте возникают из-за нелинейности фазовой характеристики и изменения распространения радиоволн.

Мгновенное значение частот на входе и выходе отличаются на величину

$$\delta_{\omega} = \omega_{\text{вых}}(t) - \omega_{\text{вх}}(t) = \frac{d}{dt}[\varphi(\Delta\omega)], \quad (1.30)$$

где $\varphi(\Delta\omega)$ – фазовая характеристика ВЧ тракта;

$\Delta\omega$ – максимальная девиация частоты.

Следовательно, погрешность частоты δ_{ω} будет проявляться в виде перекрестных искажений.

Если представить фазовую характеристику полиномом

$$\varphi(\omega) = b_1\Delta\omega + b_2\Delta\omega^2 + b_3\Delta\omega^3,$$

то перекрестная помеха на выходе демодулятора группового сигнала будет равна

$$\varepsilon_{\Pi}(t) = K_{\text{Д}}\delta_{\omega} = K_{\text{Д}} \frac{d}{dt}(b_2\Delta\omega^2 + b_3\Delta\omega^3),$$

где K_D – коэффициент передачи частотного детектора для круговой частоты. Тогда спектральную плотность можно определить из выражения

$$P_{0BЧ} = 0,4 \cdot K_D^2 \omega^2 \frac{b_3^2 \Delta \omega^6}{n^3 \omega_{II}} \quad (1.31)$$

и найти среднеквадратичную ошибку. Как показывают расчеты, во многих практических случаях $P_{0BЧ} \ll P_{0HЧ}$, следовательно, искажениями из-за нелинейности фазовой характеристики можно пренебречь по сравнению с искажениями из-за нелинейности амплитудной характеристики группового тракта.

Перекрестные искажения из-за различных интерференционных явлений можно существенно уменьшить следующими способами:

- выбором частотного диапазона, который не используется для других систем связи, что исключает мешающее действие других передатчиков;
- использованием направленных антенн;
- размещением передатчика и приемника на минимально возможных расстояниях от антенн и тщательным согласованием их с нагрузкой.

Применение этих способов во многих случаях позволяет пренебречь влиянием интерференционных искажений по сравнению с другими видами искажений.

1.2.2. Улучшение энергетических соотношений. Известно, что многоканальное сообщение – групповой сигнал – представляет собой сумму модулированных поднесущих, определяемых выражением (1.10). Для исключения перекрестных помех достаточно, чтобы сумма амплитуд поднесущих не превышала порогового значения U_L .

Если амплитуды поднесущих равны, то при АМ и ЧМ в системе с известным числом каналов их можно определить из выражений:

$$\text{при АМ} \quad U' = \frac{U_L}{2n}, \quad (1.32)$$

$$\text{при ЧМ} \quad U' = \frac{U_L}{n}. \quad (1.33)$$

Эти условия носят название критерия отсутствия искажений.

Однако при проектировании телеметрической системы обеспечивать такое соотношение невыгодно, так как уменьшение амплитуд поднесущих приводит к снижению помехоустойчивости. Поэтому целесообразно увеличить амплитуды поднесущих, но при условии, чтобы ошибки от перекрестных помех не превышали допустимой величины.

Возможность подобного улучшения качества системы обуславливается тем, что групповой сигнал, как было показано ранее, является случайным. Отсюда следует, что только с определенной вероятностью $P_{ПМ}$ групповой сигнал

может превысить пороговое значение $U_{л}$. В свою очередь, вероятность перемодуляции $P_{пм}$ определяет согласно выражению (1.22) ошибку от перекрестных помех. На основании этого приведем методику расчета при заданной вероятности $P_{пм}$, определяемой выражением (1.17).

Значения амплитуд поднесущих, при которых перемодуляция отсутствует, определяется выражениями (1.32) и (1.33). Если допустить перемодуляцию, то амплитуды поднесущих можно увеличить. Обозначим их новые значения через U . Тогда, согласно выражениям (1.14) и (1.15), эффективное значение группового сигнала будет равно:

$$\text{при АМ} \quad x_{\text{г}} = U \sqrt{\frac{3n}{4}},$$

$$\text{при ЧМ} \quad x_{\text{г}} = U \sqrt{\frac{n}{2}}.$$

Используя выражения (1.32) и (1.33), можно получить соотношения для относительного порога перемодуляции при АМ и ЧМ в виде уравнений

$$H = \frac{4\sqrt{n}}{\sqrt{3}} \left(\frac{U'}{U} \right)_{\text{АМ}},$$

$$H = \sqrt{2n} \left(\frac{U'}{U} \right)_{\text{ЧМ}}.$$

Отсюда

$$\left(\frac{U}{U'} \right)_{\text{АМ}} = 2,3 \frac{\sqrt{n}}{H}, \quad (1.34)$$

$$\left(\frac{U}{U'} \right)_{\text{ЧМ}} = 1,41 \frac{\sqrt{n}}{H}, \quad (1.35)$$

где U' – амплитуда немодулированной поднесущей при отсутствии перемодуляции;

U – амплитуда немодулированной поднесущей в случае перемодуляции.

Последнее соотношение позволяет рассчитать допустимое увеличение амплитуды поднесущих при заданном пороге H , определяемом вероятностью перемодуляции $P_{пм}$.

1.2.3. Методика расчета перекрестных искажений. Для расчета среднеквадратичной ошибки от перекрестных помех можно предложить следующий порядок:

– Исходя из требований точности к телеметрической системы, необходимо ориентировочно задаться величиной допустимой вероятности перемодуляции $P_{пм}$. Ее значение, как правило, выбирается в пределах от 10^{-2} до 10^{-5} .

1. По заданной величине вероятности перемодуляции находим порог перемодуляции H из выражений (1.17) либо из табл. 1.5.

$P_{ПМ}$	10^{-5}	$5 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}	$5 \cdot 10^{-4}$	10^{-3}	$5 \cdot 10^{-3}$	10^{-2}	$5 \cdot 10^{-2}$
H	4,42	4,05	3,89	3,48	3,29	2,81	2,57	1,96

2. По известной величине относительного порога перемодуляции и числу каналов n из соотношений (1.34) и (1.35) определяем, во сколько раз можно увеличить амплитуды поднесущих.

3. Определив из выражений (1.32) и (1.33) амплитуды поднесущих при отсутствии перемодуляции U'_{AM} или $U'_{ЧМ}$, находим амплитудные значения поднесущих в случае перемодуляции U_{AM} и $U_{ЧМ}$.

4. Зная $P_{ПМ}$, порог перемодуляции H и частоту наиболее высокой поднесущей $F_{П}$, находим спектральную плотность перекрестной помехи $P_{0НЧ}$. Эффективное значение группового сигнала определяется из выражений (1.14) и (1.15). При аппроксимации характеристики линейно-ломаной спектральную плотность находим из точного выражения (1.20) либо из приближенных (1.22) и (1.23). При аппроксимации характеристики Полиномом спектральную плотность находим из выражения (1.29), причем коэффициент a_3 определяется непосредственно из экспериментальных данных.

5. При частотной модуляции во второй ступени из выражения (1.31) определяем спектральную плотность перекрестной помехи $P_{0ВЧ}$, возникающей из-за нелинейности характеристики ВЧ части группового тракта.

6. Общую спектральную плотность перекрестных помех получим в виде

$$P_0 = P_{0НЧ} + P_{0ВЧ}.$$

7. Выбирая поднесущие из табл. 1.4 стандартных поднесущих частот либо по коэффициентам табл. 1.3, определяем амплитудные значения поднесущих для каждого отдельного канала согласно выражениям (1.24) и (1.26).

8. По известным параметрам системы определяем относительную среднеквадратичную ошибку от перекрестных помех согласно выражениям [1].

9. Если полученная ошибка превышает допустимую, то выбирается меньшая величина перемодуляции $P_{ПМ}$, и расчет повторяется.

Пример 1.1. Найти величину среднеквадратичной ошибки от перекрестных помех в многоканальной системе ТИ с АМ поднесущих и следующими параметрами: $n = 15$; $F_{П} = 30$ кГц; $U_{Л} = 9$ В, характеристика группового тракта аппроксимируется линейно-ломаной.

Решение. Зададимся вероятностью перемодуляции $P_{ПМ} = 10^{-3}$. Согласно табл. 1.5 $H = 3,29$. Тогда

$$\frac{U}{U'} = 2,3 \frac{\sqrt{n}}{H} = \frac{2,3 \cdot \sqrt{15}}{3,29} = 2,7.$$

Из критерия отсутствия перемодуляции при АМ имеем

$$U' = \frac{U_{Л}}{2n} = \frac{9}{30} = 0,3 \text{ В.}$$

Следовательно, амплитудное значение немодулированной поднесущей будет равно

$$U = 2,7 \cdot 0,3 = 0,81 \text{ В.}$$

Эффективное значение группового сигнала

$$x_{\text{э}} = U \sqrt{\frac{3n}{4}} = 0,81 \sqrt{\frac{3 \cdot 15}{4}} = 0,81 \cdot 3,36 = 2,72 \text{ В.}$$

Спектральная плотность перекрестной помехи, возникающей в низкочастотной части спектра, определяется из выражения (1.22):

$$P_{0НЧ} = \sqrt{\frac{3}{2\pi}} \cdot \frac{x_{\text{э}}^2 P_{ПМ}}{H \cdot F_{П}} = \sqrt{\frac{3}{6,28}} \cdot \frac{2,72^2 \cdot 10^{-3}}{3,29 \cdot 3 \cdot 10^4} = 5,2 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{Гц}}.$$

Предполагая равенство всех амплитуд поднесущих, $m_{iAM} = 1$ и $P_{0ВЧ} \gg P_{0НЧ}$, определим ошибку:

$$\delta_{AM} = \frac{2}{m_{iAM} \cdot U} \sqrt{P_{0НЧ} \cdot F_{ci}} = \frac{2}{0,81} \sqrt{5,2 \cdot 10^{-8} \cdot 450} = 1,2 \cdot 10^{-2} = 1,2 \%.$$

Ошибка, зависящая от F_{ci} , для других каналов будет меньше полученного значения.

Пример 1.2. Требуется найти величину ошибки в системе с АМ поднесущих с параметрами, указанными в примере 1.1, если характеристика группового тракта аппроксимируется полиномом $a_3 = 0,002 \text{ В}^{-2}$.

Решение. По выражению (1.29) находим спектральную плотность шума от перекрестных помех:

$$P_{0НЧ} = 0,4 \frac{a_3^2 U^6 n^3}{F_{П}} = \frac{0,4 \cdot 4 \cdot 10^{-6} \cdot (0,81)^6 \cdot 15^3}{3 \cdot 10^4} = 5,1 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{Гц}}.$$

Тогда среднеквадратичная ошибка от перекрестных помех

$$\delta_{AM} = \frac{2}{0,81} \sqrt{5,1 \cdot 10^{-8} \cdot 450} = 1,2 \cdot 10^{-2} = 1,2 \%.$$

Пример 1.3. Определить амплитуды поднесущих в системе с ЧМ, если величина ошибки постоянна для любого канала при следующих параметрах: $n = 15$; $F_{П} = 30 \text{ кГц}$; $m_{ЧМ} = 5$; $U_{Л} = 4,5 \text{ В}$; $P_{ПМ} = 10^{-3}$; $H = 3,29$; $U = 0,5 \text{ В}$;

$x_3 = 1,34$ В; характеристика группового тракта аппроксимируется линейно-ломаной.

Решение. Пусть поднесущие выбираются из табл. 1.4 стандартных поднесущих частот. Тогда, согласно выражениям (1.24) и (1.26) можно определить

$$U_i = U_1 \sqrt{\frac{F_{ci}}{F_{c1}}} = \frac{nU \sqrt{F_{c1}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt{F_{ci}}} \sqrt{\frac{F_{ci}}{F_{c1}}} = \frac{nU \sqrt{F_{ci}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt{F_{ci}}}$$

Результаты расчета амплитуд сведены в табл. 1.6.

Таблица 1.6

№ канала	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
F_{ci}	6	8,4	11	14	20	25	35	45	59	81	110	160	220	330	450
$\sqrt{F_{ci}}$	2,45	2,9	3,32	3,74	4,47	5,0	5,92	6,71	7,68	9,0	10,5	12,6	14,8	18,2	21,2
$U_i, В$	0,14	0,17	0,2	0,22	0,26	0,3	0,35	0,4	0,45	0,53	0,62	0,75	0,88	1,07	1,25

Спектральная плотность помехи согласно выражению (1.22) равна

$$P_{0НЧ} = \sqrt{\frac{3}{6,28}} \cdot \frac{1,37^2 \cdot 10^{-3}}{3,29 \cdot 3 \cdot 10^4} = 1,3 \cdot 10^{-8} \frac{Вт}{Гц}$$

и тогда ошибка будет

$$\delta_{чМ} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \frac{F_{ci}}{U_i F_{Pi}} \sqrt{2P_{0НЧ} \cdot F_{ci}} = 0,045\%$$

1.2.4. Переходные искажения. Этот вид искажений связан с недостаточной селективностью разделительных полосных фильтров и разносом частот поднесущих, в результате чего возникают помехи по соседнему каналу.

Рассмотрим простейший случай, когда по трем соседним каналам передаются немодулированные поднесущие:

$$U_{i-1}(t) = U_{i-1} \cos \omega_{i-1}t, U_i(t) = U_i \cos \omega_i t, U_{i+1}(t) = U_{i+1} \cos \omega_{i+1}t,$$

где $\omega_{i-1}, \omega_i, \omega_{i+1}$ совпадают с резонансными частотами соответствующих разделительных фильтров (рис. 1.6).

Для простоты выводов положим, что $U_{i-1} = U_i = U_{i+1} = U$. Как видно из рисунка, если бы АЧХ полосовых фильтров были идеальны (показано пунктиром), то влияния канала на канал не было бы. В общем случае соседние каналы

влияют друг на друга. Рассмотрим влияние $(i+1)$ -го канала на i -й канал. Обозначим через ρ – коэффициент передачи i -го полосового фильтра на частоте ω_{i+1} . Тогда напряжение на выходе i -го полосового фильтра будет

$$U_{\text{вых}i} = U \cos \omega_i t + \rho U \cos \omega_{i+1} t = U_m \cos(\omega_i t + \varphi) = U_m \cos \Psi. \quad (1.36)$$

Следовательно, на сигнал i -го канала будет наложена помеха

$$\varepsilon_n = \rho U \cos \omega_{i+1} t.$$

Взаимодействие сигнала и помехи изображено на рис. 1.7.

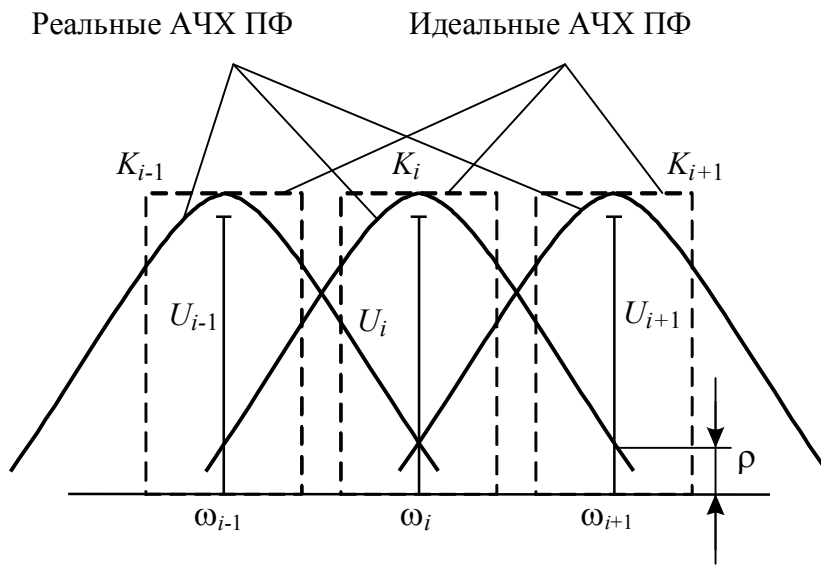


Рис. 1.6. АЧХ полосовых фильтров

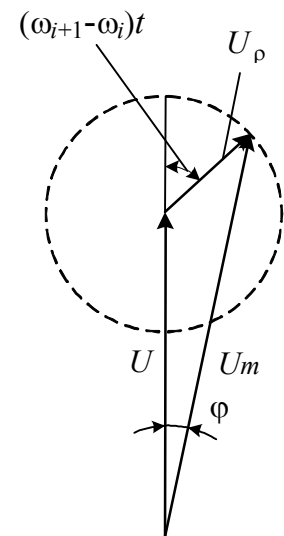


Рис. 1.7. Векторная диаграмма

Определим результирующее напряжение U_m из векторной диаграммы:

$$\begin{aligned} U_m^2 &= (U + U\rho \cos(\omega_{i+1} - \omega_i)t)^2 + (U\rho \sin(\omega_{i+1} - \omega_i)t)^2 = \\ &= U^2 + 2U^2\rho \cos(\omega_{i+1} - \omega_i)t + U^2\rho^2 \cos^2(\omega_{i+1} - \omega_i)t + \\ &+ U^2\rho^2 \sin^2(\omega_{i+1} - \omega_i)t = U^2(1 + 2\rho \cos(\omega_{i+1} - \omega_i)t + \rho^2). \end{aligned}$$

Откуда

$$U_m = U\sqrt{1 + 2\rho \cos(\omega_{i+1} - \omega_i)t + \rho^2}. \quad (1.37)$$

Как видно из векторной диаграммы, будет искажаться и фаза сигнала на выходе i -го полосового фильтра:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{U\rho \sin(\omega_{i+1} - \omega_i)t}{U + U\rho \cos(\omega_{i+1} - \omega_i)t}.$$

Учитывая, что $\rho \ll 1$, то

$$\varphi = \rho \sin(\omega_{i+1} - \omega_i)t. \quad (1.38)$$

Влияние паразитного изменения амплитуды и фазы на полезный сигнал будет зависеть от вида применяемой модуляции, т.е. от того, что является информационным параметром. Определим ошибку от помех по соседнему каналу при амплитудной, частотной и фазовой модуляции.

Амплитудная модуляция. Амплитудный детектор выделяет огибающую входного сигнала, определяемого выражением (1.36). Представив амплитуду этого напряжения в виде выражения

$$U_m = U \sqrt{1 + 2\rho \cos(\omega_{i+1} - \omega_i)t + \rho^2},$$

разложим его по биному Ньютона $\sqrt{1+x} = 1 + \frac{1}{2}x - \frac{1}{8}x^2 + \dots$ и получим

$$\begin{aligned} U_m &= U \left(1 + \frac{1}{2} 2\rho \cos(\omega_{i+1} - \omega_i)t + \frac{1}{2} \rho^2 - \frac{1}{8} (2\rho \cos(\omega_{i+1} - \omega_i)t + \rho^2)^2 + \dots \right) = \\ &= U \left(1 + \rho \cos(\omega_{i+1} - \omega_i)t + \frac{1}{2} \rho^2 - \frac{1}{2} \rho^2 \cos^2(\omega_{i+1} - \omega_i)t - \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{2} \rho^3 \cos(\omega_{i+1} - \omega_i)t - \frac{1}{8} \rho^4 + \dots \right). \end{aligned} \quad (1.39)$$

Учитывая, что $\cos^2(\omega_{i+1} - \omega_i)t = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos 2(\omega_{i+1} - \omega_i)t$, и учитывая все члены не выше второй степени, получим

$$U_m = U + \frac{1}{4} \rho^2 U + U\rho \cos(\omega_{i+1} - \omega_i)t - \frac{1}{4} \rho^2 U \cos 2(\omega_{i+1} - \omega_i).$$

Следовательно, переходная помеха по соседнему каналу искажает постоянную составляющую на величину относительной ошибки:

$$\delta_{\sim} = \frac{1}{4m_{AM}} \rho^2, \quad (1.40)$$

и создает переменные составляющие на частотах $(\omega_{i+1} - \omega_i)$ и $2(\omega_{i+1} - \omega_i)$ составит величину

$$\delta_{\sim} = \frac{\rho}{m_{AM}} |K_{ФНЧ}(j(\omega_{i+1} - \omega_i))|, \quad (1.41)$$

где $|K_{\Phi НЧ}(j(\omega_{i+1} - \omega_i))|$ – коэффициент передачи выходного фильтра нижних частот на разностной частоте $(\omega_{i+1} - \omega_i)$.

Если крутизна спада характеристики ФНЧ достаточно большая и частота среза $\omega_c < (\omega_{i+1} - \omega_i)$, то ошибками на частоте $(\omega_{i+1} - \omega_i)$ и тем более на частоте $2(\omega_{i+1} - \omega_i)$ можно пренебречь. Здесь m_{AM} – коэффициент глубины АМ.

Частотная модуляция. Так как напряжение на выходе частотного детектора определяется производной от фазы, то ошибка по соседнему каналу будет равна

$$\varepsilon(t) = \frac{d\varphi}{dt} = \rho(\omega_{i+1} - \omega_i) \cos(\omega_{i+1} - \omega_i)t, \quad (1.42)$$

следовательно, влияние соседнего канала заключается в появлении на выходе i -го канала переменной составляющей на частоте $(\omega_{i+1} - \omega_i)$ с амплитудой, зависящей от разности этих частот. Относительную ошибку от переходных искажений при ЧМ можно определить из выражения

$$\delta = \frac{\rho(\omega_{i+1} - \omega_i) |K_{\Phi НЧ}(j(\omega_{i+1} - \omega_i))|}{\omega_{Дi}}, \quad (1.43)$$

где $\omega_{Дi}$ – максимальная девиация частоты i -й поднесущей.

Фазовая модуляция. При ФМ ошибка будет пропорциональна изменению фазы. Тогда переходная помеха по соседнему каналу будет представлять собой переменную составляющую на разностной частоте $(\omega_{i+1} - \omega_i)$ с амплитудой, равной ρ . Относительная ошибка будет равна

$$\delta = \frac{\rho |K_{\Phi НЧ}(j(\omega_{i+1} - \omega_i))|}{\Phi_{Дi}}, \quad (1.44)$$

где $\Phi_{Дi}$ – девиация фазы i -й поднесущей.

Если допустить, что по $(i+1)$ -му каналу передается сообщение, то помеху по соседнему i -му каналу будет создавать каждая спектральная составляющая нижней и верхней боковых полос сигнала $(i+1)$ -го канала. При этом анализ существенно усложняется.

Полученные соотношения (1.40), (1.41), (1.43) и (1.44) позволяют рассчитать величину ошибки при известных характеристиках разделительных фильтров либо сформулировать требования к селективности полос пропускания разделительных полосовых фильтров и выходных ФНЧ при заданной ошибке.

Пример 1.4. Определить относительную ошибку в системе с АМ поднесущих при $\rho = 0,1$, $|K_{\Phi НЧ}(j(\omega_{i+1} - \omega_i))| = 0,05$ и $m_{AM} = 1$.

Решение. Согласно выражению (1.40) ошибка по постоянной составляющей равна

$$\delta_{=} = \frac{\rho^2}{4} = \frac{10^{-2}}{4} = 0,25 \cdot 10^{-2} = 0,25\%.$$

Ошибка по переменной составляющей при $m = 1$ равна

$$\delta_{\sim} = 10^{-1} \cdot 5 \cdot 10^{-2} = 0,5 \cdot 10^{-2} = 0,5\%.$$

Пример 1.5. Определить относительную ошибку в системе с ЧМ поднесущей при $\rho = 0,1$ и $|K_{ФНЧ}(j(\omega_{i+1} - \omega_i))| = 0,02$.

Решение. Согласно таблице стандартных поднесущих частот отношение

$$\frac{(\omega_{i+1} - \omega_i)}{\omega_D} \approx 9.$$

Тогда из выражения (1.43) величина ошибки равна

$$\delta = 0,1 \cdot 9 \cdot 0,02 = 1,8 \cdot 10^{-2} = 1,8\%.$$

1.2.5. Выбор поднесущих и несущих частот. При выборе несущих частот необходимо учитывать вид модуляции на первой и второй ступенях. Если применяется радиоканал, то несущая частота определяется типом радиостанции, а в случае применения проводных каналов связи может быть рассчитана по следующей приближенной формуле:

$$F_H = (20 \dots 30) \Delta F, \quad (1.45)$$

где ΔF – полоса частот, занимаемая соответствующим сигналом.

При выборе поднесущей частоты необходимо учитывать нестабильность настройки фильтров и допустимый уровень переходных помех. С учетом данных замечаний частоты поднесущих при АМ можно выбрать из выражения

$$F_{Pi} = (10 \dots 20) F_{cmax} + (i - 1)(2,2 \dots 2,3) F_{cmax}, \quad (1.46)$$

где F_{cmax} – максимальная частота спектра передаваемого сообщения;

i – номер канала;

$(2,2 \dots 2,3)$ – коэффициент, учитывающий запас по частоте между каналами.

При ЧМ разнос поднесущих частот ΔF_{max} выбирается с учетом индекса модуляции $m_{ЧМ}$, граничной частоты спектра первичного сигнала и нестабильности настройки канальных фильтров. При проектировании систем заданными являются: индекс модуляции $m_{ЧМ}$ и максимальная частота спектра передаваемого сообщения F_{cmax} . Тогда определим девиацию частоты из выражения

$$F_D = m_{ЧМ} F_{cmax}. \quad (1.47)$$

Тогда частота первой поднесущей

$$F_{n1} = F_D / 0,075, \quad (1.48)$$

где 0,075 – коэффициент, учитывающий линейность характеристики частотного модулятора.

Если разнос частот для всех каналов одинаков, то поднесущие частоты могут быть определены из выражения

$$F_{ni} = (F_D / 0,075) + (2,2...2,3)(i - 1)m_{чМ}F_{сmax} \quad (1.49)$$

либо по коэффициентам кратности или таблице стандартных значений поднесущих (табл. 1.3 и 1.4), после определения частоты первой поднесущей – по выражению (1.48).

1.3. Телеметрическая система с временным разделением каналов

В телеметрических системах с временным разделением каналов (ВРК) каждому каналу для передачи информации представляется поочередно со строгой периодичностью относительно короткий временной интервал (рис. 1.8).

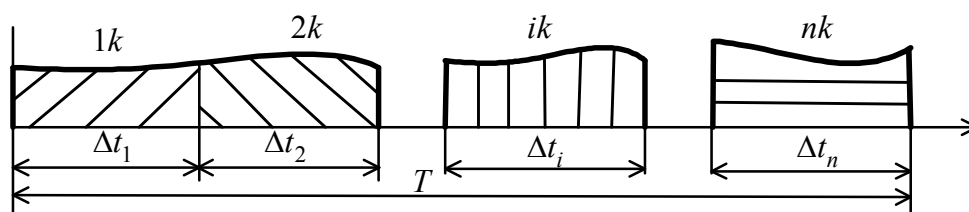


Рис. 1.8. Пример распределения времени передачи по информационным каналам

В результате передача сигналов по каждому из каналов осуществляется прерывисто в виде импульсов, модулированных передаваемым сообщением по амплитуде, длительности или временному положению (фазе).

Периодически следующие один за другим модулированные телеметрическим сообщением начальные импульсы называются измерительными импульсами.

Таким образом, если при частотном разделении каналов каждому каналу отводилась часть общей полосы пропускания линии связи в течение всего времени ее работы, то при временном разделении каналов каждому каналу предоставляется вся полоса пропускания, но на некоторую часть общего времени цикла передачи (время, отводимое на разовую передачу сигналов всех каналов).

На приемной стороне импульсные серии, соответствующие различным каналам, разделяются по отдельным цепям. Разделение основано на том, что

заранее известны промежутки времени (в цикле передачи), в течение которых могут появляться импульсы отдельных каналов. Для определения этих промежутков времени передающим устройством излучаются специальные синхронизирующие импульсы, обозначающие начало каждого цикла опроса всех датчиков. Синхронизирующие импульсы (отличаются от канальных импульсов по амплитуде, длительности или полярности) определяют темп передачи и называются кадровыми импульсами.

Из модулированных импульсов, получаемых в каждой отдельной канальной цепи, после демодуляции выделяются напряжения, характеризующие телеметрируемые величины. Эти напряжения записываются с помощью регистрирующих устройств.

Структурные схемы КП и ПУ, иллюстрирующие описанный принцип построения многоканальных телеметрических систем с ВРК, представлены на рис. 1.9 и 1.10, а временные диаграммы работы КП и ПУ – на рис. 1.11 и 1.12 соответственно.

Телеметрируемая величина, преобразованная в электрический и единый (по виду) для всех каналов сигнал с выхода ФНЧ поступает на один из входов канального модулятора, на второй вход поступает импульсная поднесущая, формируемая распределителем импульсов, где осуществляется модуляция по амплитуде (АИМ), длительности (ШИМ) или временному положению измерительного импульса относительно тактовой точки (ФИМ). С выходов всех канальных модуляторов сигналы объединяются сумматором в групповой видеосигнал, который подается на вход передатчика для модуляции его высокочастотными колебаниями.

По одному из каналов системы передается калибровочное напряжение, подводимое от датчика калибровочных напряжений. Формирователь синхросигнала формирует синхроимпульсы, отличающиеся от измерительных (канальных) каким-либо параметром (амплитуда, длительность, полярность). Синхронизирующие импульсы необходимо подавать на приемную сторону телеметрической системы для того, чтобы распределители приемной и передающей сторон системы работали синхронно и синфазно.

На ПУ сигналы с выхода приемника поступают в восстановитель сигнала, где выделяется средняя часть видеосигнала, которая менее поражена помехами в канале связи. Восстановленный сигнал поступает на вход селектора синхросигнала и на вход всех канальных ключей. В селекторе синхросигнала происходит выделение синхронизирующих импульсов, из которых затем формируется сигнал для синхронизации приемного распределителя импульсов. Распределитель, формирующий N разнесенных по времени последовательностей импульсов, которые поступают на вторые входы канальных ключей и распределяют измерительные импульсы по соответствующим информационным каналам. Сигналы каждого из каналов демодулируются в канальных демодуляторах, а затем через ФНЧ, который служит для увеличения отношения сигнал/шум, поступают в индивидуальные или многоканальные регистрирующие устройства.

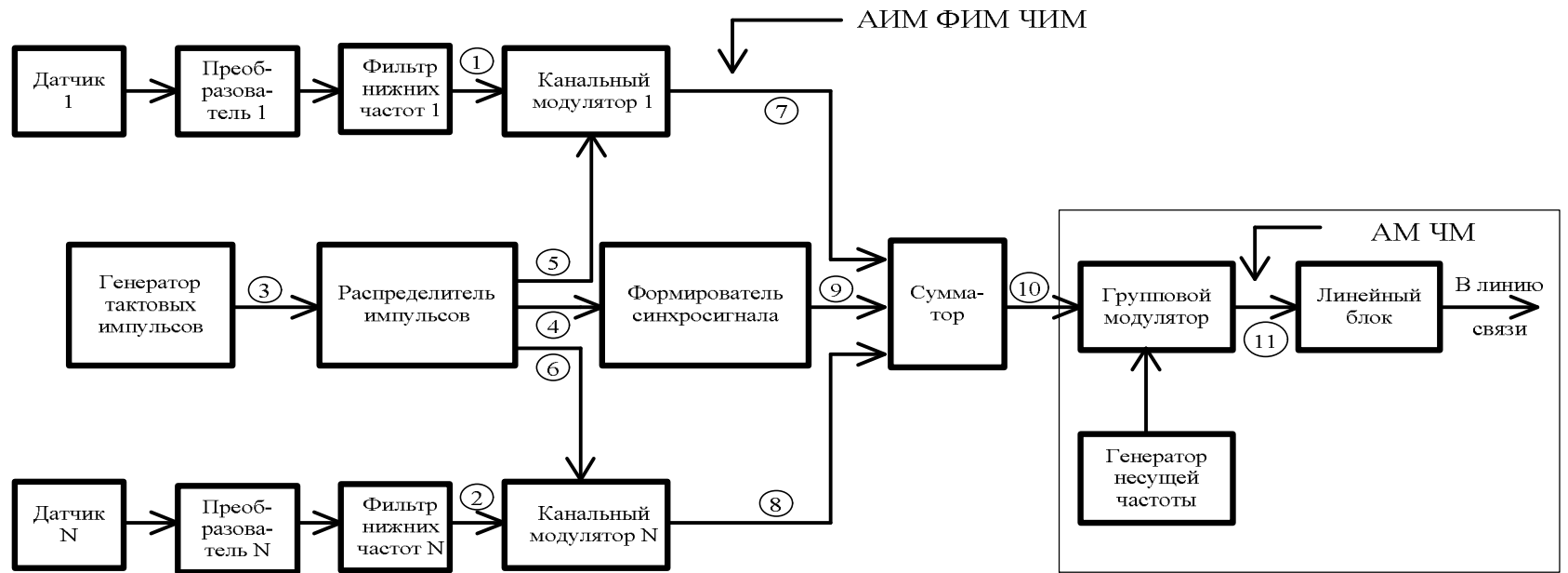


Рис. 1.9. Структурная схема КП телеметрической системы с ВРК

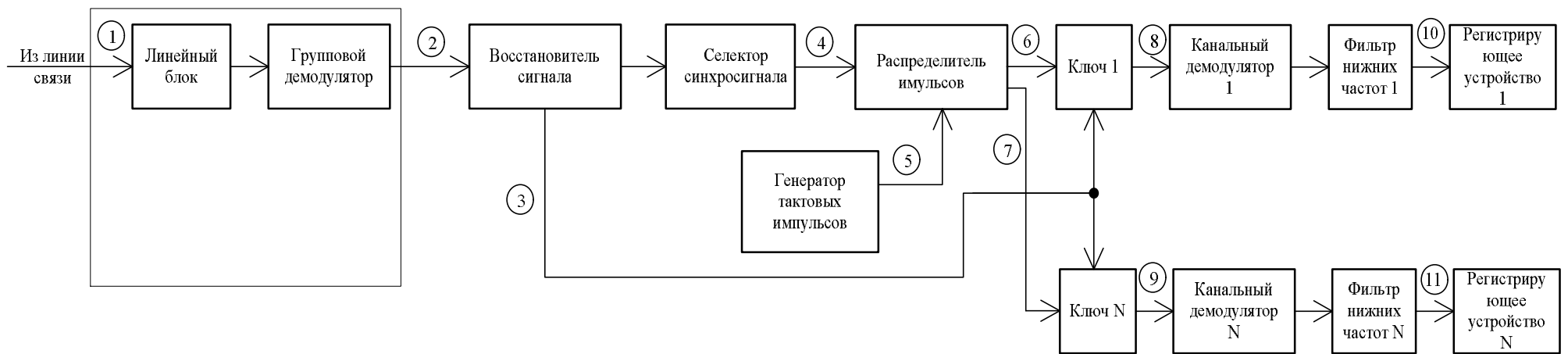


Рис. 1.10. Структурная схема ПУ телеметрической системы с ВРК

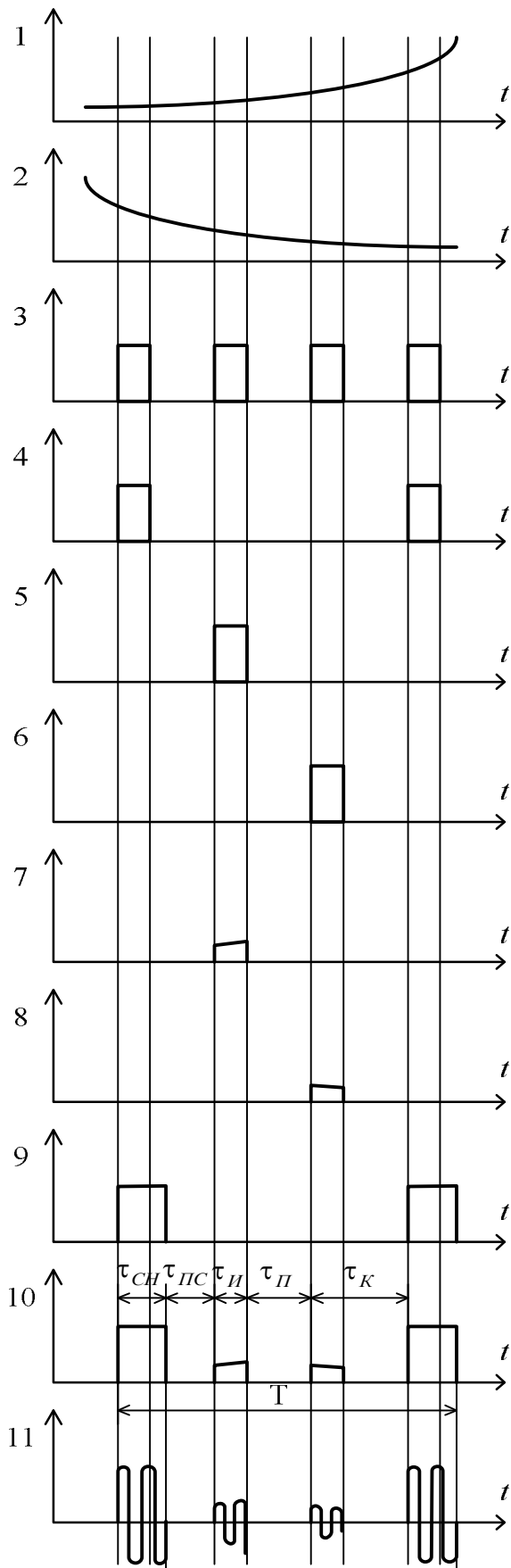


Рис. 1.11. Временные диаграммы работы КП

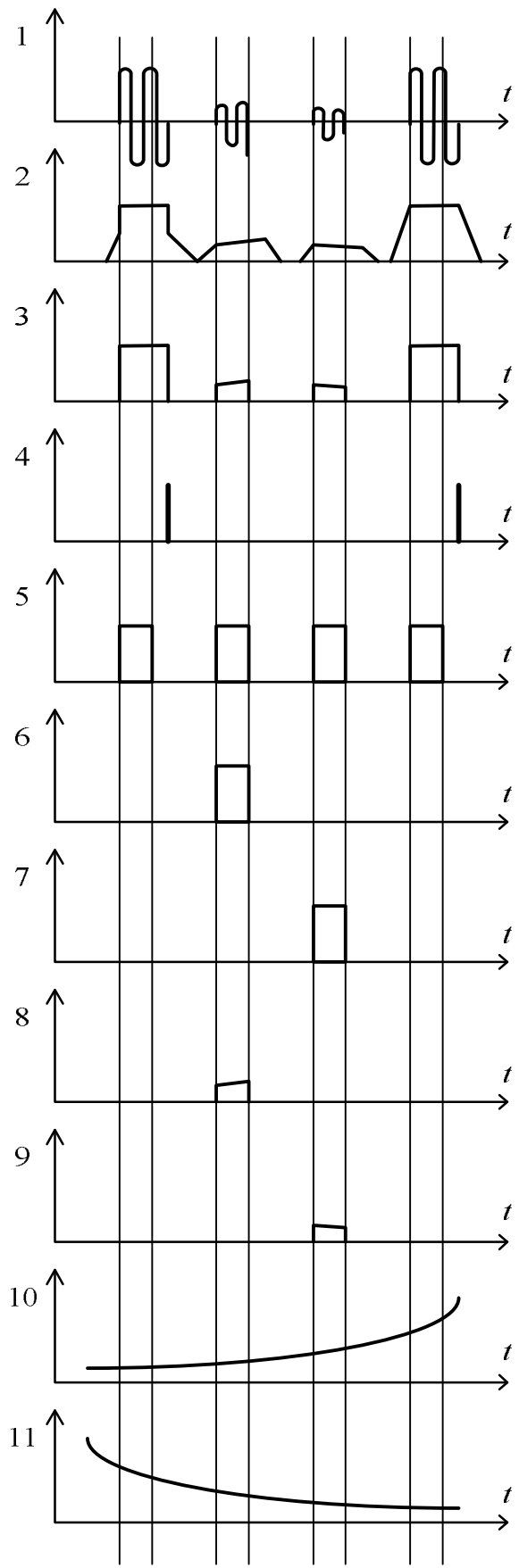


Рис. 1.12. Временные диаграммы работы ПУ

В зависимости от видов первичной и вторичной модуляции различают следующие основные типы телеметрических систем с временным разделением каналов: АИМ-АМ, АИМ-ЧМ, ШИМ-АМ, ШИМ-ЧМ, ФИМ-АМ, ФИМ-ЧМ.

1.3.1. Калибровка, как способ уменьшения ошибок. Как указывалось выше, величину систематических ошибок можно значительно уменьшить калибровкой системы. Калибровка – операция определения зависимостей выходных напряжений телеметрических систем от входных путем измерения (с помощью самой системы) эталонных (калиброванных) уровней напряжений. Калибровке подвергаются все элементы системы за исключением датчиков. Калибровка последних трудно осуществима и обычно производится до установки по месту назначения (в радиотелеметрических системах до постановки датчиков на борт либо на стартовой позиции).

Поскольку систематическая ошибка может медленно изменяться, калибровку необходимо производить периодически. Частота калибровки определяется скоростью изменения систематической ошибки, т.е. ее спектром. Интервал между посылками калиброванных сигналов должен быть таким, чтобы за это время систематическая компонента ошибки значительно не менялась. В противном случае будет невозможно определить величину ошибки интервала и соответственно нельзя устранить ее. Для успешного устранения медленно изменяющейся ошибки частота посылки калибровочных сигналов должна быть согласована (по теореме Котельникова) со скоростью ее изменения.

Калибровка производится следующим образом. Пусть в момент времени t_1 с объекта передается калибровочный сигнал $U_k(t_1)$, известный с высокой точностью.

Вследствие различных причин на приемной стороне этот сигнал будет получен с искажениями как $U_k^*(t_1)$:

$$U_k^*(t_1) = U_k(t_1) + \delta U_k(t_1),$$

где $\delta U(t_1)$ – величина погрешности.

Полагая U_k^* и U_k известными, величину погрешности можно определить из уравнения

$$\delta U(t_1) = U_k^*(t_1) - U_k(t_1).$$

Если в момент времени t_2 передается полезное сообщение $U_c(t_2)$, то на выходе приемника оно будет равно

$$U_c^*(t_2),$$

где $U_c^*(t_2) = U_c(t_2) - \delta U(t_2)$, $\delta U(t_2)$ – ошибка, возникающая в системе ТИ в момент времени t_2 .

Положим, что за время $t_2 - t_1$ ошибка δU не изменилась, т.е. $\delta U(t_1) = \delta U(t_2)$. Тогда величина истинного значения сообщения находится из выражения

$$U_c(t_2) = U_c^*(t_2) - \delta U(t_1). \quad (1.50)$$

Таким образом, калибровка позволит в принципе устранить упомянутую погрешность информации, если с момента передачи калибровочного сигнала до момента передачи полезного сообщения погрешность не изменила своей величины. С помощью калибровки, проводимой с малой частотой, нельзя избавиться от быстро изменяющейся компоненты погрешности. В этом случае мы приходим к неустраняемому виду ошибок – случайным ошибкам.

1.3.2. Временные характеристики. Как следует из временной диаграммы (рис. 1.11), период опроса датчиков равен

$$T = \tau_{СИ} + \tau_{ПСИ} + (\tau_I + \tau_{II})n, \quad (1.51)$$

где $\tau_{СИ}$ – длительность синхроимпульса (СИ);

$\tau_{ПСИ}$ – длительность паузы между СИ и информационным импульсом;

τ_I – длительность информационного импульса;

n – число информационных каналов.

Период опроса датчиков в реальных системах определяется из выражения

$$T = \frac{1}{\mu F_{\max}}, \quad (1.52)$$

где F_{\max} – максимальная частота спектра передаваемого сообщения;

μ – коэффициент, зависящий от вида модуляции и способа регистрации сообщений (по теореме Котельникова $\mu = 2$).

В системах с непрерывной регистрацией на выходе каждого канала устанавливается ФНЧ с полосой пропускания, равной ширине спектра сообщения F_{\max} . С его помощью можно восстановить непрерывное сообщение из АИМ сигнала без существенных искажений при $\mu = 2,5 \dots 3$.

Особенностью низкочастотной области спектра импульсов ШИМ является то, что кроме составляющей F_1 (тактовая частота) и F_c (частота сообщения) она имеет составляющие $(F_1 - F_c)$, $(F_1 - 2F_c)$, $(F_1 - 3F_c)$ и т.д. (см. рис. 3.10 [3]). Составляющие $(F_1 - 3F_c)$ и более высокого порядка имеют незначительную амплитуду и оказывают малое влияние на погрешность измерений. Составляющую $(F_1 - 2F_c)$ необходимо учитывать. Чтобы исключить влияние этой составляющей, тактовая частота должна выбираться из условия $F_1 \geq 3,5 F_{\max}$.

Спектр импульсов, модулированных способом ФИМ, имеет составляющую F_c с очень малой амплитудой, а состав боковых полос при гармониках, кратных F_1 , намного сложнее, чем в спектре импульсов ШИМ (3.15) [3]. Кроме того, амплитуда составляющей F_c зависит от частоты сообщения. Поэтому импульсы, модулированные по времени, прежде чем пропустить через ФНЧ, необходимо преобразовать в импульсы АИМ или ШИМ (рис. 5.58 [3]). Дискретизации должна выбираться так, чтобы достаточно точно восстановить исходную функцию. Точность интерполяции зависит не только от частоты дискретизации, но и от метода интерполяции. Основные виды интерполяции: линейная, круговая, параболическая. В общем случае тактовую частоту для систем с дискретной регистрацией будем принимать $F_1 = (5...10) F_{\max}$.

Для расчета временных характеристик можно рекомендовать следующие соотношения:

Если длительность импульсов, модулированных по амплитуде, мала, они предварительно подвергаются расширению, при этом амплитуда восстановленного непрерывного сигнала на выходе ФНЧ увеличивается во столько раз, во сколько раз произошло растяжение длительности импульсов (см. рис. 5.51 [3]).

В телеметрических системах при дискретной регистрации, исследуемая непрерывная функция записывается в виде дискретных значений. Частота дискретизации должна выбираться так, чтобы достаточно точно восстановить исходную функцию. Точность интерполяции зависит не только от частоты дискретизации сообщения, но и от метода интерполяции. Основные виды интерполяции: линейная, круговая и параболическая. В общем случае тактовую частоту для систем с дискретной регистрацией будем принимать $F_1 = (5...10)F_{\max}$.

Для расчета временных характеристик можно рекомендовать следующие соотношения:

Для систем с АИМ (рис. 1.11)

$$\tau_{СИ} = (2...4)\tau_I, \tau_{ПСИ} = (1...2)\tau_{II}, \tau_{II} = \tau_{II}, \tau_{II} + \tau_{II} = T_K, \quad (1.53)$$

где T_K – интервал времени, отведенный для передачи информации по одному из каналов.

Для систем с ШИМ (рис. 1.13)

$$\begin{aligned} \tau_{СИ} &= (2...4)\tau_{\max}, \tau_{\max} = \tau_I + \Delta\tau = \tau_I + m_{ШИМ}\tau_I = \\ &= \tau_I(1 + m_{ШИМ}), \tau_{ПСИ} = (1...2)(\tau_{II} + \Delta\tau), T_K = \tau_{\max} + \tau_{II}, \end{aligned} \quad (1.54)$$

где $m_{ШИМ}$ – индекс ШИМ;

τ_I – длительность немодулированного импульса;

$\Delta\tau$ – девиация длительности импульса.

Для систем с ФИМ (рис. 1.14)

$$\begin{aligned} \tau_{СИ} &= (2...4)\tau_{И}, T_K = \Delta\tau + \tau_{И} + \tau_{П}, \Delta\tau = m_{ФИМ} T_K, \tau_{ПСИ} = \\ &= (0,4...0,8)T_K, \tau_{И} = (0,2...0,3)T_K, \tau_{П} = (0,2...0,3)T_K, \end{aligned} \quad (1.55)$$

где $m_{ФИМ}$ – индекс ФИМ;

$\tau_{И}$ – длительность информационного импульса;

$\tau_{П}$ – длительность защитного промежутка между измерительным импульсом и началом последующего канального интервала (рис. 1.14).

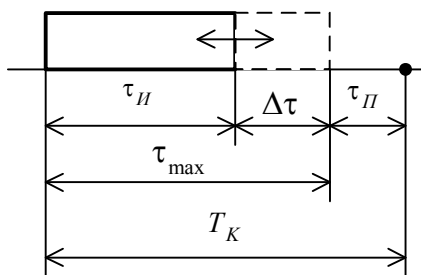


Рис. 1.13. Разметка канального интервала при ШИМ

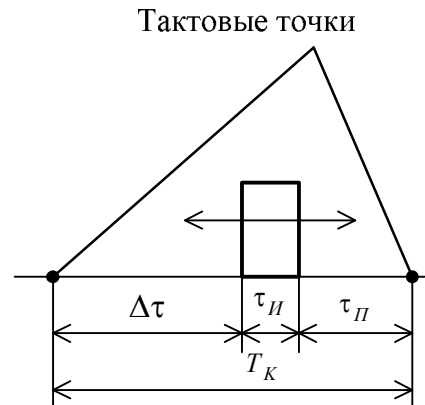


Рис. 1.14. Разметка канального интервала при ФИМ

Зная T_K можно определить частоту генератора тактовых импульсов из выражения

$$f_{ГТИ} = 1/T_K. \quad (1.56)$$

1.3.3. Искажения. В системах ТИ с ВРК возможны междуканальные помехи. Обычно причиной их является недостаточно широкая полоса пропускания группового тракта. Различают два рода таких помех:

- помехи первого рода, появляющиеся вследствие линейных искажений спектра сигнала в области низких частот;
- помехи второго рода, появляющиеся вследствие линейных искажений спектра сигнала в области высоких частот.

Помехи (искажения) первого рода могут возникать в тех случаях, когда частотная характеристика группового тракта имеет завал на низких частотах (рис. 1.15), а именно: в области спектра модулирующих частот. Вследствие нелинейности амплитудной и фазовой характеристики амплитуда составляющей на частоте Ω уменьшается в $|K(j\Omega)|K_o$ раз, а ее фаза сдвигается на угол $\varphi(\Omega)$ (рис. 1.16). На векторной диаграмме $|K(j\Omega)|U_\Omega$ – амплитуда составляющей на выходе реального усилителя, $U_\Omega K_o$ – амплитуда на выходе идеального усилителя.

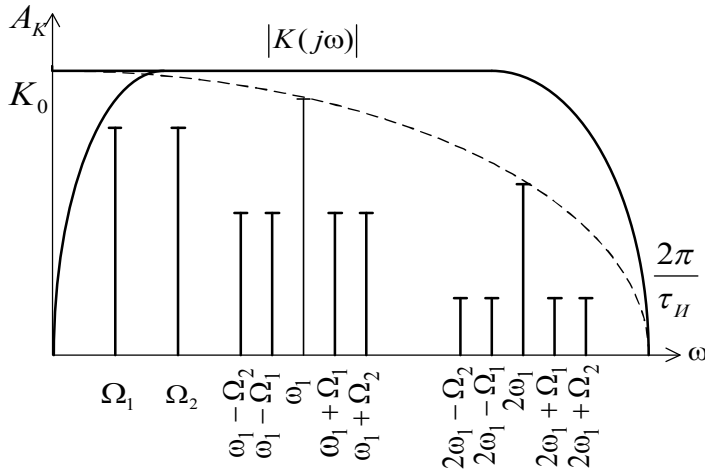


Рис. 1.15. АЧХ группового тракта

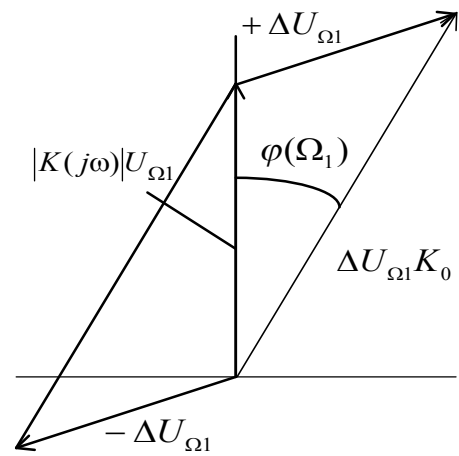


Рис. 1.16. Векторная диаграмма искажений первого рода

Тогда ошибка от искажений первого рода для АИМ при регистрации ФНЧ может быть определена из выражения

$$\delta = \frac{\tau_H}{T} \sqrt{\sum_{i=1}^n [1 + m_i^2 - 2m_i \cos \varphi(\Omega)]}, \quad (1.57)$$

где τ_H – длительность информационного импульса;

T – период опроса;

$$m_i = \frac{|K(j\Omega_i)|}{K_0}.$$

Для случая ШИМ и ФИМ, если считать все каналы независимыми, результирующую ошибку можно определить как

$$\delta = \frac{\sqrt{n(1 + m_i^2 - 2m_i \cos \varphi(\Omega))}}{TF_B}, \quad (1.58)$$

где F_B – полоса частот группового видеотракта.

Для уменьшения ошибки, вызванной этого рода искажениями, необходимо тщательно корректировать частотную характеристику группового тракта.

Пример 1.6. Определить ошибку от искажений первого рода в системе ШИМ со следующими параметрами: $n = 50$, $F_C = 10$ Гц, относительный коэффициент передачи на частоте $F_C = 10$ Гц, $M = |K(j\Omega) / K_0| = 0,9$, $\varphi(\Omega) = 10^\circ$.

Решение. Согласно выражению (1.58)

$$\delta = \frac{\sqrt{50(1 + 0,9)^2 - 2 \cdot 0,9 \cdot 0,98}}{5 \cdot 10^{-2} \cdot 10^3} = 2,8\%.$$

Искажения второго рода возникают вследствие недостаточно хорошего пропускания в групповом тракте высокочастотных составляющих спектра импульсов (см. рис. 1.15). Внешне они проявляются в растягивании импульсов и в наложении импульсов одного канала на импульсы последующих каналов (рис. 1.17).

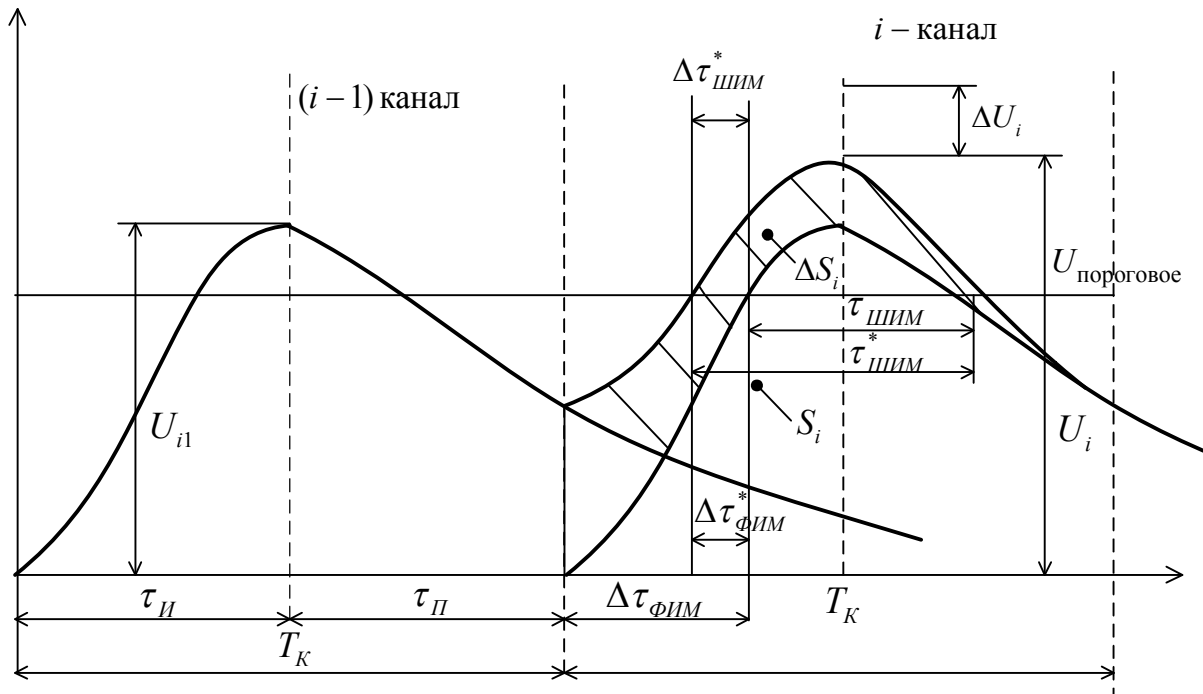


Рис. 1.17. Искажения второго рода

Как видно из рис. 1.17 при влиянии $(i-1)$ -го канала на i -й канал искажается амплитуда импульсов на величину ΔU ; длительность импульсов – на величину $\Delta\tau_{ШИМ}^*$ и временной интервал относительно тактовых точек – на величину $\Delta\tau_{ФИМ} - \Delta\tau_{ФИМ}^*$.

При демодуляции сигнала АИМ с помощью ФНЧ переходные искажения следует оценивать относительно приращения площади импульса i -го канала:

$$\delta_{АИМ} = \frac{\Delta S_i}{S_i}, \quad (1.59)$$

где S_i – площадь импульса i -го канала;

ΔS_i – приращение площади.

Подставляя в выражение (1.59) конкретные значения S_i и ΔS_i , получим

$$\delta_{АИМ} = \frac{U_{i-1}}{U_i} \cdot \frac{e^{-\frac{\pi F_B}{2\lambda n F_{\max}}}}{\frac{\pi F_B}{2\lambda n F_{\max}} - 1}, \quad (1.60)$$

где U_{i-1} – амплитуда $(i-1)$ -го импульса;

U_i – амплитуда i -го импульса;

F_B – полоса пропускания тракта на уровне 0,707;

λ – коэффициент, показывающий во сколько раз частота дискретизации в реальной системе превышает частоту по Котельникову.

Переходные искажения в системе ШИМ (ФИМ) возникают из за паразитного сдвига фронтов импульса и не зависят от изменения амплитуды, т.е.

$$\delta_{\text{ШИМ(ФИМ)}} = \frac{\Delta\tau^*}{\Delta\tau},$$

где $\Delta\tau^*$ – сдвиг переднего фронта импульса за счет влияния предыдущего канала;

$\Delta\tau$ – девиация импульса при ФИМ или его фронта при ШИМ.

При аппроксимации амплитудно-частотной характеристики группового тракта апериодическим звеном выражение для ошибки будет иметь вид

$$\delta_{\text{ШИМ(ФИМ)}} = \frac{1}{2\pi F_B \Delta\tau} e^{-2\pi F_B \tau_{II}}. \quad (1.61)$$

Как следует из формул (1.60) и (1.61), уменьшить ошибку из-за влияния предыдущего канала можно путем увеличения полосы пропускания группового тракта F_B .

Пример 1.7. Построить зависимость ошибки от полосы пропускания видеотракта, определить полосу, при которой $\delta_{\text{АИМ}} \leq 0,5\%$ в системе с АИМ при следующих параметрах: $n = 50$; $F_{\text{max}} = 10$ Гц; $\lambda = 3$; регистрация непрерывная с помощью ФНЧ.

Решение. Расчет произведем по выражению (1.60) для наихудшего случая, когда $U_{i-1} > U_i$, но при этом примем, что $U_{i-1}/U_i = (1+m)/(1-m)$, где m – коэффициент глубины АИМ. Результаты расчета приведем в табл. 1.7, графические зависимости – на рис. 1.18.

Таблица 1.7

Результаты расчета ошибок в системе с АИМ

Ошибка	Полоса пропускания F_B , кГц							
	4,18	4,4	4,57	4,77	5,1	5,53	5,9	6,2
δ , %, при $m = 0,5$	1,08	0,83	0,65	0,5	0,31	0,19	0,12	-
δ , %, при $m = 0,75$	-	1,94	1,5	1,18	0,72	0,44	0,27	0,19

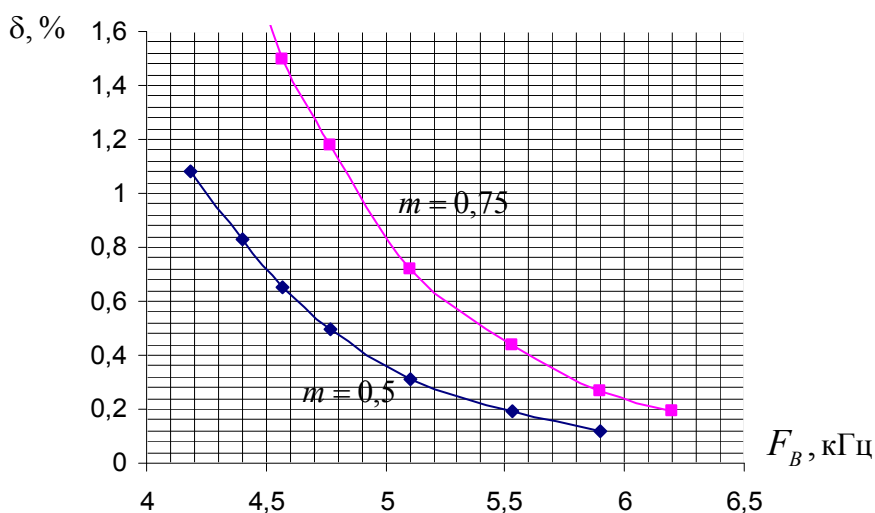


Рис. 1.18. Зависимость ошибки в системе с АИМ от полосы пропускания видеотракта

Непосредственно с графика находим, что при $\delta \leq 0,5\%$ полоса видеотракта $F_B \geq 4,8$ кГц для $m = 0,5$ и $F_B \geq 5,4$ кГц для $m = 0,75$.

1.3.4. Погрешности при восстановлении сообщений. Если функция $f(t)$ не содержит частот выше F_{\max} , то она полностью определяется своими мгновенными значениями в моменты времени, отстоящие от друг друга на $0,5 F_{\max}$, т.е. функцию с ограниченным спектром можно записать в виде тригонометрического ряда (1.30) [3]

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} f(k\Delta t) \frac{\sin 2\pi F_{\max}(t - k\Delta t)}{2\pi F_{\max}(t - k\Delta t)}. \quad (1.62)$$

Из данного ряда следует, что процесс синтезирования функции $f(t)$ сводится к суммированию откликов на бесконечную последовательность дискретных отсчетов $f(k\Delta t)$. На практике количество отсчетов ограничено, а следовательно, имеет место погрешность восстановления.

Как известно, реальные сообщения имеют конечную продолжительность по времени, а следовательно, бесконечный спектр. Однако такие сообщения относятся к классу функций, у которых практически вся энергия сосредоточена в конечных интервалах времени и полосы частот. При таком допущении, если имеется сигнал длительностью T_c с полосой частот, ограниченной F_{\max} , в соответствии с теоремой Котельникова число отсчетов, которое необходимо для полного представления сигнала, равно

$$N = T_c / T = 2F_{\max} T_c. \quad (1.63)$$

Тогда сообщение можно заменить рядом с конечным числом членов:

$$f(t) = \sum_{k=-N/2}^{N/2} f(k\Delta t) \frac{\sin 2\pi F_{\max}(t - k\Delta t)}{2\pi F_{\max}(t - k\Delta t)}. \quad (1.64)$$

Действительная функция времени $f(t)$ и функция $f^*(t)$, полученная суммированием конечного числа членов ряда, точно совпадают только в точках отсчета. В интервалах между точками отсчета появляется погрешность, имеющая наибольшее значение на краях интервала T_c , а наименьшее – в ее середине.

На рис. 1.19 приведены функции передаваемого сигнала $f(t)$ (пунктирная линия), восстановленного – $f^*(t)$ (сигнал линии) и относительная ошибка восстановления γ . Ошибка уменьшается по мере роста числа отсчетов.

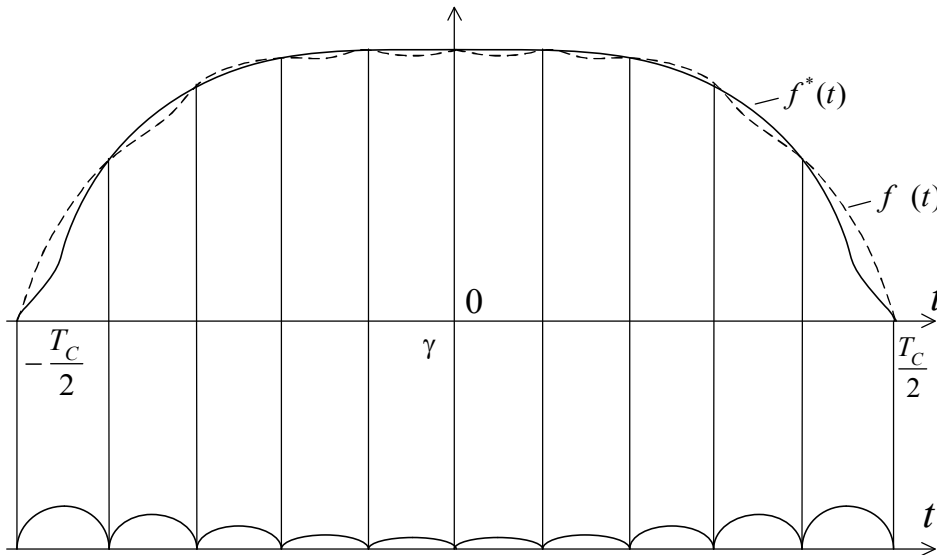


Рис. 1.19. Восстановление непрерывной функции при ограничении времени сообщения

Погрешность восстановления сообщения может быть оценена среднеквадратичной ошибкой

$$\rho_{Ткв} = 2\delta_F^2, \quad (1.65)$$

т.е. дисперсия ошибки восстановления сообщения с неограниченным спектром рядом Котельникова равна удвоенной энергии спектральных составляющих, которые не пропускаются интерполятором из-за конечности его полосы.

Демодуляционные искажения. Недостаточная селективность реального фильтра нижних частот при непрерывной регистрации приводит к прохождению на выход канала высокочастотных составляющих спектра сигнала (рис. 1.20).

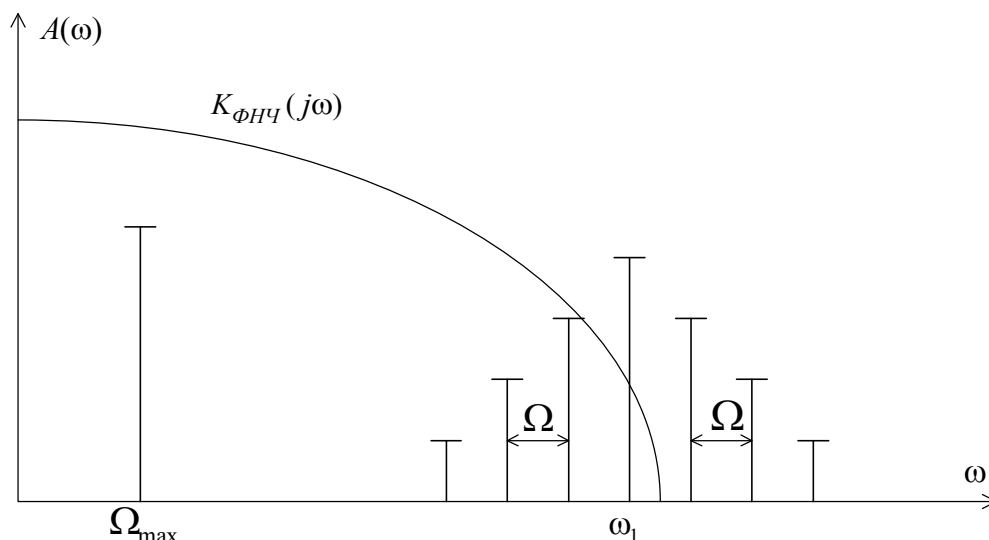


Рис. 1.20. К пояснению демодуляционных искажений

Такие искажения возникают независимо от числа каналов и вида импульсной модуляции и называются демодуляционными.

Если принять, что ФНЧ представляет собой линейный четырехполюсник с амплитудно-частотной характеристикой $K_d(j\omega)$, то относительная среднеквадратичная ошибка воспроизведения полезного сигнала будет определяться выражением

$$\gamma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{\infty} |k_{\text{ФНЧ}}(j\Omega_{\text{max}}, jn\omega_1)|^2 C^2(n\omega_1, \Omega_{\text{max}}, t)}{k_{\text{ФНЧ}}(j\Omega_{\text{max}}, jn\omega_1)^2 B^2(\Omega_{\text{max}}, t)}}, \quad (1.66)$$

где суммирование в числителе проводится по всем учитываемым компонентам спектра помех;

$C(n\omega_1, \Omega_{\text{max}}, t)$ – амплитуды спектральных составляющих на частотах $n\omega_1 \pm k\Omega_{\text{max}}$;

$B(\Omega_{\text{max}}, t)$ – амплитуда полезной составляющей.

Апертурные искажения. Полезная составляющая спектра на входе демодулирующего ФНЧ при АИМ-1 равна

$$B_{\text{АИМ-1}}(\Omega, t) = U_0 \frac{\tau_H}{T} m \sin(\Omega t + \varphi). \quad (1.67)$$

Для многоканальных систем величина полезного сигнала зависит от числа каналов и достаточно мала, так как $\tau_H \ll T$. Для увеличения амплитуды полезной составляющей при модуляции АИМ-1 преобразуют в АИМ-2, тогда

$$B_{АИМ-2}(\Omega, t) = \frac{U_0 q \tau_{И}}{T} m \frac{\sin \frac{\Omega q \tau_{И}}{2}}{\frac{\Omega q \tau_{И}}{2}} \sin(\Omega t + \varphi), \quad (1.68)$$

где $q\tau = \tau_p$ – длительность расширенных импульсов.

Нетрудно заметить, что при расширении импульсов амплитуда полезного сигнала увеличивается в q раз и появляется зависимость амплитуды от частоты модуляции.

1.3.5. Некоторые специфичные вопросы построения систем ТИ с ВРК.

В ряде случаев возникает задача передачи сообщений о медленно- и быстропротекающих процессах. Для повышения эффективности использования необходимо обеспечить возможность получения различной тактовой частоты опроса по различным каналам. Изменение тактовой частоты опроса в ТМС с постоянным числом каналов может осуществляться при помощи запараллеливания каналов или вторичной подкоммутации.

В настоящее время разработаны коммутаторы, которые позволяют изменять число каналов и тактовую частоту опроса по различным каналам перед работой и в процессе работы в зависимости от требуемой программы.

Кроме того, с целью сужения полосы частот, занимаемой системой, передачу канальных импульсов осуществляют без разделительных пауз (рис. 1.21).

Первый канал используется для посылки синхронизирующего импульса, амплитуда которого должна быть в 1,5...2 раза больше максимальной амплитуды измерительного импульса.

На приемной стороне коммутатор распределяет импульсы во времени так, что в каждом канале из приходящего импульса «вырезается» часть, менее подверженная изменениям в канале связи, что существенно уменьшает взаимное влияние.

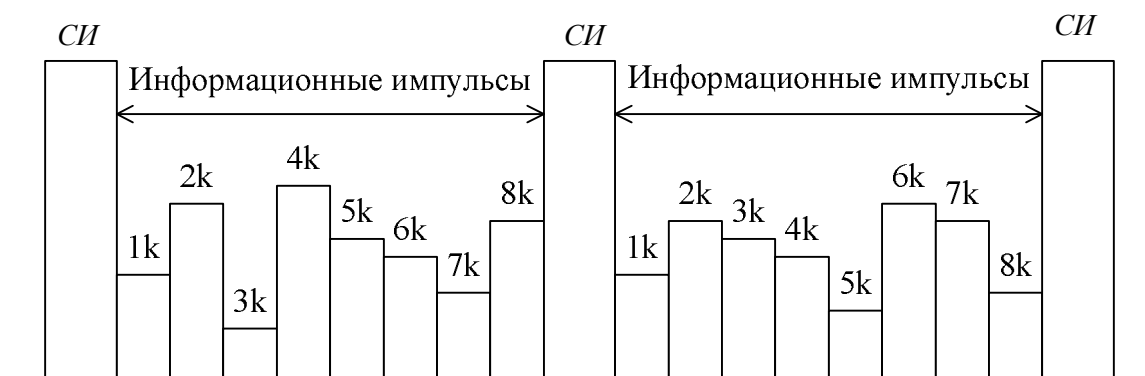


Рис. 1.21. Беспauseный метод передачи сообщений

В системах с ШИМ и ФИМ применяется контроль импульсов по длительности с помощью узла двойной дискриминации (УДД). УДД должен браковать импульсы, длительности которых меньше или больше длительности информационных импульсов при ШИМ или при ФИМ, задача дискриминации длительности импульсов с обеих сторон – сверху и снизу – решается схемой, содержащей два дискриминатора длительности (ДД) (рис. 1.22). Один из них, ДД1, настроен на порог дискриминации τ_1 , другой, ДД2 – на порог τ_2 , причем τ_1 меньше номинальной длительности полезного импульса на величину допуска, а τ_2 больше на такую же величину.

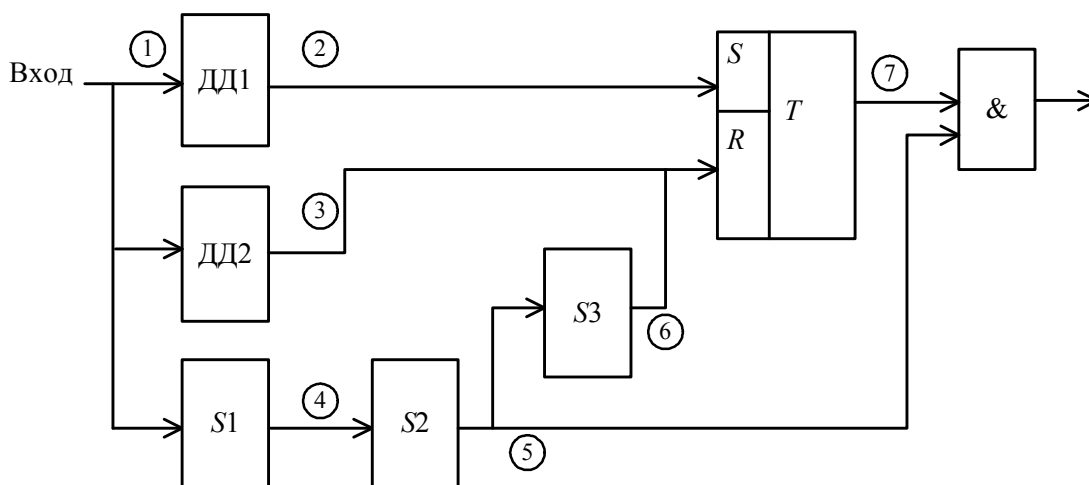


Рис. 1.22. Узел двойной дискриминации по длительности

Кроме дискриминатора, в схему входят логические элементы, с помощью которых проверяется соблюдение условия $\tau_1 < \tau_H < \tau_2$.

Признаком является то, что ДД1 срабатывает, а ДД2 не срабатывает. Проверка выполнения этих событий проводится через интервал времени τ_3 после начала импульса, причем $\tau_3 > \tau_2$.

Факт срабатывания ДД1 запоминает триггер, который переводится фронтом импульса ДД1 в состояние 1. При срабатывании ДД2 триггер возвращается в состояние 0. Опрос триггера проводится импульсом одновибратора S_2 , сдвиг которого τ_3 относительно начала отсчета задается одновибратором S_1 . Временная диаграмма работы УДД приведена на рис. 1.23.

1.3.6. Синхронизация. Синхронная и синфазная работа передающей и приемной сторон системы достигается синхронным и синфазным движением распределителей каналов. Применяются следующие способы синхронизации и синфазирования:

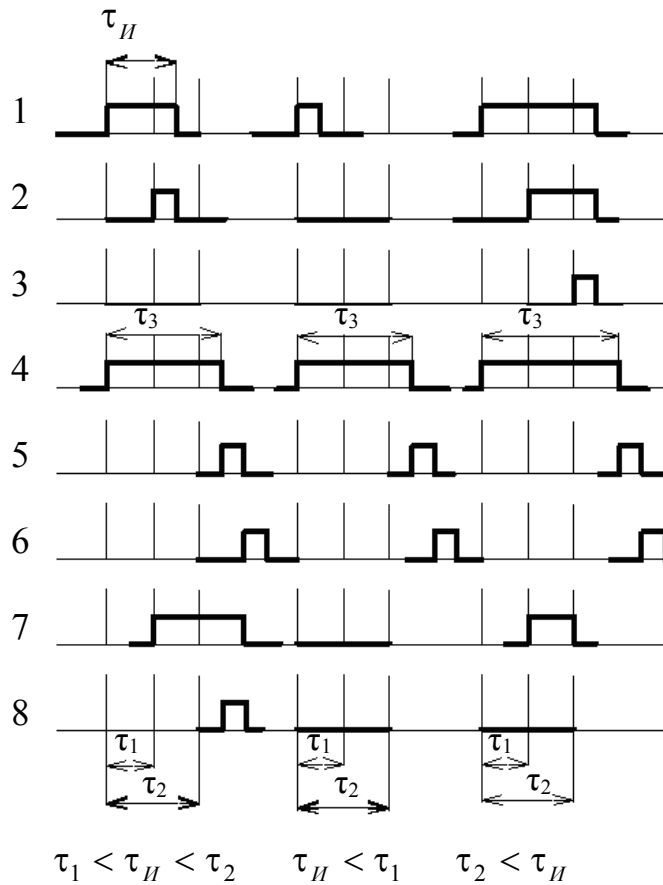
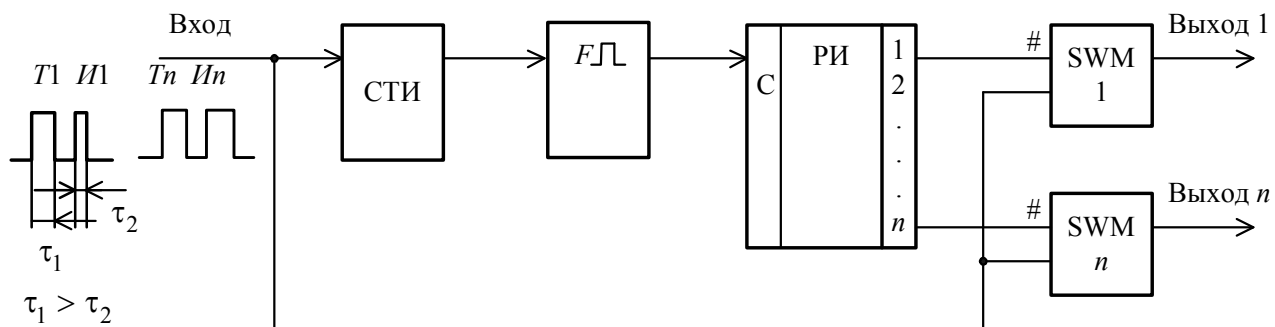


Рис. 1.23. Временные диаграммы УДД

Пошаговый, при котором каждый очередной импульс вызывает продвижение распределителя на передающей и приемной сторонах на один шаг. Пошаговый способ реализуется наиболее просто и не требует установки генератора тактовых импульсов на приемной стороне. Он может быть реализован тремя путями: передачей тактовых импульсов по специальному каналу, передачей специальных продвигающих импульсов перед каждым измеряемым и использование измерительных импульсов в качестве продвигающих. Первый путь целесообразно применять, если в данном направлении имеется более восьми информационных каналов, так как он требует такой же полосы частот как и информационные, что в условиях ограниченности полосы группового тракта требует увеличения мощности передатчика, а порой приводит к снижению помехоустойчивости.

Схема синхронизации для второго пути приведена на рис. 1.24. Этот путь требует увеличения числа импульсов на периоде опроса, а следовательно и расширения полосы частот канала связи.

Очевидно, что данный путь можно применять при небольшом количестве каналов и достаточной полосе частот.



СТИ – селектор тактовых импульсов; РИ – распределитель импульсов.

Рис. 1.24. Схема синхронизации при передаче перед каждым информационным импульсом тактового импульса

Третий путь пошаговой синхронизации применяется в таких системах, в каждом такте которых имеется импульс, несущий измерительную информацию. Примером таких систем может быть система с АИМ при условии, что нулевые значения измеряемых величин передаются импульсами минимальной амплитуды. Схема формирования тактовых импульсов и временные диаграммы для систем с АИМ и ШИМ приведены на рис. 1.25 и 1.26 соответственно.

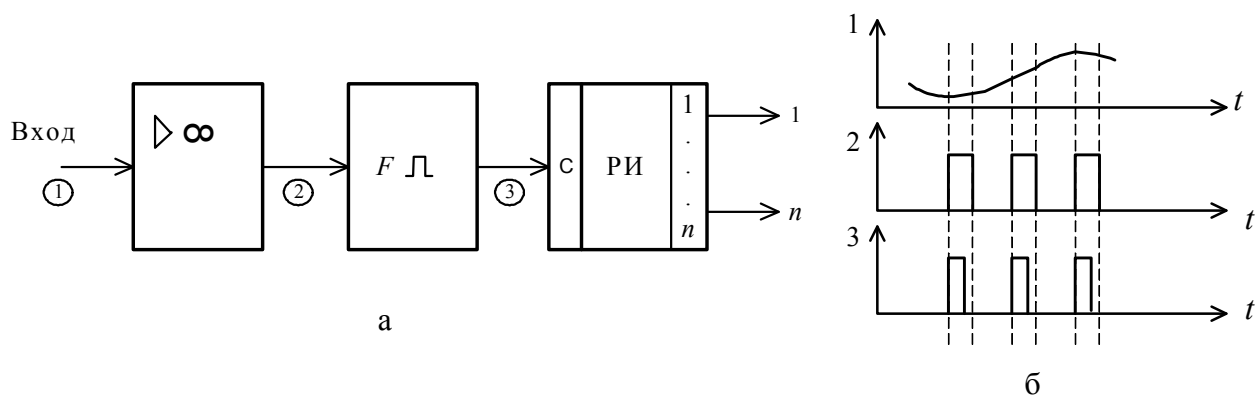


Рис. 1.25. Схема формирования тактовых импульсов из АИМ сигнала:
а – функциональная схема; б – временные диаграммы

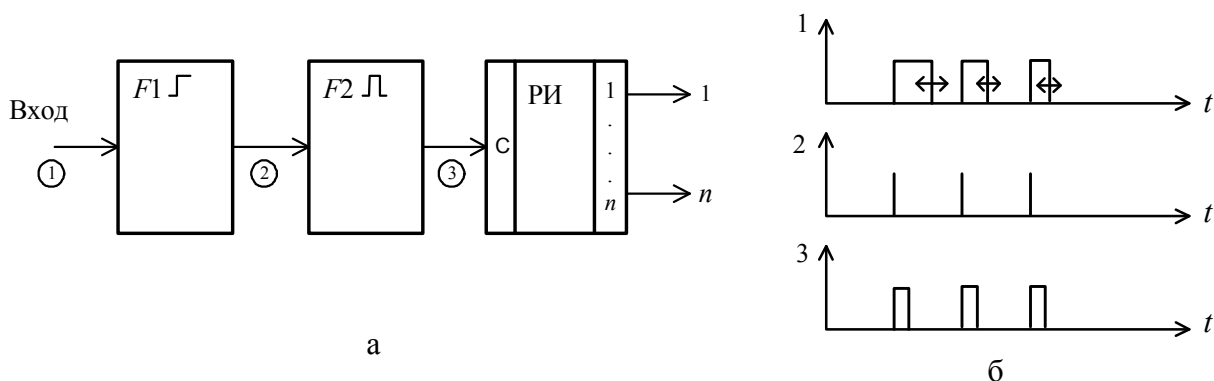


Рис. 1.26. Схема формирования тактовых импульсов из ШИМ сигнала
а – функциональная схема; б – временные диаграммы

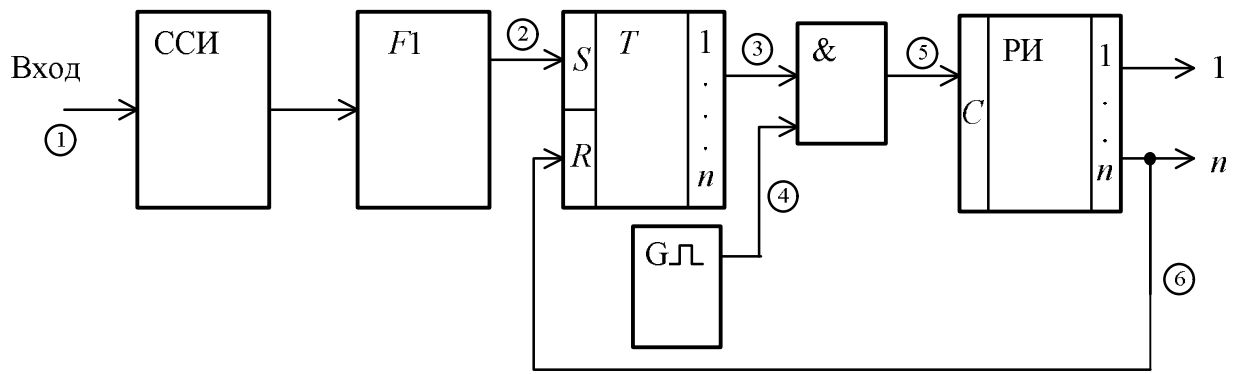
Необходимо отметить низкую помехоустойчивость пошаговой синхронизации. Появление в сигнале лишнего импульса или пропажа импульса под действием помех приводит к сбою синхронизации или к пропаже измерительной информации, если не предусмотрена защита от помех в виде счета импульсов в каждом канале.

Стартстопный способ, при котором распределители переключают канал на передающей и приемной сторонах от местных генераторов, работающих со стабильной, почти одинаковой частотой. Запуск распределителя приемной стороны, начиная с первой позиции, производится синхроимпульсом (СИ), который поступает от передатчика. Распределитель на приемной стороне останавливается после прохождения всех n позиций (каналов) до момента прихода очередного циклически посылаемого СИ, который вновь запускает РИ. Функциональная схема и временные диаграммы работы представлены на рис. 1.27.

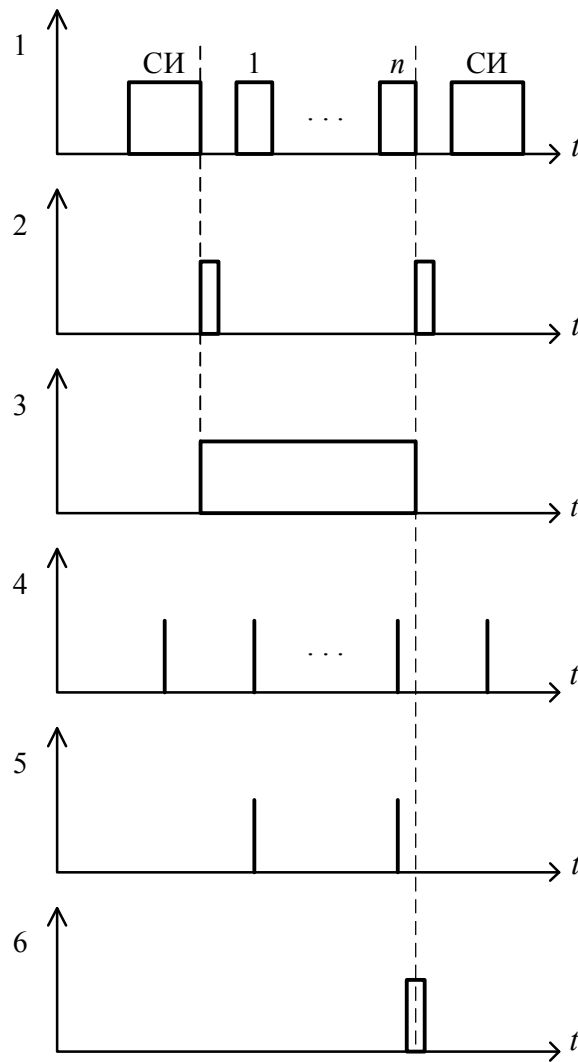
Помехоустойчивость стартстопного способа значительно выше, так как единичное искажение помехой может вызвать рассогласование в движении распределителей только в пределах цикла до прихода очередного СИ. Очередной СИ восстанавливает синхронное движение распределителей.

Циклический способ синхронизации отличается только тем, что СИ сбрасывает в исходное состояние РИ и по совершении n шагов РИ не останавливается, а продолжает работу дальше, а очередной СИ снова устанавливает его в исходное состояние. Очевидно, что для синхронизации необходимо, чтобы нестабильность частоты местного генератора была такой, чтобы рассинхронизация не происходила в течение цикла. Схема циклического способа синхронизации приведена на рис. 1.28.

Инерционный способ, при котором так же, как и при стартстопном способе, циклически передаются синхроимпульсы. Однако распределители переключаются от стабильных по частоте местных тактовых генераторов равномерно, без остановки в конце цикла. Синхроимпульсы воздействуют на частоту ГТИ в небольших пределах обычно через инерционное звено. Для приема синхроимпульсов применяется стробирование и другие меры, уменьшающие влияние помех в интервалы времени, в которые не ожидается приход синхроимпульсов. Структурная схема, реализующая этот способ, приведена на рис. 1.29.



а



б

ССИ – селектор синхроимпульса
 Рис. 1.27. Стартстопный способ синхронизации
 а – функциональная схема; б – временные диаграммы

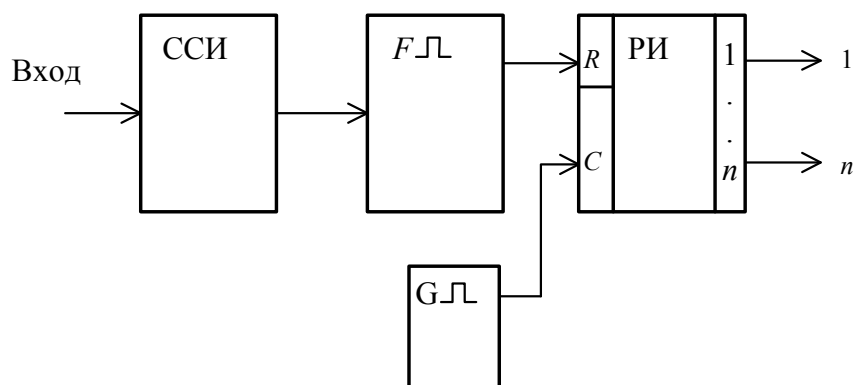


Рис. 1.28. Циклический способ синхронизации

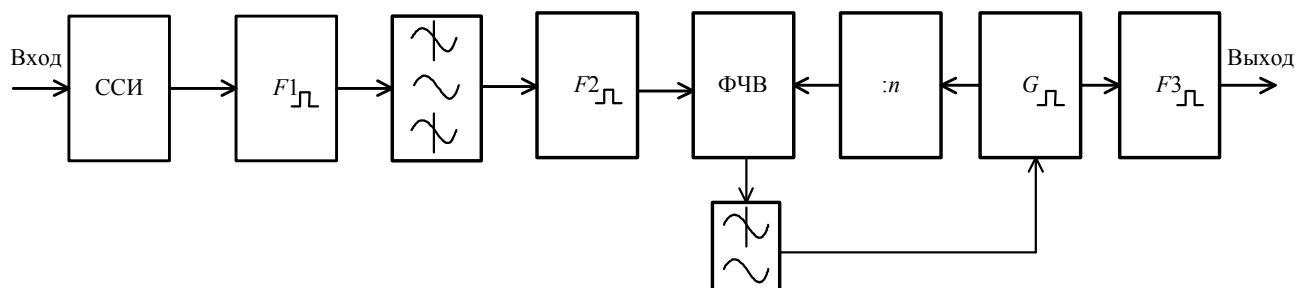


Рис. 1.29. Схема инерционного способа синхронизации

Синхроимпульсы, поступающие из канала связи, селективируются ССИ и через полосовой фильтр (ПФ), на выходе которого выделяется первая гармоника импульсного сигнала, поступающая через формирователь $F2$ на один из входов фазочувствительного выпрямителя (ФЧВ), на второй вход ФЧВ поступает сигнал от управляемого напряжением генератора G через делитель. Если эти сигналы не совпадают по фазе, то на выходе ФЧВ появляется сигнал рассогласования, который через фильтр нижних частот (ФНЧ) регулирует частоту генератора G до получения значения сигнала на выходе ФЧВ, равным нулю. Этот способ синхронизации имеет резко увеличенную помехоустойчивость и применяется в условиях с высоким уровнем помех.

В заключение следует отметить, что использование метода временного разделения каналов позволяет создать сравнительно простые по устройству, надежно работающие системы с большим числом каналов, причем при необходимости регистрации сообщений в цифровой форме, преобразование сигнала из аналоговой формы в двоичный код производить в приемной части.

1.4. Телеметрические системы с частотно-временным разделением каналов

1.4.1. Структурная схема. Частотно-временное разделение каналов (ЧВРК) использует основные преимущества частотного и временного разделений: отсутствие канала синхронизации и импульсную работу. Достигается это тем, что каждому каналу, работающему на своей поднесущей частоте, отводится промежуток времени для передачи.

Структурные схемы КП и ПУ приведены на рис. 1.30 и 1.31 соответственно.

На передающей стороне каналные сигналы формируются с помощью генераторов поднесущих частот, которые модулируются по закону исходных сообщений. В этой части имеется аналогия с ЧРК. Далее каналы попеременно опрашиваются распределителем, как это имеет место при ВРК. Сигналы на входе вторичного модулятора представляют собой последовательность радиоимпульсов, модулированных по амплитуде, фазе или частоте поднесущего колебания. Этими сигналами модулируется по какому-либо параметру генератор несущей.

Схема приемной стороны ничем не отличается от схемы при ЧРК. Сигналы разделяются каналными фильтрами и направляются к демодуляторам поднесущих частот и другой каналной аппаратуре.

1.4.2. Спектр сигналов и полоса частот. Поочередная модуляция несущего колебания каналными сигналами приводит к тому, что в каждый момент времени спектр сигналов в линии связи содержит только составляющие, обусловленные несущей частотой и одной из поднесущих с ее боковыми составляющими. При коммутации каналов картина спектра изменяется, что иллюстрируется рис. 1.32.

Ширина полосы частот сигналов определяется здесь так же точно, как и при ЧРК с соответствующим видом модуляции в первой и второй ступенях. Радиоимпульс может подвергаться искажениям, если его огибающая недостаточно хорошо аппроксимирована ВЧ заполнением. Так, например, длительный переходный процесс нарастания и затухания ВЧ колебаний приведет к растягиванию фронта и спада даже в том случае, если модулирующий импульс имел идеально прямоугольную форму. Из этих соображений период ВЧ колебаний должен быть значительно меньше длительности посылки:

$$T_1 \leq 0,1\tau, \quad (1.69)$$

но длительность импульса не должна превышать половины времени, отведенного для передачи информации данного канала, т.е.

$$\tau \leq 0,5T_k = 0,5T / n = 0,5 \cdot 0,5T_{\max} / n, \quad (1.70)$$

где T – период опроса каналов (по теореме Котельникова $T \leq 0,5T_{\max}$).

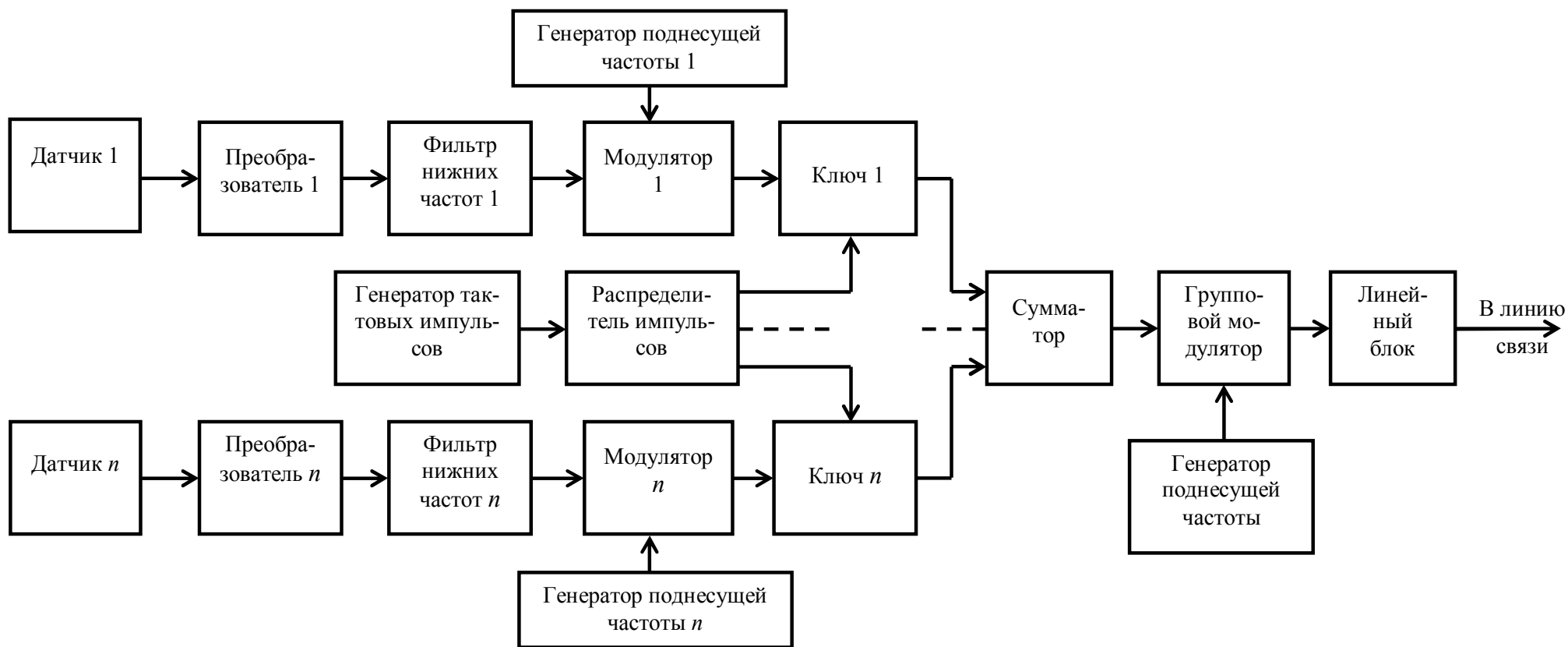


Рис. 1.30. Структурная схема КП телеметрической системы с ЧВРК

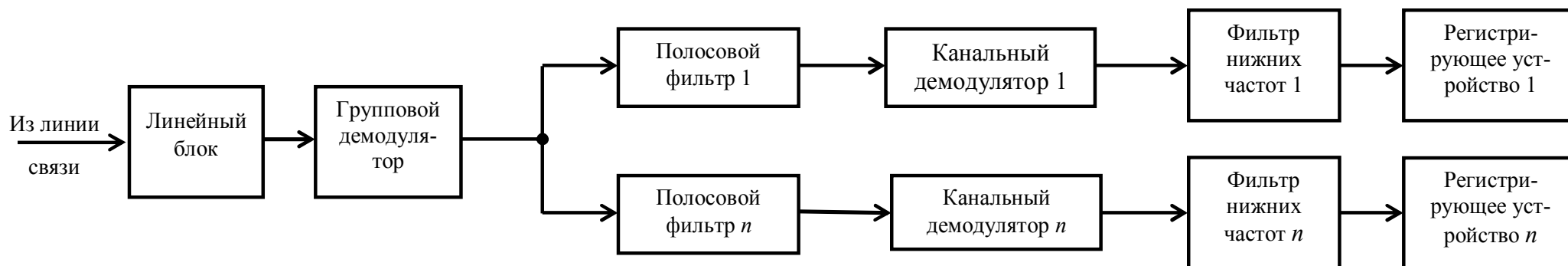


Рис. 1.31. Структурная схема ПУ телеметрической системы с ЧВРК

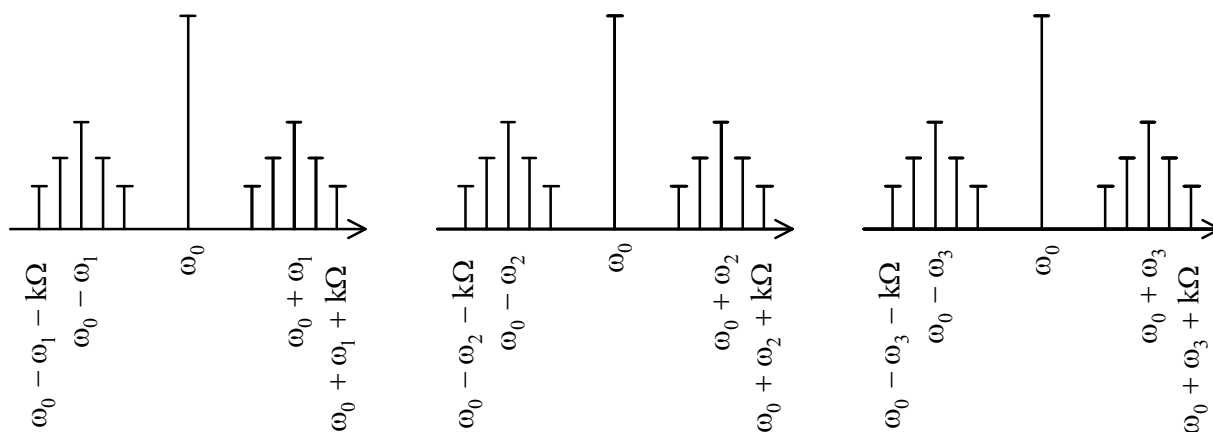


Рис. 1.32. Спектры сигналов в линии связи в моменты времени t_i

Подставив (1.70) в (1.69), получим

$$T_1 \leq 0,1 \cdot 0,5 \cdot \frac{1}{n} \cdot 0,5T_{\max} = 0,0025 \frac{T_{\max}}{n}, \quad (1.71)$$

откуда частота первой поднесущей

$$F_{П1} \geq 40nF_{\max}. \quad (1.72)$$

При одинаковом F_{\max} первая поднесущая при ЧВРК оказывается в $4n$ раз выше, чем при ЧРК.

1.4.3. Энергетические показатели. При ЧВРК, как и при ВРК, каналы включаются поочередно. Поэтому зависимость мощности составляющих полезного сигнала от числа каналов исключена. В результате энергетические показатели примерно эквивалентны показателям ВРК.

1.4.4. Искажения сигналов. Канальные фильтры имеют характеристики, не спадающие до нуля даже для значительных расстроек от полосы пропускания. А поэтому эффект проникновения напряжения одного канала в полосу другого будет иметь место, но в данном случае влияние их совершенно отличается от частотного разделения. Они не могут вызвать паразитную АМ, так как не действуют одновременно с полезным сигналом, а поэтому могут быть легко устранены простым ограничением канального сигнала снизу. А это значит, что требования к канальным фильтрам могут быть менее жёсткими, чем при ЧРК.

Что касается перекрестных искажений, то их уровень также ниже, чем при ЧРК, так как поднесущие разнесены во времени, а следовательно, не могут присутствовать комбинационные частоты. Входной сигнал есть напряжение одной лишь поднесущей, а выходной сигнал

$$\begin{aligned}
 U_{\text{вых}} &= a_1 \cos \omega_1 t + a_2 \cos^2 \omega_1 t + a_3 \cos^3 \omega_1 t = \\
 &= (a_1 + \frac{3}{4} a_3) \cos \omega_1 t + \frac{1}{2} a_2 (1 + \cos 2\omega_1 t) + \frac{1}{4} a_3 \cos 3\omega_1 t.
 \end{aligned}
 \tag{1.73}$$

Хотя выражение (1.73) указывает, что из-за нелинейности тракта на выходе его будут появляться вторые и третьи гармоники основной частоты, но их амплитуды сравнительно малы и могут быть устранены с помощью ограничения снизу.

1.4.5. Выбор поднесущих частот. Исходя из перекрестных помех, необходимо при выборе поднесущих соблюдать одно лишь требование: соседние частоты должны быть выбраны так, чтобы они и их гармоники подавлялись канальным фильтром до уровня, меньшего порога срабатывания канальной аппаратуры. При этом первая поднесущая определяется выражением (1.72), а полосы канальных фильтров – максимальной составляющей модулирующей функции и видом первичной модуляции.

1.5. Цифровые телеметрические системы

Принцип действия цифровой телеметрической системы сводится к следующему.

Вся информация с датчиков, имеющая аналоговый вид, преобразуется в цифровую форму аналого-цифровым преобразователем (АЦП) (в случае использования цифровых датчиков такой преобразователь не нужен). Затем формируется полный цифровой телеметрический сигнал, который обеспечивает высокую помехоустойчивость и эффективность. Выход приемного устройства телеметрической системы подключается к системе обработки информации, представляющую собой ЭВМ. Таким образом, последовательная цифровая передача и обработка информации приводит к телеметрической системе, обладающей такими ценными свойствами, как хорошее качество, большая скорость передачи-приема сообщений, высокая степень автоматизации (в особенности процессов обработки), надежность, гибкость и т.д. Учитывая все это, понятен тот интерес, который проявляется в настоящее время к цифровым системам ТИ.

1.5.1. Структурная электрическая схема. На рис. 1.33 представлена структурная схема КП, а на рис. 1.35 – временная диаграмма его работы. Всей работой управляет генератор тактовых импульсов (ГТИ), частота импульсов которого выбирается в зависимости от скорости преобразования в АЦП, скорости передачи информации по каналу связи и числа каналов. Преобразователь параллельного кода в последовательный подсчитывает такты и определяет границы подциклов. Под подциклом понимается время, отведенное для передачи информации по одному информационному каналу. Распределитель каналов подсчитывает подциклы и определяет границы циклов (диаграмма 3). Таким образом, в каждый момент времени открыт только один ключ коммутатора и

аналоговое сообщение от соответствующего датчика поступает на вход АЦП, где, как правило, преобразуется в двоичный код (цифровой эквивалент). Неизбыточная кодовая комбинация поступает в устройство защиты от ошибок (УЗО), где кодируется в одном из помехозащищенных кодов и через сумматор поступает на вход группового модулятора. Учитывая, что в цифровых телеметрических системах предъявляются более жесткие требования к синхронизации, чем в системах с ВРК, а это связано с тем, что каждому отсчету соответствуют n разрядов, в системе предусмотрено устройство формирования синхросигналов. В качестве синхросигналов применяется специальная кодовая комбинация. Частота следования слов (т.е. частота коммутации сообщений) и двоичных разрядов отличаются в n раз, где $n=k+r$ – разрядность слова. Поэтому слова на выходе УЗО следуют друг за другом плотно, без временных пауз (диаграмма 8).

Операция формирования полного телеметрического сигнала заканчивается в сумматоре. Таким образом, полный сигнал кодо-импульсно-модулированный (КИМ) – это последовательность единиц и нулей, несущих информацию о результатах отдельных измерений и различную вспомогательную информацию. Разметка телеметрического цикла (кадра) в цифровой форме на выходе сумматора представлена на диаграмме 9 рис. 1.35.

С выхода сумматора КИМ сигнал поступает на модулятор передатчика. Вообще говоря, в цифровой системе может быть применен любой вид манипуляции несущей – АМП, ЧМП или ФМП, но с точки зрения повышения помехоустойчивости наиболее предпочтительны ФМП (ОФМП), затем ЧМП. Таким образом, высокочастотный сигнал цифровой телеметрической системы имеет двойную модуляцию КИМ-ЧМП или КИМ-ФМП (ОФМП). В случае применения радиолиний может потребоваться тройная модуляция (например, КИМ-ЧМП-ФМ), которая позволяет сформировать спектр высокочастотного телеметрического сигнала таким образом, чтобы облегчить выделение несущей в приемном устройстве для синхронного детектирования.

Структурная схема ПУ приведена на рис. 1.34. Сигнал КИМ с приемника, где проведено детектирование несущей частоты, фильтрация и усиление сигнала, поступает в устройство демодуляции КИМ. Поскольку двоичный сигнал искажен помехой, перед обработкой он проходит через восстановитель, который отфильтровывает помеху и генерирует импульсы стандартной формы.

Восстановитель представляет собой управляемый интегратор, который накапливает (рис. 1.36) выходное напряжение с детектора приемника в течение одной двоичной единицы. Если в течение этого времени напряжение на интеграторе превысило некоторый порог, считается, что была принята «1», в противном случае считается «0». В первом случае восстановитель выдает стандартный импульс. В конце интервала интегрирования происходит сброс напряжения интегратора.

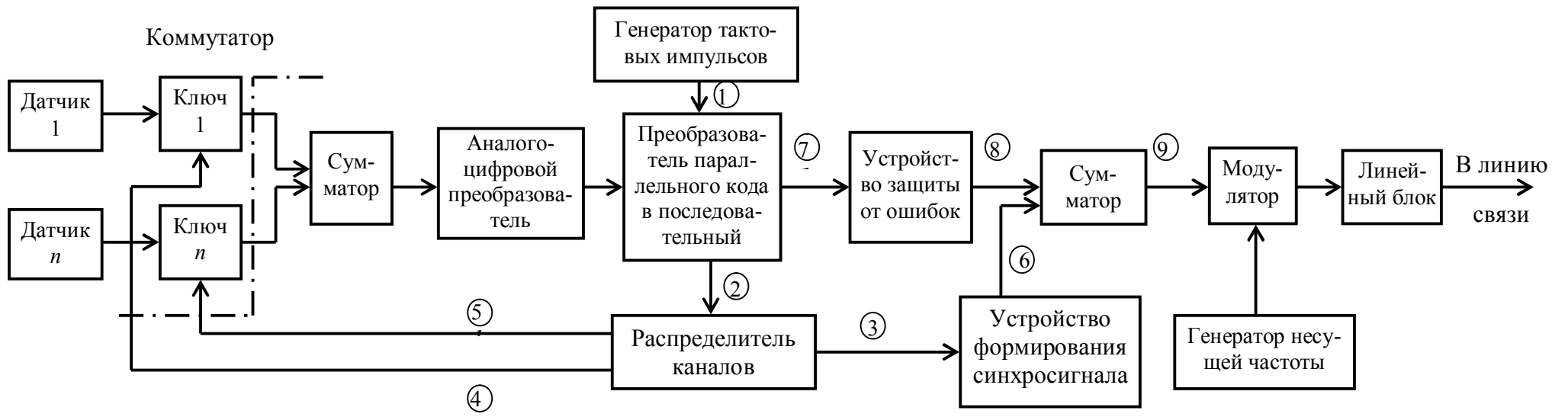


Рис. 1.33. Структурная схема КП цифровой телеметрической системы

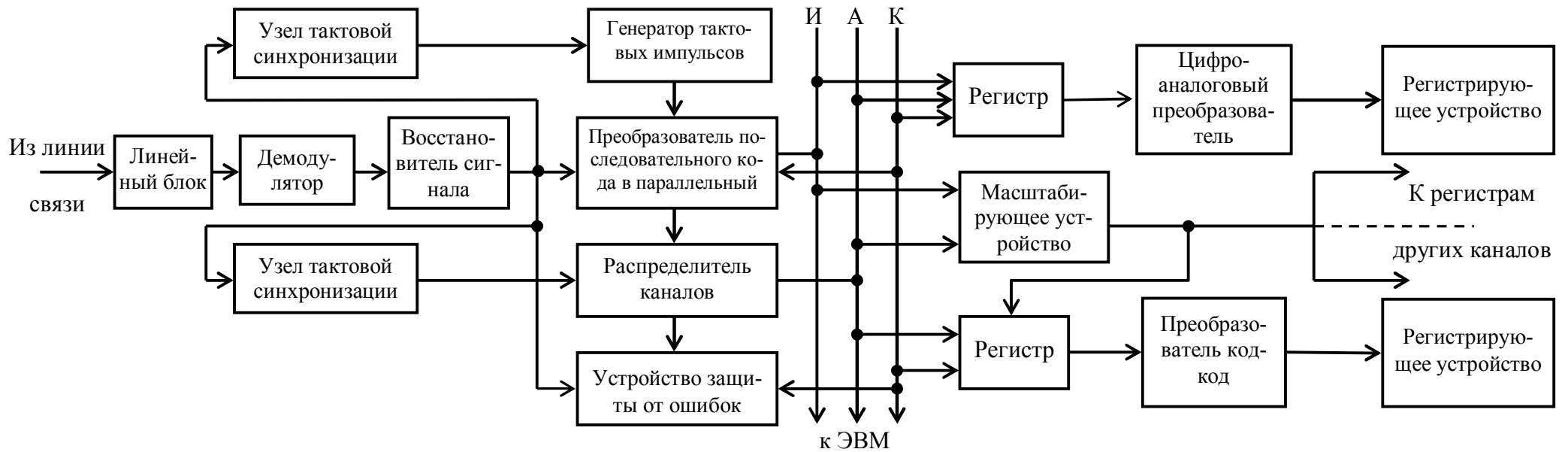


Рис. 1.34. Структурная схема ПУ цифровой телеметрической системы

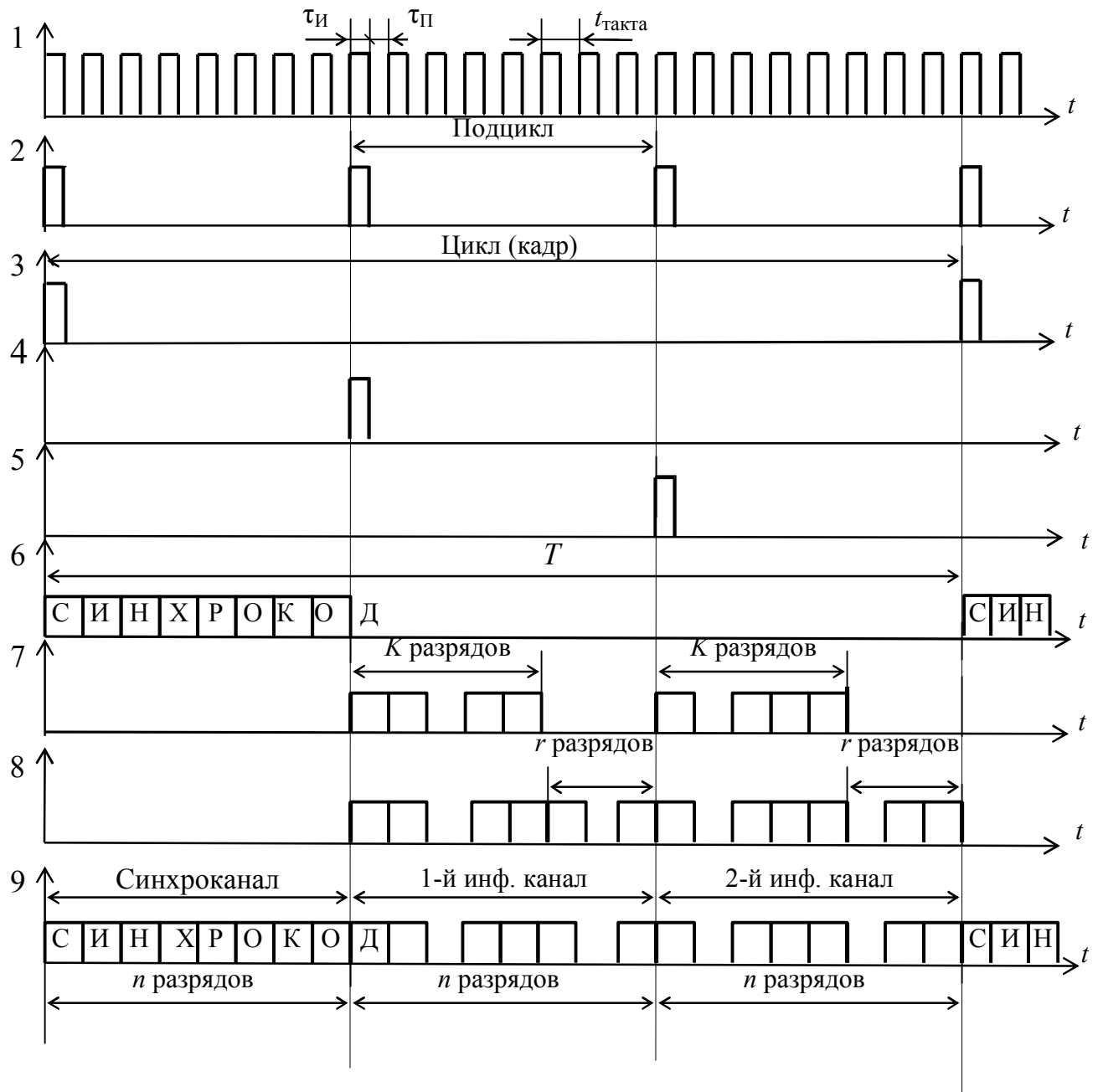


Рис. 1.35. Временные диаграммы работы КП

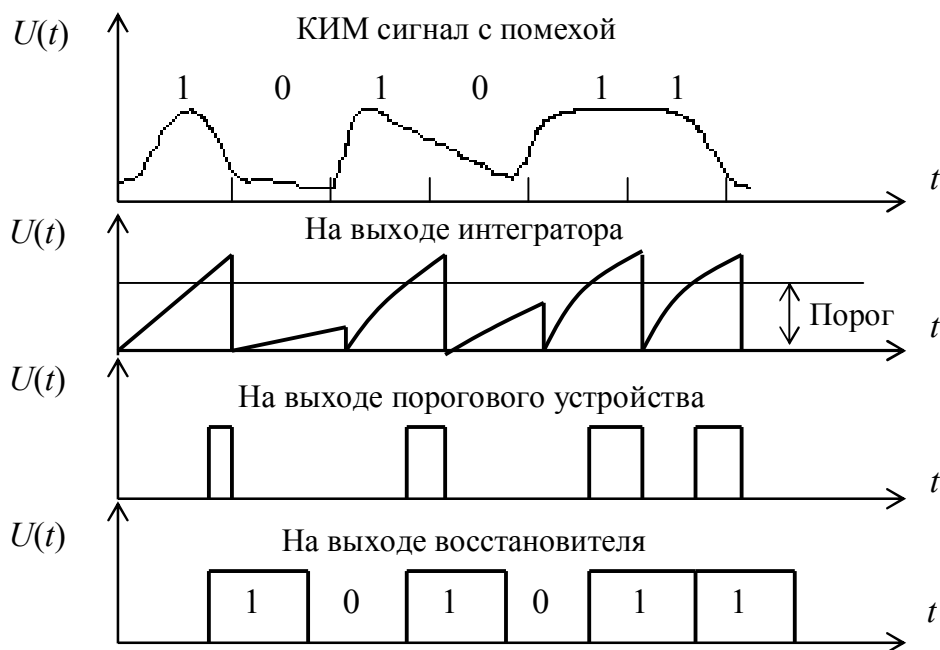


Рис. 1.36. Временные диаграммы работы восстановителя сигнала

Работа приемной части управляется двумя типами синхронизирующих устройств: узлом тактовой синхронизации (УТС) и узлом цикловой синхронизации (УЦС). Для подстройки частоты и фазы местного генератора тактовых импульсов может быть использована инерционная система ФАП или система дискретной подстройки. Импульсы синхронизации кодовых слов и циклов получают в устройстве цикловой синхронизации.

Информационные символы принимаются преобразователем последовательного кода в параллельный, который выполняет ответные функции аналоговому преобразователю КП и записывает их в запоминающее устройство. Перед регистрацией производится коррекция ошибок. В УЗО имеются схемы, анализирующие принятые кодовые комбинации, и при необходимости производится их исправление в запоминающем устройстве и выдается разрешение на шину *K*. Адрес канала выдает распределитель каналов путем подачи сигнала на шину *A*. Исправленная кодовая комбинация поступает на шину *И*. Шины *A*, *K* и *И* многоразрядные. С этих шин информация в случае необходимости поступает в ЭВМ и на индивидуальные регистрирующие устройства, которые могут быть как аналоговыми, так и цифровыми. При аналоговом воспроизведении полезных сообщений информация из канальных регистров поступает на входы цифроаналоговых преобразователей (ЦАП), где преобразуется с необходимым коэффициентом в аналоговую величину и поступает на вход регистрирующих устройств.

При цифровой регистрации цифровые эквиваленты снимаются с шины *И*, поступая затем на вход масштабирующих устройств, где происходит их умно-

жение на соответствующие коэффициенты с целью вывода информации в абсолютных единицах. Масштабирующее устройство является общим для всех каналов. Промасштабированные цифровые эквиваленты записываются в каналные регистры, а затем через преобразователь код – код поступают на цифровые регистраторы. Преобразователь код – код производит преобразование цифрового эквивалента в рабочий код регистрирующего устройства.

1.5.2. Структура сигналов в цифровой телеметрической системе с циклической передачей кодовых сообщений состоит из времени передачи синхрочода $t_{ск}$ и времени передачи измерительного эквивалента $t_{к}$ (рис. 1.37).

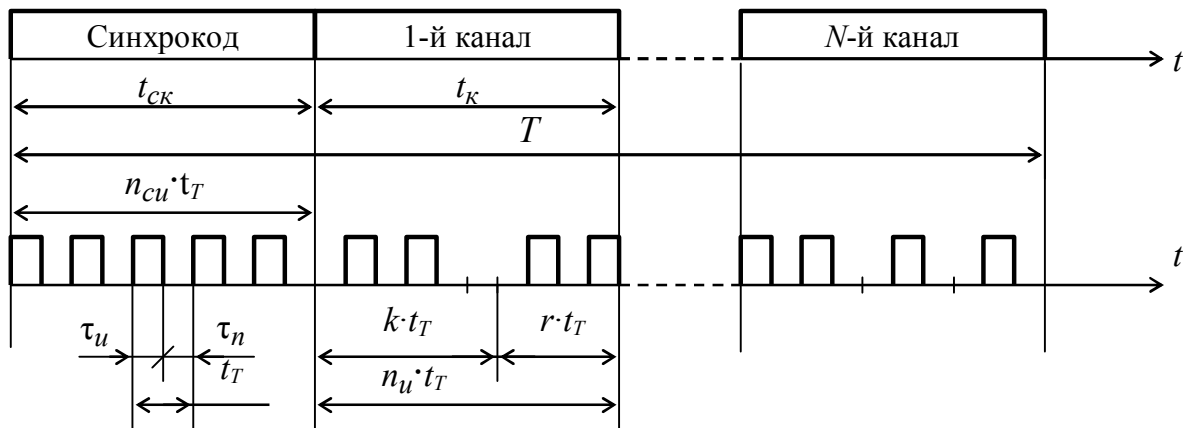


Рис. 1.37. Временная структура каналных сигналов в телеметрической системе с циклическим опросом датчиков

Сумма $t_{ск} + N \cdot t_{к}$ образует период опроса одного датчика

$$T = \frac{1}{(5...10)F_{\max}}$$

Принимая $t_{ск} = t_{к}$, получим, что

$$T = (N + 1) \cdot t_{к},$$

где N – число информационных каналов.

Таким образом,

$$t_{к} = \frac{T}{N + 1} = \frac{1}{(5...10)F_{\max} \cdot (N + 1)}. \quad (1.74)$$

Время передачи бита (длительность такта) при длине кодовой комбинации $n_u = k + r$ будет

$$t_T = \frac{t_{к}}{n_u} = \frac{t_{к}}{k + r},$$

где k – число информационных символов, определяемых из выражения для приведенной погрешности

$$\delta\%_{прив} = \frac{50}{2^k - 1}; \quad (1.75)$$

r – число контрольных символов.

Зная t_T , определим частоту генератора тактовых импульсов.

$$f_{ГТИ} = \frac{1}{t_T} = \frac{n_u}{t_k} = (5...10)F_{\max} \cdot (N + 1)n_u. \quad (1.76)$$

1.5.3. Адресные телеметрические системы. В настоящее время к телеметрическим системам предъявляются повышенные требования к информативности и информационной гибкости. Так, например, телеметрические системы должны обеспечивать измерение нескольких сотен параметров с различными значениями максимальной частоты их спектра (от долей герца до нескольких десятков килогерц). Такие требования исключают применение телеметрических систем ЧРК и ограничивают использование систем с ВРК. Поэтому получили распространение цифровые телеметрические системы с кодовым разделением каналов (адресные системы ТИ). При кодовом разделении каналов для передачи информации по каждому каналу отводится временной интервал, аналогичный, как и в цифровой телеметрической системе, с циклическим опросом датчиков, структурная схема КП которой приведена на рис. 1.33, но сигнал каждого канала состоит из двух частей: адресной и информационной. Адресная часть сигнала содержит информацию о номере канала и предшествует информационной. Ввиду того, что каждое измерение снабжено адресом, сигналы различных каналов могут передаваться в любом порядке, который можно изменить в процессе передачи; последнее очень важно для увеличения информационной гибкости системы, использования устройств, уменьшения избыточности и т.д.

На рис. 1.38 приведена структурная схема КП телеметрической системы с кодовым разделением каналов.

В устройстве памяти адресов заложена программа опроса каналов. Эта программа записывается в устройство памяти адресов перед работой и может изменяться в процессе работы. Импульсы управления, поступающие с устройства управления, считывают адреса номеров каналов и подают их в коммутатор и формирователь кадра. В коммутаторе производится опрос того канала, адрес которого поступил с устройства памяти адресов. Полезное сообщение поступает в преобразователь аналог-код, где преобразуется в двоичный код информационной части слова. В формирователе кадра к каждой информационной части слова приписывается адрес и необходимые синхросигналы. С выхода формирователя кадра групповой сигнал подается на передатчик. Аппаратура ПУ будет в основном отличаться тем, что вместо коммутатора каналов необходимо будет использовать дешифратор адресов каналов.

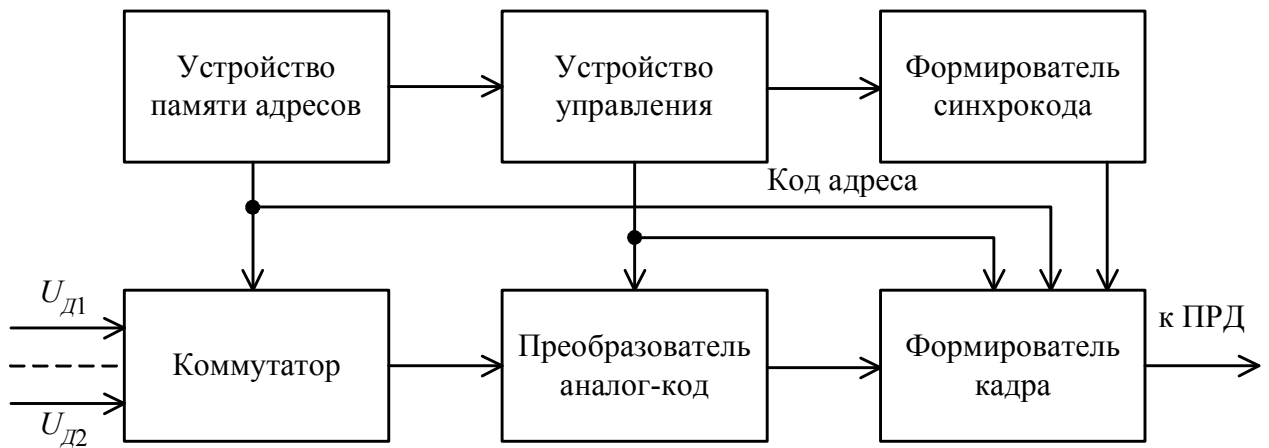


Рис. 1.38. Структурная схема КП цифровой системы с кодовым разделением каналов

1.5.4. Структура сигналов в системе, реализующей адресно-кодовый принцип, состоит из времени передачи синхрокода $t_{ск}$, времени передачи кода адреса $t_{ак}$, времени передачи кода измерительного сигнала $t_{ук}$, а в случае, если число каналов в процессе работы будет меняться, то и кода конца $t_{кц}$ (рис. 1.39), т.е.

$$T = t_{ск} + N(t_{ак} + t_{ук}) + t_{кц}. \quad (1.77)$$

При выборе синхрокода накладываются следующие ограничения: ни одна из разрешенных адресных и измерительных кодовых комбинаций или произвольно вырезанные из них два участка даже при наличии искажений не должны являться синхрокодом или вероятность появления такой ситуации должна быть ничтожно мала.

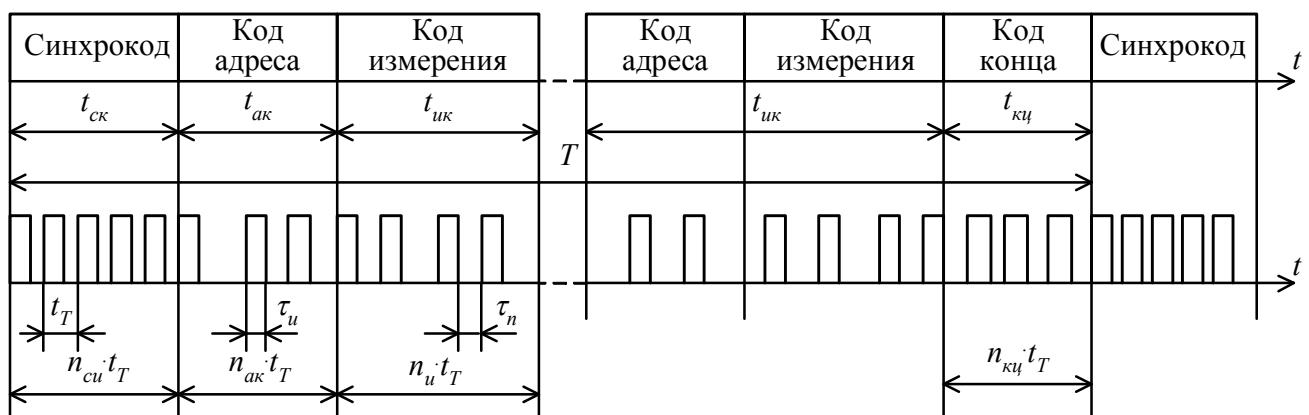


Рис. 1.39. Временная структура канальных сигналов в телеметрической системе с кодовым разделением каналов

Число разрядов кода адреса определяется из выражения

$$n_{ак} = E \log N, \quad (1.78)$$

где N – число информационных каналов.

Все остальные параметры рассчитываются также как и в подразд. 1.5.2.

1.5.5. Спектр кодовых сигналов определяется спектром последовательности прямоугольных импульсов и занимает полосу частот, равную

$$\Delta F = 1/\tau_u,$$

где τ_u – длительность элементарного сигнала.

1.5.6. Выбор кодов. Для передачи дискретных значений измеряемых параметров в цифровых системах применяются, как правило, числовые равномерные коды. Однако обыкновенные коды непомяхостойчивы. Поэтому с целью повышения помехостойчивости применяются обладающие свойствами обнаружения и исправления избыточные коды, принципы построения которых и кодирующие-декодирующие устройства рассмотрены в [2], а оценка их помехостойчивости – в [1]. Выбор конкретного кода производится в зависимости от типа помех, действующих в канале связи, и от вида искажений кодовых комбинаций.

Пример 1.8. По каналу связи, в котором преобладают одиночные ошибки, передается 15 кодовых сообщений. Вероятность искажения кодового элемента $P_1 = 10^{-3}$. Выбрать метод защиты сообщений, обеспечивающий вероятность ошибочного приема: а) менее 10^{-5} , б) менее 10^{-10} .

Решение. Определим $P_{н.ош}$ для кода с защитой по паритету. При общем числе разрядов $n = 4 + 1 = 5$ находим

$$P_{н.ош} = C_5^2 P_1^2 (1 - P_1)^3 = 10 \cdot 10^{-6} \cdot 0,999^3 \approx 10^{-5}.$$

Находим $P_{н.ош}$ для кода с постоянным числом единиц. Принимаем $m = 2$ в каждой из 15 комбинаций, тогда из $C_n^2 = 15$ $n = 6$. Тогда

$$P_{н.ош} = (C_6^2 - 1)(P_1^2 (1 - P_1)^4 + P_1^4 (1 - P_1)^2) = 14(10^{-6} \cdot 0,999^4 + 10^{-12} \cdot 0,999^2) \approx 1,4 \cdot 10^{-5},$$

вероятность необнаруженной ошибки в коде с повторением при $n = 2n_0=8$:

$$P_{н.ош} = C_4^1 P_1^2 (1 - P_1)^6 + C_4^2 P_1^4 (1 - P_1)^4 = 4 \cdot 10^{-6} \cdot 0,999^6 + 6 \cdot 10^{-12} \cdot 0,999^4 \approx 0,4 \cdot 10^{-5}.$$

Такой же вероятностью ошибки оценивается помехоустойчивость корреляционного кода.

Для кода с повторением и инверсией (инверсного)

$$P_{н.ош} = C_4^2 P_1^2 (1 - P_1)^4 + C_4^4 P_1^8 = 6 \cdot 10^{-12} \cdot 0,999^4 + 10^{-24} \approx 6 \cdot 10^{-12}.$$

Таким образом, для обеспечения требуемой помехоустойчивости по критерию вероятности ошибочного приема для случая «а» следует выбрать защиту кодом с повторением либо корреляционным, а для случая «б» – только кодом с повторением и инверсией.

В заключение укажем основные достоинства цифровых телеметрических систем:

- прием сигнала сводится не к измерению, а к обнаружению «1» или «0»;
- сообщение в цифровой форме легко обрабатывается, запоминается и коммутируется;
- возможность многократной передачи без накопления ошибок;
- применение помехоустойчивого кодирования позволяет значительно увеличить достоверность принимаемых сообщений;
- высокая точность (ошибка может быть доведена до величины, не превышающей 0,01 %);
- при обработке данных ЭВМ отсутствуют ошибки субъективного характера;
- упрощаются требования к калибровке системы.

Произвольный порядок опроса каналов с кодовым разделением каналов позволяет создать адаптивную телеметрическую систему.

1.6 Адаптивные телеизмерительные системы

Адаптивные телеизмерительные системы (АТИС) (лат. *adaptio* – приношение, приспособление) называют такие системы, в которых сбор, обработка и передача информации автоматически изменяются в зависимости от изменения характеристик входных сигналов, внешних условий, состояния контролируемого объекта или других причин.

Развитие и применение адаптивных телеизмерительных систем (АТИС) обусловлено рядом факторов. Непрерывно возрастающие потоки измерительной информации при научных исследованиях, контроле технологических процессов, испытаниях различных объектов приводят к необходимости расширения полосы частот в канале связи, к увеличению времени обработки измерительной информации при помощи ЭВМ, к увеличению объема памяти запоминающих устройств. Все это увеличивает стоимость аппаратуры и затрудняет ее эксплуатацию, иногда существенно задерживает выдачу необходимой измерительной информации. В то же время не вся измерительная информация являет-

ся одинаково ценной. По некоторым опубликованным данным [4] около 90 % расходов на получение и обработку измерительной информации в радиотелеметрических системах тратится на избыточную информацию. Поэтому одной из важнейших задач передачи телеметрической информации является сокращение избыточной измерительной информации или более кратко сжатие данных.

По функциональному признаку АТИС могут быть разнесены на следующие группы: системы со сжатием данных, системы с самообучением, системы с перестраиваемой структурой. Системы со сжатием данных можно разделить на две группы: системы с уменьшением числа координат сообщения и системы с уменьшением объема каждой координаты. При достаточно высоких требованиях к точности измерений уменьшение объема каждой координаты, как правило, не дает существенного сжатия данных. Системы, основанные на сокращении числа координат, могут быть классифицированы по нескольким признакам. По принципу действия – алгоритму их работы – эти системы могут быть разделены на следующие группы: системы с адаптивной коммутацией, системы с адаптивной дискретизацией, системы с автоматически регулируемой частотой равномерной дискретизации. В зависимости от наличия задержки в передаче измерительной информации системы могут быть разделены на две группы: системы, работающие в реальном масштабе времени, т.е. выдающие информацию практически без задержки; системы, выдающие информацию с задержкой, обусловленной наличием буферной памяти.

Системы с самообучением и перестраиваемой структурой в настоящее время почти не изучены.

Сокращение числа координат сообщения заключается в следующем. Измеряемая величина $x(t)$ аппроксимируется некоторой функцией $\bar{x}(t)$, обычно называемой базисной, иногда воспроизводящей, осуществляется сравнение $x(t)$ и $\bar{x}(t)$ в соответствии с принятым критерием верности. В моменты времени, в которые разность $x(t)$ и $\bar{x}(t)$ – погрешность аппроксимации достигает максимального, еще допустимого значения, передаются координаты $x(t)$, являющиеся существенными. По этим координатам, в соответствии с принятой моделью $\bar{x}(t)$, на принимающей стороне реализуется восстановление непрерывной функции $x(t)$ по ее дискретным значениям, при этом погрешность аппроксимации не превосходит допустимого значения.

При оценке качества АТИС используются следующие критерии: конструктивные, метрологические, экономические.

Конструктивный критерий показывает техническую осуществимость данной системы. К нему относятся: число измерительных каналов при заданной пропускной способности линии связи, необходимая скорость передачи при заданном допустимом времени задержки, используемый способ сжатия информации и его техническая реализация, техническая возможность восстановления переданной информации на приемной стороне АТИС.

Число каналов зависит от используемого способа сжатия, причем чем больше коэффициент сжатия, тем большее число каналов может иметь система:

$$N = \frac{\Delta F}{\Delta f_{и} + \Delta f_{сл}} \cdot K_c, \quad (1.79)$$

где ΔF – полоса частот линии связи;

$\Delta f_{и}$ и $\Delta f_{сл}$ – полоса частот, занимаемая измерительной и служебной информацией соответственно;

K_c – коэффициент сжатия.

Метрологический критерий показывает достижимую точность представления на выходе системы. К нему относятся: показатель верности или критерий приближения к входной функции, значение погрешности представления информации и вероятность появления этой погрешности, значение дополнительной погрешности, появляющейся от введения устройств сжатия в многоканальной телеметрической системе, помехоустойчивость системы.

Экономический критерий показывает целесообразность введения адаптации, т.е. определяет экономический выигрыш от сжатия информации.

В дальнейшем основное внимание будет уделено передающим устройствам АТИС со сжатием данных, так как из-за введения адаптации приемная часть практически остается той же, что приведена и на рис. 1.34.

1.6.1. Телеметрические системы с адаптивной дискретизацией. Принцип действия систем с адаптивной дискретизацией заключается в исключении несущественных координат, что может быть реализовано с помощью специальных устройств – адаптивных временных дискретизаторов (АВД). Структурная схема АТИС с цифровым АВД показана на рис. 1.40. Устройство работает следующим образом. Входные сигналы от датчиков поочередно через коммутатор поступают на АЦП, где происходит преобразование аналогового сигнала в код.

Параллельный код входного сигнала сравнивается в цифровой схеме сравнения (СС) с кодом предыдущего отсчета, поступающего от многоканального запоминающего устройства (ЗУ), которое переключается вместе с коммутатором блоком управления (БУ).

Если значение входного сигнала отличается от значения предыдущего отсчета на величину, превышающую порог срабатывания, который устанавливается в зависимости от заданной допустимой погрешности δ_{\max} , то СС выдает сигнал на схему запуска (СЗ) коммутатора и коммутатор останавливается на данной точке, одновременно открывается ключ (К) и цифровой эквивалент с АЦП подается в устройство защиты от ошибок (УЗО) и записывается новое значение в ЗУ. В УЗО кодовая комбинация кодируется в корректирующем коде и подается в блок считывания (БС). БС передает в линию связи синхрокод, адрес датчика с существенным отсчетом и цифровой эквивалент телеметрируемого параметра. После окончания передачи БС открывает СЗ и коммутатор

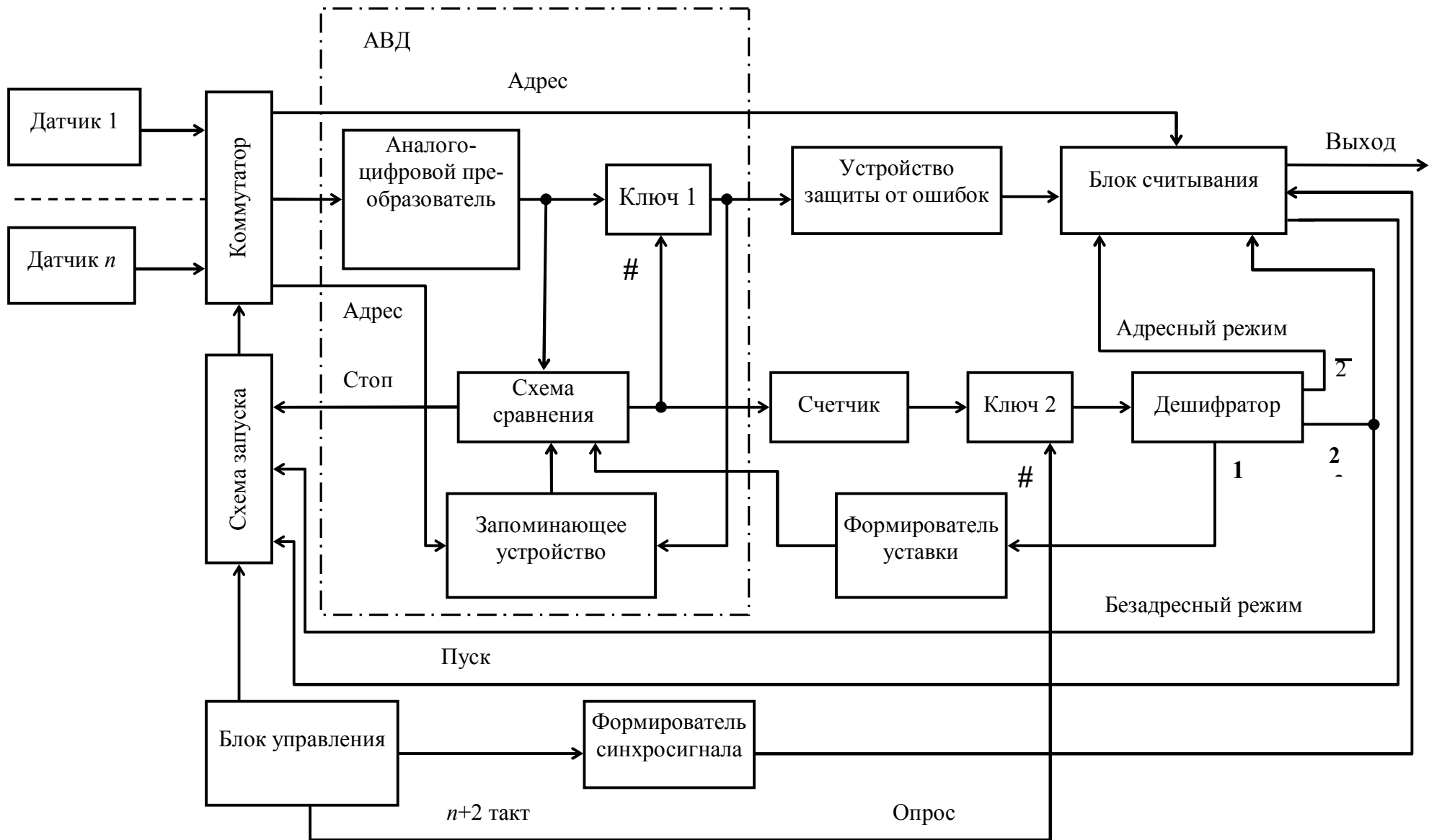


Рис. 1.40. Структурная схема КП телеметрической системы с адаптивной дискретизацией

опрашивает следующий датчик. Если же значение отсчета входного сигнала не отличается от значения предыдущего отсчета, т.е. отсчет является избыточным, то СС не срабатывает, коммутатор не останавливается и через определенное время коммутатор подключает ко входу АЦП очередной датчик. При этом БС может передавать в линию связи специальный сигнал (маркер), свидетельствующий о том, что на данной позиции погрешность не достигла максимального значения. Подобным образом происходит опрос всех датчиков.

При фиксированном значении допустимой погрешности аппроксимации, т.е. при фиксированном значении уставки, в устройстве возможно появление больших погрешностей аппроксимации, значительно превышающих допустимые, при появлении очереди из нескольких заявок.

Для исключения случаев появления аномальных погрешностей используется обратная связь по погрешности. Для осуществления обратной связи в устройстве предусмотрены: счетчик, ключ 2, дешифратор и формирователь уставки. Счетчик подсчитывает число неизбыточных отсчетов, а опрос его производится на $n+2$ такте БУ посредством открытия ключа 2. И если число, зафиксированное счетчиком, укажет на возможность появления аномальных погрешностей, дешифратор с выхода 1 выдаст сигнал на формирователь уставки, который устанавливает новый порог срабатывания схемы сравнения. Таким образом, в следующем цикле будут опрошены датчики, у которых погрешность будет наибольшей.

Так как параметры входных сигналов передаются вместе с их адресами, то при высокой активности входных сигналов (много неизбыточных отсчетов) адаптивная адресная передача может оказаться невыгодной. Например, передача всех параметров в одном цикле опроса вместе с адресами является, безусловно, менее рациональной, чем передача тех же параметров в определенном порядке без адресов. Для учета аналогичных ситуаций используется ранее рассмотренный счетчик с другим допустимым числом неизбыточных отсчетов, которое фиксируется дешифратором (выход 2).

В каждом цикле опроса коммутатора подсчитывается число неизбыточных отсчетов счетчиком и сравнивается с допустимым числом этих отсчетов (это условие выполняет дешифратор), рассчитанным из условия равенства объема сигнала при сжатии и при безадресной передаче без сжатия по заранее известной последовательности:

$$(\log N + \log M) \cdot \frac{N}{K_c} = N \log M, \quad (1.80)$$

где N – число измерительных каналов (источников сообщений);

M – число уровней квантования сигнала;

K_c – коэффициент сжатия по отсчетам за цикл опроса.

Из (1.80) можно получить значение коэффициента сжатия, при котором адаптивная и неадаптивная системы будут иметь одинаковую эффективность (граничный случай):

$$K_{c.эп} = \frac{\log N}{\log M} + 1. \quad (1.81)$$

При $K_c > K_{c.эп}$ эффективной будет адаптивная система с адресами, а при $K_c < K_{c.эп}$ большую эффективность будет иметь неадаптивная безадресная система.

В том случае, когда в каком-либо цикле опроса количество неизбыточных отсчетов достигает заданного, сигнал с выхода 2 дешифратора отключает ряды адреса в БС, открывается на постоянно (на один цикл) схема запуска, осуществляется преобразование параллельного кода параметра в последовательный и передача его в канал связи. Таким образом происходит безадресная неадаптивная передача информации.

Одновременно с неадаптивной передачей в СС происходит сравнение от АЦП и ЗУ и в счетчике подсчитывается число неизбыточных отсчетов за цикл опроса, если число таких отсчетов оказывается меньше допустимого, то устройство переходит в следующем цикле на режим адаптивной работы с адресацией отсчетов. При этом возможен переход в режим с повышенным значением уставки.

Для правильной расшифровки информации на приемной стороне системы кроме кода адреса и параметра необходимо передавать информацию в виде определенной кодовой комбинации о том, какая будет передача – адресная или безадресная.

Учитывая, что длина цикла в зависимости от активности входных сообщений может меняться, то возможен вариант передачи кода конца цикла.

Для согласования характеристик входного потока сообщений с характеристиками канала связи возможна постановка буферного запоминающего устройства в БС. Известно, что погрешность телеметрической системы, ее быстродействие и полоса частот канала связи связаны следующей зависимостью:

$$\log M = T\Delta F \log(1 + P/P_u), \quad (1.82)$$

где T – период дискретизации;

ΔF – полоса частот канала связи;

P, P_u – мощности соответственно сигнала и шума в канале;

Это выражение показывает, что при сохранении заданной погрешности уменьшение полосы частот канала связи приводит к увеличению периода дискретизации сигнала во времени, т.е. к уменьшению быстродействия. Это обстоятельство позволяет предложить самый простой способ сжатия по полосе частот канала связи, заключающийся в записи всей информации в буферное запоминающее устройство (БЗУ) со скоростью, соответствующей максимальной

частоте дискретизации сигналов во времени. Считывание информации осуществляется при этом с меньшей скоростью в соответствии с полосой пропускания частот канала связи.

1.6.2. Телеметрические системы с адаптивной коммутацией. Принцип действия систем с адаптивной коммутацией заключается в следующем. Выбирается некоторая частота опроса измерительных каналов АТИС и при помощи специальных устройств-анализаторов активности сигналов (ААС) определяется канал с наибольшей погрешностью. Значения измеряемой величины в этом канале и передаются на ПУ. Тактовая частота передачи измерительной информации по каналу связи остается постоянной, меньшей чем при равномерной временной дискретизации, этим и достигается сжатие данных. Сигналы измерительной информации каждого канала сопровождаются так называемой адресной посылкой, указывающей номер измерительного канала. Структурная схема передающего устройства АТИС с адаптивной коммутацией и цифровым ААС приведена на рис. 1.41.

Устройство работает следующим образом. По окончании считывания предыдущего отсчета БС выдает сигнал на БУ, разрешающий прохождение импульсов управления с БУ на коммутатор измерительных сигналов. Ко входу АЦП подключается первый измерительный канал, где преобразуется в цифровой эквивалент, который записывается в буферное запоминающее устройство (БЗУ), и одновременно поступает на один из входов цифровой схемы сравнения (СС). На второй вход этой схемы с ЗУ поступает цифровой эквивалент предыдущего значения. Разностный цифровой сигнал, пропорциональный текущей погрешности, подается в блок выделения максимальной погрешности (БВМП). И в блоке памяти адресов (БПА) фиксируется код первого канала. При дальнейшем поступлении импульсов управления из БУ коммутатор опрашивает подряд все датчики.

Схема сравнения определяет текущие значения погрешностей, и их цифровые эквиваленты поступают по очереди на БВМП. Если цифровой эквивалент очередной погрешности превышает цифровой эквивалент погрешностей предыдущих каналов, то БВМП выдает импульс в БПА, в который записывается адрес данного канала.

По окончании опроса всех датчиков БУ производит опрос БПА. Адрес канала с максимальной погрешностью подается через ключ 2 в БЗУ и БС. Одновременно сигналом из БУ открывается ключ 1, через который из БЗУ поступит в УЗО кодовая комбинация измерительного канала, у которого максимальная погрешность. Закодированная кодовая комбинация в помехозащищенном коде поступает в БС. Блок считывания формирует кадр, т.е. передает в канал связи синхрокод, адрес датчика с максимальной погрешностью и его цифровой эквивалент. После чего по сигналу с БС начинается новый цикл. Если будет зафиксировано несколько каналов с одинаковой максимальной погрешностью, то в первую очередь будет опрошен канал с меньшим номером.

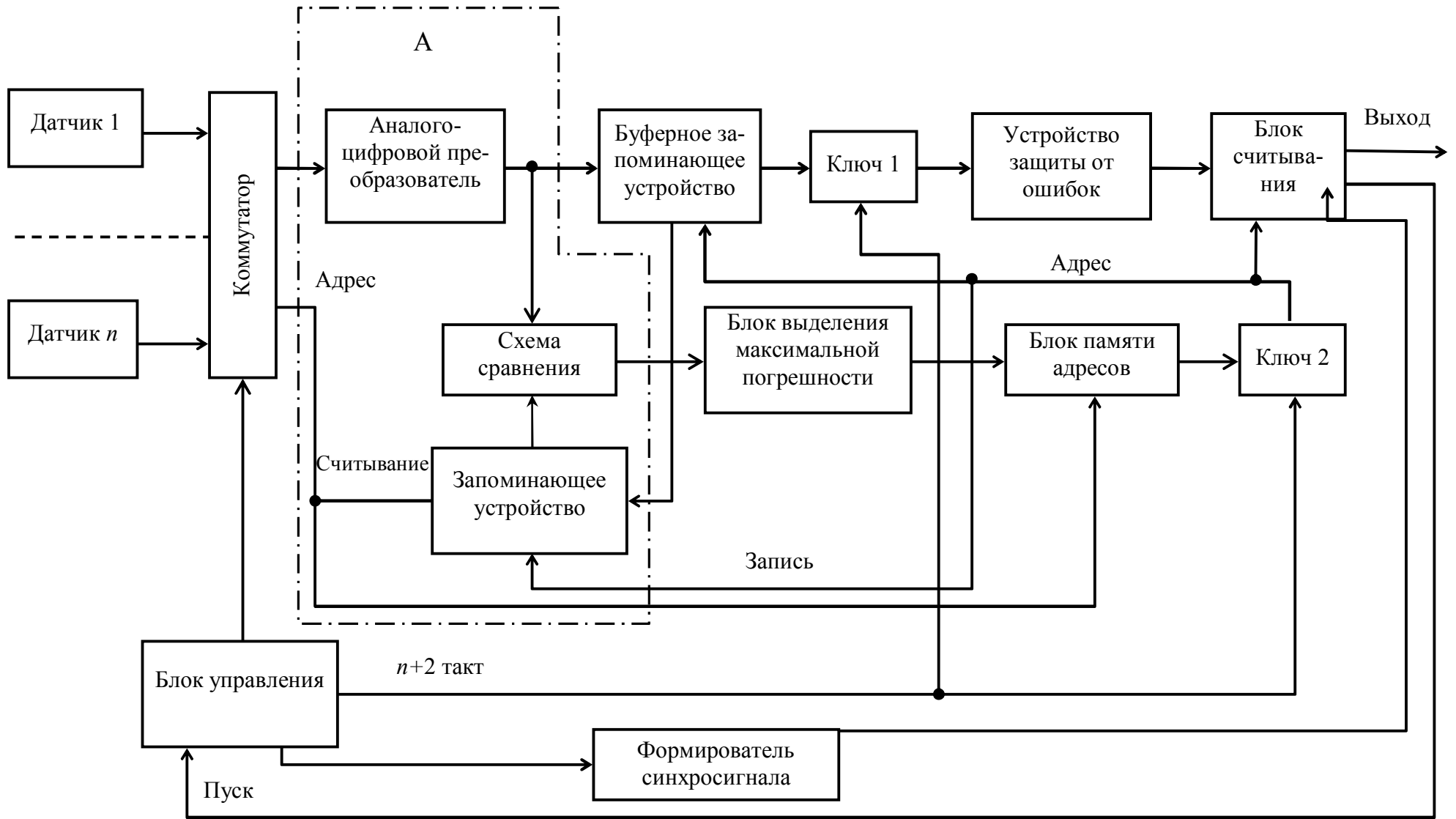


Рис. 1.41. Структурная схема КП телеметрической системы с адаптивной коммутацией

Достоинством данной схемы является то, что она может полностью быть реализована на элементах цифровой техники, а в случае применения микроконтроллеров позволит программными методами изменять частоту опроса датчиков, а также вводить обратную связь по погрешности и определять очередность передачи информации от измерительных каналов.

В общем случае адаптивная коммутация представляет собой способ изменения частоты опроса источников измерительных сообщений в соответствии со скоростью изменения входного сигнала.

1.6.3. Телеметрические системы с автоматическим регулированием частоты опроса датчиков. Рассмотренную выше АТИС с адаптивной коммутацией целесообразно использовать в случае, когда входные сигналы системы некоррелированы, так как иначе возникают значительные дополнительные погрешности из-за ожидания в очереди и уменьшение этих погрешностей требует принятия специальных мер (например введения обратных связей), что усложняет систему. При сильной корреляции входных сигналов, т.е. в случае, если входные сигналы меняются одновременно, возможно использование метода автоматического регулирования частоты опроса датчиков, позволяющего получить сжатие по отсчетам при меньших аппаратных затратах. Структурная схема КП телеметрической системы с автоматическим регулированием частоты опроса датчиков приведена на рис. 1.42.

В данном устройстве все каналы опрашиваются поочередно друг за другом по сигналам блока управления через коммутатор. Частота опроса определяется синтезатором частот. Входные сигналы от датчиков поочередно поступают на АЦП, где происходит преобразование аналогового сигнала в k -разрядный код. Параллельный код входного сигнала сравнивается в цифровой схеме сравнения с кодом предыдущего отсчета своего канала, поступающего от многоканального запоминающего устройства.

Если значение входного сигнала отличается от значения предыдущего отсчета на величину, превышающую порог срабатывания, который определяется допустимой погрешностью, то на входе СС появляется логическая единица, которая поступает в счетчик. Таким образом, за полный цикл в счетчике будет зафиксировано число избыточных отсчетов. Кодовая комбинация с выхода АЦП в параллельном виде поступает в УЗО и одновременно через ключ 2, который управляется импульсами от БУ, записывается в многоканальное ЗУ и будет участвовать в сравнении в следующем цикле. Кодовые комбинации, закодированные в помехозащищенном коде, из УЗО поступают в БС, где преобразуются в последовательный код и совместно с синхросигналом поступают в передатчик. После окончания передачи информации от всех каналов БС запускает БУ и цикл повторяется. Блок управления после преобразования информации от всех каналов через ключ 1 опрашивает счетчик избыточных отсчетов. Дешифратор выдает пропорциональный записанному в счетчике числу сигнал на синтезатор частот, который изменяет частоту тактовых импульсов (скорость опроса датчиков). Таким образом, частота опроса датчиков зависит от суммарной допустимой погрешности по всем каналам.

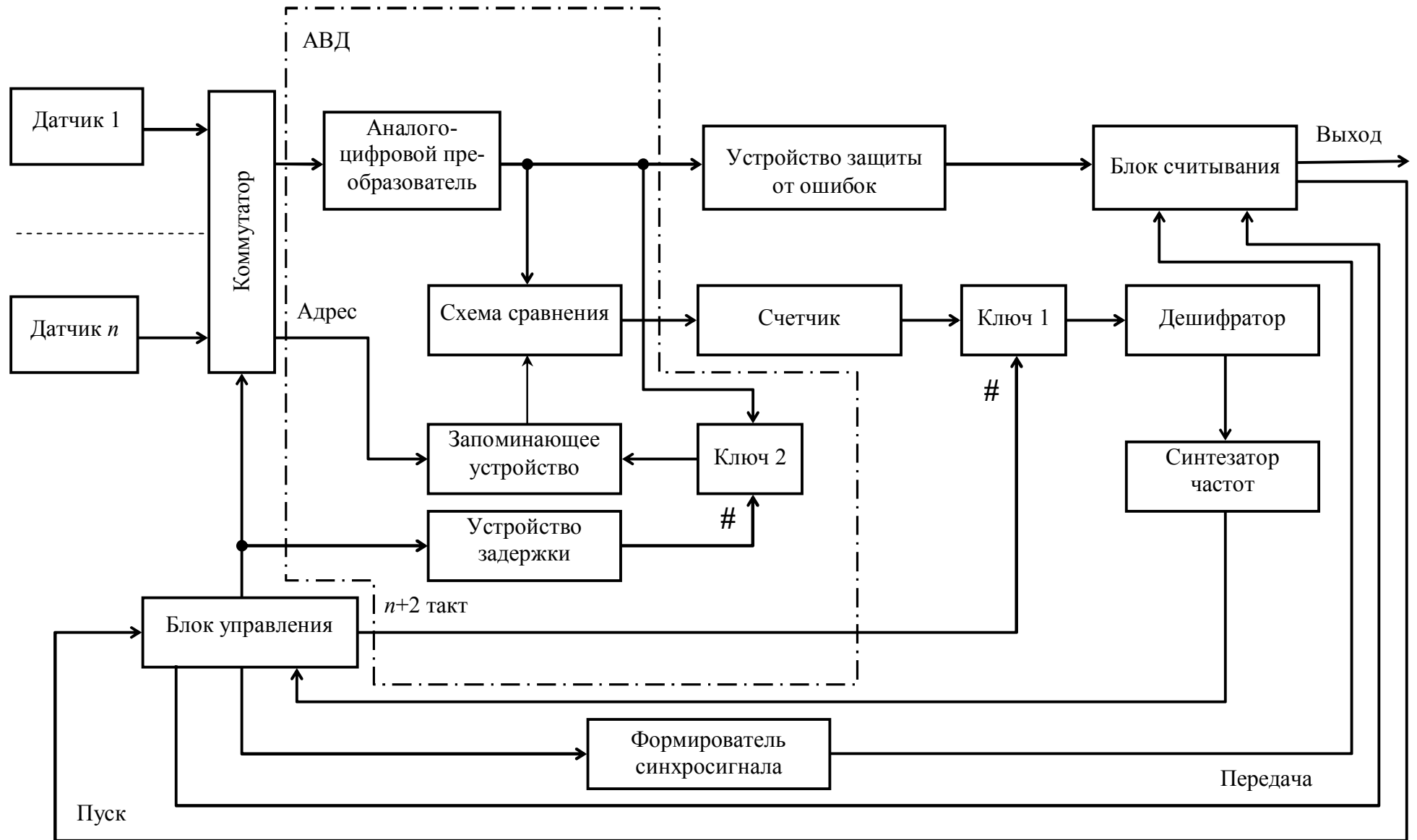


Рис. 1.42. Структурная схема КП телеметрической системы с автоматическим регулированием частоты опроса датчиков

Применяя в данных устройствах микроконтроллеры, можно реализовать любой алгоритм автоматического регулирования частоты опроса датчиков: по максимальной погрешности, по наиболее быстро изменяющимся входным сигналам, по суммарной погрешности и т.д.

1.6.4. Телеметрические системы с рациональным построением телеметрического кадра. Рассмотрим телеметрическую систему с сокращением количества информации не за счет предварительного вычисления погрешности аппроксимации, а за счет рационального построения телеметрического кадра. Данное устройство позволяет передать код параметра и коды адресов тех датчиков, сигналы которых в данный момент равны между собой, с погрешностью, определяемой квантованием сигнала по уровню, в одном телеметрическом кадре. Структурная схема КП системы с рациональным построением телеметрического кадра представлена на рис. 1.43.

Устройство работает следующим образом. По сигналу с БУ входные параметры поступают через коммутатор на АЦП, где происходит их преобразование в код. Код входного параметра сравнивается с кодом этого же параметра в предыдущей точке отсчета, записанного в ЗУ. Если абсолютное значение разности данного и предыдущего отсчетов меньше шага квантования, то СС закрывает ключ и не пропускает текущую кодовую комбинацию на вход буферной памяти (БП). Если эта разность оказывается больше шага квантования, то текущая кодовая комбинация передается в БП. Таким образом осуществляется адаптивная дискретизация входных сигналов и все избыточные отсчеты записываются в БП. Далее, с одного из выходов БУ поступает сигнал на анализатор сигналов (АС), разрешающий сравнение кодов всех входных параметров, записанных в БП, между собой. Предположим, что сравнение начинается с кодовой комбинации параметра первого канала. Эта кодовая комбинация сравнивается с кодовыми комбинациями всех других каналов, и, если такая же кодовая комбинация встречается в одном или нескольких других каналах, то АС последовательно выдает сигнал для формирования кодов адресов каналов, которым принадлежит рассматриваемая кодовая комбинация. По окончании формирования кода адреса последнего канала, входящего в эту группу каналов, в БП от блока памяти адресов (БПА) подается сигнал считывания данной кодовой комбинации, которая вслед за кодами адресов каналов, соответствующих этой кодовой комбинации, через формирователь кадра поступает в БС. При отсутствии кодовой комбинации данного канала в остальных каналах БПА выдается сигнал на формирование кода адреса только данного канала, а измерительная кодовая комбинация подмешивается к коду вышеуказанным способом.

Затем производится анализ кодовой комбинации второго канала с кодовыми комбинациями остальных каналов и т.д. Учитывая, что устройство работает в относительном масштабе времени, то в начале каждого телеметрического кадра передается кодовая комбинация текущего времени.

В работе рассматриваемого передающего устройства можно выделить два граничных случая.

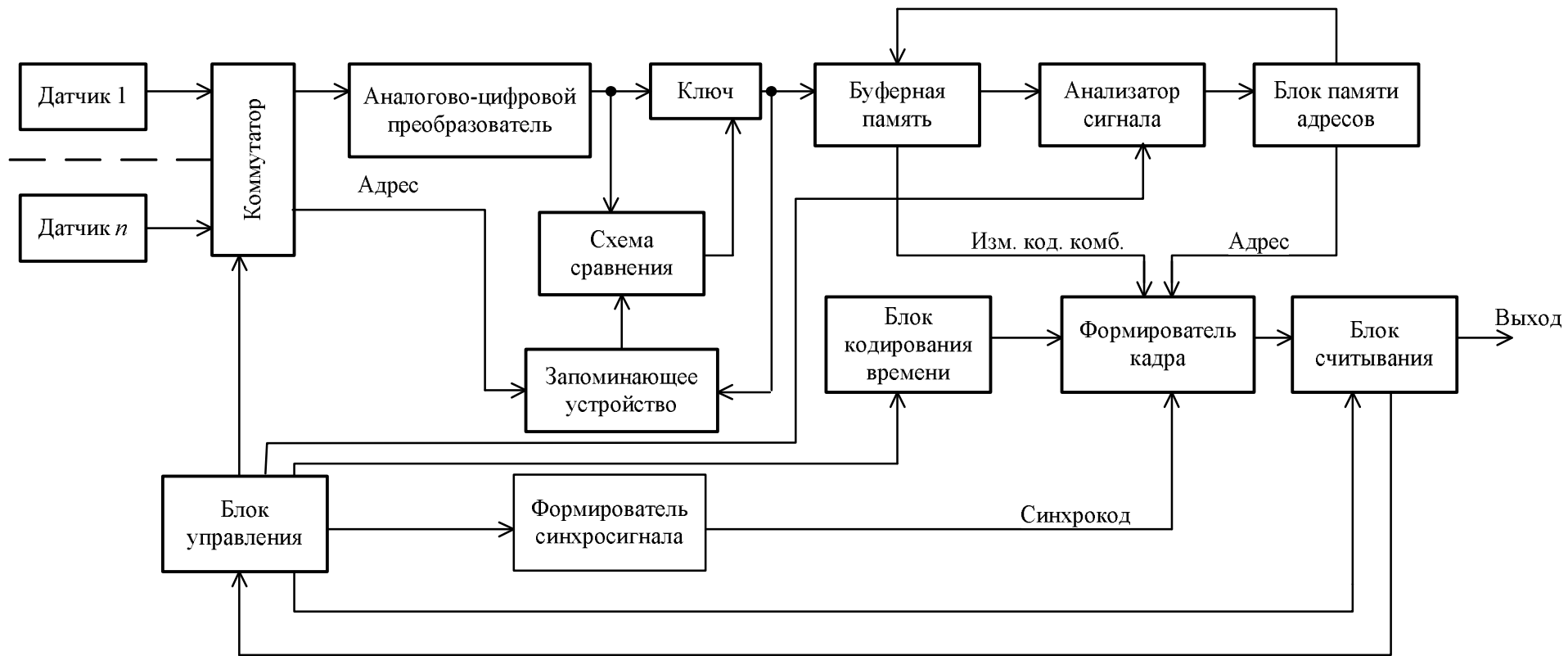


Рис. 1.43. Структурная схема КП телеметрической системы с рациональным построением телеметрического кадра

– Мгновенные значения сигналов датчиков в одном телеметрическом кадре одинаковы. При этом будет достигнута максимальная эффективность, так как будут переданы все номера датчиков и лишь один код параметра.

– Мгновенные значения сигналов датчиков распределены по всем возможным уровням квантования. Эффективность передающего устройства в этом случае минимальна.

Определим коэффициент сжатия для граничных случаев по числу двоичных знаков, передаваемых устройством за все время работы. Введем следующие обозначения: M – число уровней квантования; N – число датчиков; $m = \log M$ – число разрядов кода параметра; $n = \log N$ – число разрядов кода номера датчика.

Число двоичных знаков в одном телеметрическом кадре, передаваемых неадаптивной адресной многоканальной телеметрической системой, определяется выражением

$$H = N(m + n). \quad (1.83)$$

Для рассматриваемой адаптивной системы минимальное число двоичных знаков, получающихся в первом граничном случае, будет

$$H_{ad \min} = m + nN. \quad (1.84)$$

Максимальное число двоичных знаков для рассматриваемой адаптивной системы (второй граничный случай) при $M < N$ определяется выражением

$$H_{ad \max} = mM + nN. \quad (1.85)$$

Коэффициент сжатия данных определяется отношением числа двоичных знаков в неадаптивной системе к числу двоичных знаков в адаптивной системе и изменяется в этом случае от

$$K_{c \min} = \frac{H}{H_{ad \max}} = \frac{N(m + n)}{mM + nN}, \quad (1.86)$$

до

$$K_{c \max} = \frac{H}{H_{ad \min}} = \frac{N(m + n)}{m + nN}. \quad (1.87)$$

Если все сигналы датчиков независимы и имеют равномерное распределение мгновенных значений, то среднее число различных уровней квантования, передаваемых в одном телеметрическом кадре, будет равно [4]

$$M_{cp} = M(1 - e^{-N/M}). \quad (1.88)$$

Среднее число двоичных знаков в одном кадре рассматриваемой ТИС:

$$H_{ад ср} = mM_{ср} + nN. \quad (1.89)$$

При этом коэффициент сжатия информации:

$$K_c = \frac{\log MN}{\frac{M}{N} (1 - e^{-N/M}) \log M + \log N}. \quad (1.90)$$

Анализ выражения (1.90) показывает, что для получения высоких коэффициентов сжатия информации необходимо сочетание методов рационального построения телеметрического кадра и адаптивной дискретизации в каждом канале (рис. 1.43).

1.6.5. Использование сжатия данных для улучшения характеристик телеметрических систем. В системах ТИ сжатие данных не является самоцелью, а применяется для улучшения какой-либо характеристики. Наибольшее распространение получило: уменьшение полосы частот в канале связи; уменьшение расхода энергии, необходимой для передачи измерительной информации; повышение помехоустойчивости.

В ряде случаев погрешность, обусловленная шумами канала связи, является доминирующей, поэтому вопросы повышения помехоустойчивости становятся первостепенными. Это относится, в первую очередь, к радиотелеметрическим системам, в частности космическим, в которых энергетические ограничения должны учитываться прежде всего. Для таких систем повышение помехоустойчивости – это выигрыш в дальности действия и в габаритах источников питания, повышение достоверности передаваемых данных и экономический эффект [4].

Возможными путями для использования сокращения избыточности с целью повышения помехоустойчивости систем телеизмерения могут быть следующие: регулирование пиковой мощности передатчика при сохранении средней мощности или средней потребляемой энергии; изменение параметров модулятора либо переход на более помехоустойчивый вид модуляции; целенаправленное введение временной избыточности после сокращения избыточности первоначального сигнала.

2. ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЕ И ТЕЛЕСИГНАЛИЗАЦИЯ

2.1. Основные понятия

Согласно ГОСТ 26.005-82 телеуправление (ТУ) – управление положением или состоянием дискретных объектов и объектов с непрерывным множеством состояний методами и средствами телемеханики. Телеуправление подразделяется на двухпозиционное и многопозиционное.

Двухпозиционное телеуправление – телеуправление объектами, имеющими два возможных состояния.

Многопозиционное телеуправление – телеуправление объектами, имеющими более двух возможных состояний.

Для выполнения телеуправления согласно ГОСТ 26.005-82 могут быть использованы следующие приказы:

Команда телеуправления – телемеханическое сообщение, передаваемое с пункта управления на контролируемые пункты и вызывающее изменение положения или состояния объектов.

Групповая команда телеуправления – команда телеуправления, адресованная нескольким объектам одного контролируемого пункта.

Циркулярная команда телеуправления – команда телеуправления, адресованная объектам нескольких или всех контролируемых пунктов телемеханической системы.

Команда-инструкция – команда телеуправления, передаваемая с пункта управления на контролируемые пункты оперативному персоналу, где она выводится на устройства отображения в виде стандартных инструкций.

Телемеханическая команда опроса – телемеханическое сообщение, требующее от контролируемого пункта передачи информации о состоянии объектов.

Телесигнализация (ТС) – получение информации о состоянии контролируемых и управляемых объектов, имеющих ряд возможных дискретных состояний, методами и средствами телемеханики (ГОСТ 26.005-82).

В связи с этим устройства телеуправления обычно совмещаются с устройствами телесигнализации и называются устройствами ТУ-ТС. К исключениям относятся, например, устройства ТУ строительными и другими кранами со зрительным контролем, заменяющим ТС и системы циркулярной передачи команд по силовой сети.

При ТУ промышленными объектами во многих случаях передаются простейшие двухпозиционные дискретные команды типа «включить», «выключить» либо «прибавить», «убавить» (давление, расход, напряжение, уровень и т. д.). Такие же простейшие сигналы передаются и при телесигнализации, например, «включен» или «отключен» данный объект.

2.1.1. Требования, предъявляемые к устройствам ТУ-ТС:

1. Операция ТУ обязательно должна сопровождаться ответной телесигнализацией, которая используется для контроля правильности выполнения операции ТУ.

2. Посылка приказа ТУ должна состоять как минимум из двух операций: подготовительной (выбор объекта и характера операции) и исполнительной (запуск передачи).

3. Любое одно- или двукратное искажение сигнала при ТУ или повреждение любого элемента должно сопровождаться защитным отказом, т.е. при этом не допускается исполнение ложных приказов.

4. Исполнение приказов не должно происходить при повреждении канала связи в спокойном состоянии системы или в процессе передачи.

5. Выход из строя канала связи, а также потеря питания системы не должны приводить к ложным приказам и должны сигнализироваться на ПУ; канал связи должен непрерывно контролироваться.

6. Посылка приказов ТУ должна производиться методом спорадической передачи; передача ответной ТС допускается как спорадическим, так и циклическим методом.

7. В случае нарушения приема известительной ТС на ПУ схема должна обеспечивать повторные передачи с КП на ПУ до тех пор, пока эти сигналы не будут сквитированы дежурным персоналом ПУ.

8. Приказы ТУ, не выполняемые по каким-либо причинам, не должны запоминаться на КП. Для их выполнения необходим повторный запуск устройства с ПУ.

9. Должно быть предусмотрено предпочтение известительной ТС перед посылкой приказа ТУ.

10. Сигналы, возникающие на КП во время повреждения устройства либо канала связи, при передаче других сигналов должны запоминаться и затем при ликвидации повреждений либо окончании передачи других сигналов автоматически передаваться на ПУ.

11. Приход каждого известительного сигнала на ПУ должен сопровождаться общим вызывным сигналом (звуковым или световым), квитируемым вручную.

12. Одна исполнительная операция ТУ предназначена, как правило, для одного объекта управления. Фиксация приема только одного приказа является дополнительной гарантией его правильности. В отдельных, особых случаях система должна допускать возможность циркулярного управления, т.е. передачу приказов нескольким объектам одной исполнительной операцией ТУ.

По быстрдействию устройства ТУ-ТС разделяются на группы: со временем передачи команды до 1 с – первая группа, до 4 с – вторая группа, более 4 с – третья группа.

По помехоустойчивости системы ТУ-ТС подразделяются на три категории (ГОСТ 26.205-83). Требования к достоверности контрольной и управляющей информации приведены в табл. 2.1.

Требования к достоверности контрольной и управляющей информации

Вероятностные характеристики	Вероятность события Р, не более		
	Категория систем		
	1	2	3
Вероятность трансформации команды ТУ	10^{-14}	10^{-10}	10^{-7}
Вероятность трансформации сообщений ТС	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}
Вероятность образования ложной команды или контрольного сообщения	10^{-12}	10^{-7}	10^{-4}

2.1.2. Виды команд. Команды разделяются на следующие:

- однопозиционные – «включить» или «отключить»;
- двухпозиционные – «включить» и «отключить»;
- трехпозиционные – «прибавить», «убавить» и «стоп», воздействующие во многих случаях на уставки автоматических регуляторов и называемые телеуправлением;
- многопозиционные – передача значения телеуправляемого параметра в аналоговой или дискретной форме (например, открыть на 35 % затвор ирригационного канала). Передача таких команд получает более широкое применение и осуществляется главным образом путем спорадических адресных передач кодовыми комбинациями, содержащими адрес и текст для объекта управления. Они называются многопозиционными кодовыми комбинациями и относятся к телерегулированию;
- спорадические – передаются по мере возникновения необходимости их передачи. Такие команды составляют подавляющее большинство в промышленной телемеханике;
- циклические – повторение передачи одной команды в течение ряда циклов до прихода известительных сигналов. Такие команды реализуются в циклических системах с временным разделением сигналов. Каждому сигналу при этом отводится свой временной интервал;
- в зависимости от источников – команды формируемые диспетчером (оператором), управляющим устройством и ЭВМ;
- по методу разделения сигналов – временные, частотные и кодовые.

2.2. Методы телеуправления

В телемеханике применяют следующие методы управления: двухступенчатое, иерархическое или многоступенчатое, циркулярное и циклический опрос.

При двухступенчатом процессе управления диспетчер сначала осуществляет подготовительную операцию – выбирает с помощью индивидуального ключа требуемый объект управления. Далее осуществляет исполнительную операцию – посылает команду «включить» или «отключить» на объект управления при помощи индивидуального либо общего ключа (кнопки). Двухсту-

пенчатость управления уменьшает вероятность неправильной посылки команды из-за поспешности, рассеянности или просто ошибки диспетчера. В системе должна быть предусмотрена сигнализация о выбранном объекте либо местная, либо поступившая с КП и подтверждающая выполнение подготовительной операции.

Принцип иерархичности основан на разделении информации управления по определенным уровням, что позволяет создать многоступенчатые системы ТУ-ТС.

Информация, возникающая в каждой ступени, почти полностью замыкается в пределах этой ступени, и лишь часть ее передается на следующую ступень. В центральный диспетчерский пункт (ЦДП) поступают лишь некоторые характерные обобщающие показатели и данные о работе нижних ступеней управления. Самым нижним рангом является местная автоматика, которая может самостоятельно воздействовать на объект. В то же время наиболее важная информация передается непосредственно в ЦДП. В свою очередь из ЦДП на нижестоящие ступени управления поступают команды обобщающего характера, типа заданий, которые конкретизируются на месте.

Циркулярное управление характеризуется одновременной передачей в течение одного цикла многих команд, т.е. осуществляется управление многими объектами. Причинами этого могут быть условия технологического процесса или необходимость сокращения времени управления, т.е. увеличение быстродействия. Однако в большинстве случаев для обеспечения надежности управления за один цикл посылаются команды только одному объекту. При этом достаточно просто осуществляется контроль над достоверностью принятого сообщения (по числу информационных импульсов).

При циклическом опросе диспетчер может послать команду на КП, с которого поочередно будет передаваться информация о состоянии всех или группы объектов. В системах телемеханики для рассредоточенных объектов такая связь может осуществляться с одним КП, несколькими или со всеми. Циклический опрос может производиться спорадически (по мере необходимости) или автоматически. Причем как КП, так и объекты на них могут подключаться поочередно или по заданной программе.

2.3. Виды и методы сигнализации

Различают следующие виды сигнализации:

1. Сигнализация о состоянии объектов и системы. Такая сигнализация имеет место как в устройствах ТС, предназначенных для сигнализации, так и в системах ТУ-ТС. Она может осуществляться либо автоматически, либо по вызову диспетчера.

Сигнализация о состоянии объектов в устройствах ТУ-ТС является всегда адресной. Кроме сигнализации о состоянии объектов в системе предусматривается сигнализация об исправной работе отдельных устройств аппаратуры ДП, КП и линии связи.

2. Сигнализация, подтверждающая выполнение команд ТУ, или так называемая известительная сигнализация. Эта сигнализация может подтверждать как промежуточное исполнение команды, связанное с включением ряда устройств, предшествующих переключению объекта, так и извещать об изменении состояния непосредственно объекта.

3. Сигнализация о выходе измеряемого параметра за заранее установленные пределы (предупредительная сигнализация). Сюда же можно отнести аварийную сигнализацию – когда сигнализируется появление аварийной ситуации на контролируемом объекте.

Согласно ГОСТ воспроизведение дискретных сообщений при ТС должно обеспечиваться по методу «темного» либо «светлого» щита.

4. Сигнализация по методу «светлого» щита означает, что зажженная лампочка на щите будет гореть до тех пор, пока объект включен. Если все объекты включены, то все индикаторы светятся. Это может создать неудобства для диспетчера в случае большого числа объектов. От этого недостатка свободна сигнализация по методу «темного» щита, при которой о положении объекта судят не по индикаторной лампочке, которая обычно погашена, а по положению ключа. Индикатор светится лишь при изменении состояния объекта. Например, приходит сигнал, извещающий об изменении положения 4 объекта. При этом начинает светиться индикатор 4-го и подается акустический сигнал. Возникает состояние несоответствия между новым состоянием объекта и положением ключа, который повернут в положение, соответствующее предшествующему состоянию объекта. Диспетчер переводит ключ в положение, соответствующее новому состоянию объекта, индикатор гаснет и прекращается подача акустического сигнала.

Следует отметить, что телесигнализация может осуществляться либо спорадически (при изменении состояния объекта или по желанию диспетчера), либо циклически.

2.4. Классификация объектов управления и устройств ТУ-ТС

Объекты управления делятся на сосредоточенные и рассредоточенные, двухпозиционные и многопозиционные. Кроме того, имеются объекты управления, требующие непрерывного ТУ.

Стационарные объекты телемеханического управления и контроля могут быть либо расположены в одном пункте (производственном сооружении), либо разбросаны поодиночке или небольшими группами по площади или вдоль общей линии связи. Телемеханическую систему, обслуживающую объекты первого типа, называют системой с сосредоточенными объектами; система второго типа называется системой с рассредоточенными объектами. Сосредоточенные объекты типичны, например, для электростанций и подстанций.

Примером системы с рассредоточенными объектами может служить телеуправление насосными установками на нефтепромыслах.

Двухпозиционные объекты могут находиться в одном из двух состояний: включенном или отключенном. Многопозиционные объекты могут иметь большое количество фиксированных положений. К таким объектам относятся различные задвижки, а также щиты в водовыпусках ирригационных систем. ТУ этими объектами осуществляется путем передачи соответствующего количества команд на установку в заданную позицию.

Ряд объектов управления, например, узлы настройки различных автоматических регуляторов и рули управления подвижными системами требуют установки их в любое положение из заданного диапазона. Управление настройкой автоматических регуляторов производится организацией непрерывного канала ТУ с передачей команд «больше» или «меньше» и с контролем при помощи систем телеизмерений.

В силу того, что методы построения систем телеуправления и телесигнализации аналогичны и функции ТУ и ТС выполняются, как правило, общими установками, то в дальнейшем системы ТУ и ТС будем рассматривать обобщенно с выделением лишь элементов, специфичных для ТУ и ТС.

Классификация устройств ТУ-ТС по методам передачи, режимам передачи, кодам и методам защиты приведена на рис. 2.1.

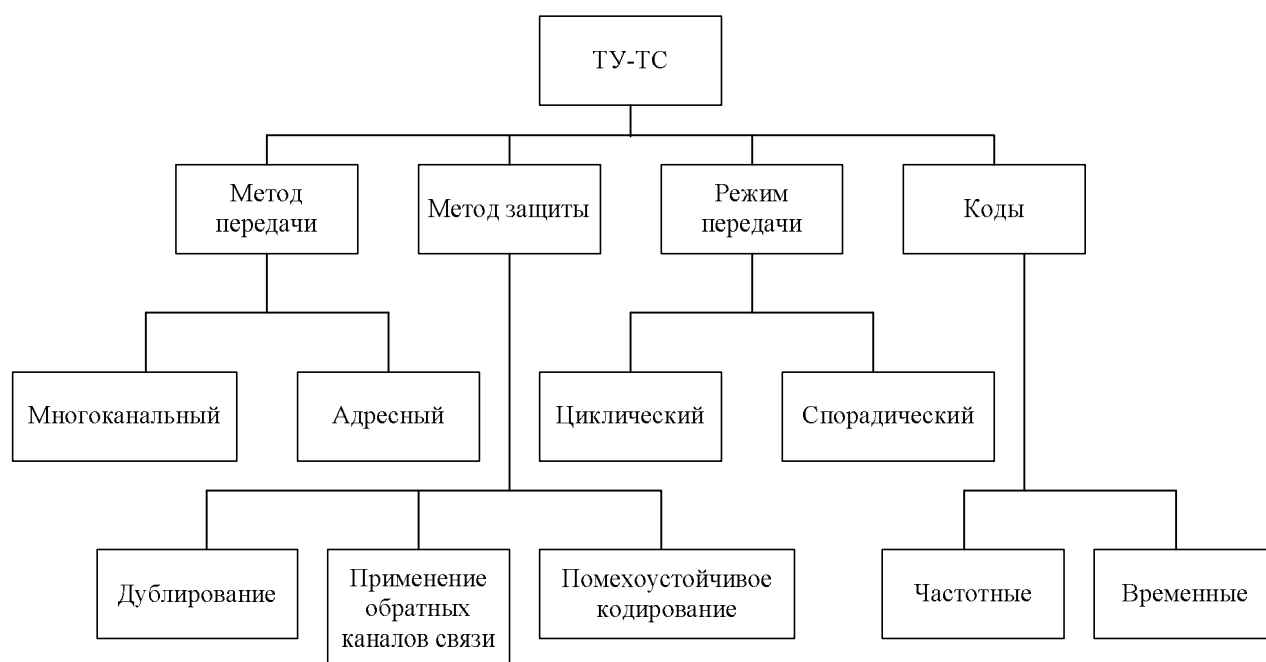


Рис. 2.1. Классификация устройств ТУ-ТС

2.5. Методы разделения и избирания сигналов

Разделение сигналов – это обеспечение независимой передачи и приема многих сигналов по одной линии связи или в одной полосе частот, при котором сигналы сохраняют свои индивидуальные свойства и не искажают друг друга. В массовых системах ТУ-ТС в подавляющем большинстве случаев используются только три основных метода разделения сигналов: частотный, временной циклический и временной кодовый (цифровой).

Избирание сигналов (селекция) – выбор данного сигнала из многих других для обеспечения адресной передачи. Разделение и избирание – понятия, близкие друг другу. Они характеризуют две стороны вопроса передачи сигналов и предназначаются для придания сигналу таких отличительных свойств, с помощью которых можно обеспечить, во-первых, передачу многих сигналов по одной линии связи и, во-вторых, адресную передачу сигналов объектам. Таким образом, условно можно считать, что разделение сигналов больше относится к линии связи, тогда как избирание – к объекту.

Выбор метода разделения сигналов в устройствах ТУ-ТС необходимо производить в соответствии с теорией кодирования, помехоустойчивости и эффективности передачи. Выбор должен подтверждаться расчетами.

С учетом изложенного выше ограничимся рассмотрением только особенностей разделения сигналов ТУ-ТС при частотном, временном и кодовом (цифровом) разделении сигналов, тем более что в связи с развитием микропроцессорной техники существует тенденция перехода к передаче команд телеуправления кодовыми (цифровыми) комбинациями с адресом и текстом команды. Передача команды во многих случаях осуществляется в несколько этапов, а телесигнализация передается за время передачи команды от многих объектов ТС, например многоканальным методом с временным разделением сигналов. В общем случае **многоканальной** называется передача, в которой каждому объекту (источнику) выделен индивидуальный канал с временным или частотным разделением.

2.6. Частотное разделение сигналов

Частотное разделение сигналов характеризуется тем, что передача команд по одной линии связи осуществляется за счет частотного уплотнения, при котором образуются параллельные каналы. Функциональная схема устройства ТУ-ТС с частотным методом избирания приведена на рис. 2.2.

Принцип работы рассмотрим на конкретном примере. Пусть необходимо включить объект 1. Диспетчер замыкает ключи $SB3$ и $SB1$. При этом в линию связи поступают два сигнала с частотой $f1$ и $f3$. Первый несет на себе исполнительную, а второй адресную команды. Принятый из линии связи сигнал, усиленный групповым усилителем, разделяется полосовыми фильтрами $ПФ1$ и.

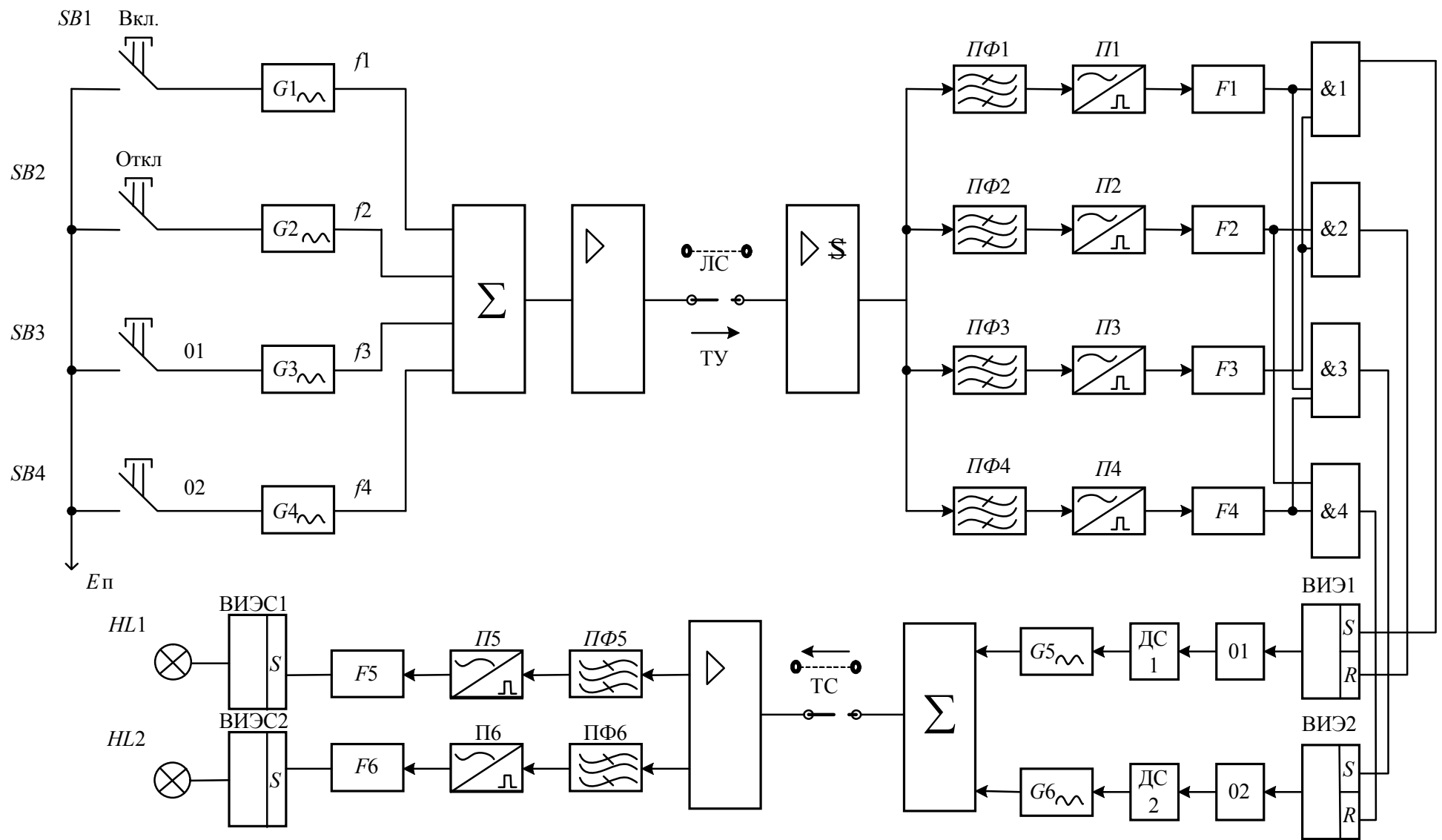


Рис. 2.2. Функциональная схема устройства ТУ-ТС с частотным методом избирания и сигнализацией по методу «светлого» щита

ПФЗ, затем преобразователями П1 и П3 производится преобразование радиоимпульсов в видеоимпульсы, которые через согласующие формирователи F1 и F3 поступают на схемы И1, И3 и И1, И2 соответственно. Так как совпадение двух сигналов происходит на входе схемы И1, то выходной сигнал с И1 воздействует на выходной исполнительный элемент ВИЭ1 (вход S), и последний включает объект 1. Датчик сигнализации ДС1 включает генератор G5, и в линию связи поступает сигнал о включении объекта 1. Канал связи для ТС по составу аппаратуры аналогичен каналу связи ТУ. Состояние объекта сигнализируется индикатором ИЛ1. В данном устройстве сигнализация осуществляется по методу «светлого» щита.

Сигналы о состоянии объекта могут посылаяться по той же линии связи, что и сигналы ТУ, но для этого необходимо, чтобы их частоты были различными.

Количество сигналов ТУ и ТС зависит от числа объектов и их позиционности, от метода управления и избирания. Так, при одноступенчатом управлении двухпозиционными объектами количество сигналов ТУ и ТС равно $M = n_q$, где $n_q = 2N_{об}$ – количество частотных посылок; $N_{об} = \frac{M}{2}$ – количество двухпозиционных объектов. На рис. 2.3, а приведена структура сигналов при циркулярном управлении объектами.

В большинстве случаев для надежности управления в каждый момент производится управление только одним объектом, тогда сигнал имеет вид, приведенный на рис. 2.3, б.

Увеличить число сигналов можно путем применения k качественных (амплитудных или временных) признаков. При этом количество сигналов ТУ и ТС (рис. 2.3, в) – $M = n_q k$.

При двухступенчатом управлении (рис. 2.3, г) количество частотных посылок определяется из выражения $n_q = N_{об} + 2$.

Увеличение количества команд при циркулярных методах управления можно достичь, применяя групповой выбор (рис. 2.3, д). Общее число объектов ТУ-ТС определяется произведением количества групп на количество объектов в группе, т.е. $N_{об} = N_{гр} N_{об.гр}$, а общее число частотных импульсов $n_q = n_{q.гр} + n_{q.об} + 2$.

Максимальная информационная емкость частотных устройств ТУ-ТС для электрических контуров и фильтров ограничивается сравнительно небольшим числом избирателей, размещаемых в рабочем диапазоне частот (например в телефонном канале), что вызвано трудностями реализации узкополосных избирателей. Поэтому в частотных устройствах ТУ-ТС с относительно большой информационной емкостью каждому сигналу ТУ(ТС) выделяется не индивидуальная частота, а комбинация нескольких частот, при этом частоты могут передаваться одновременно или поочередно. Для таких систем могут применяться частотные коды, рассмотренные в [2].

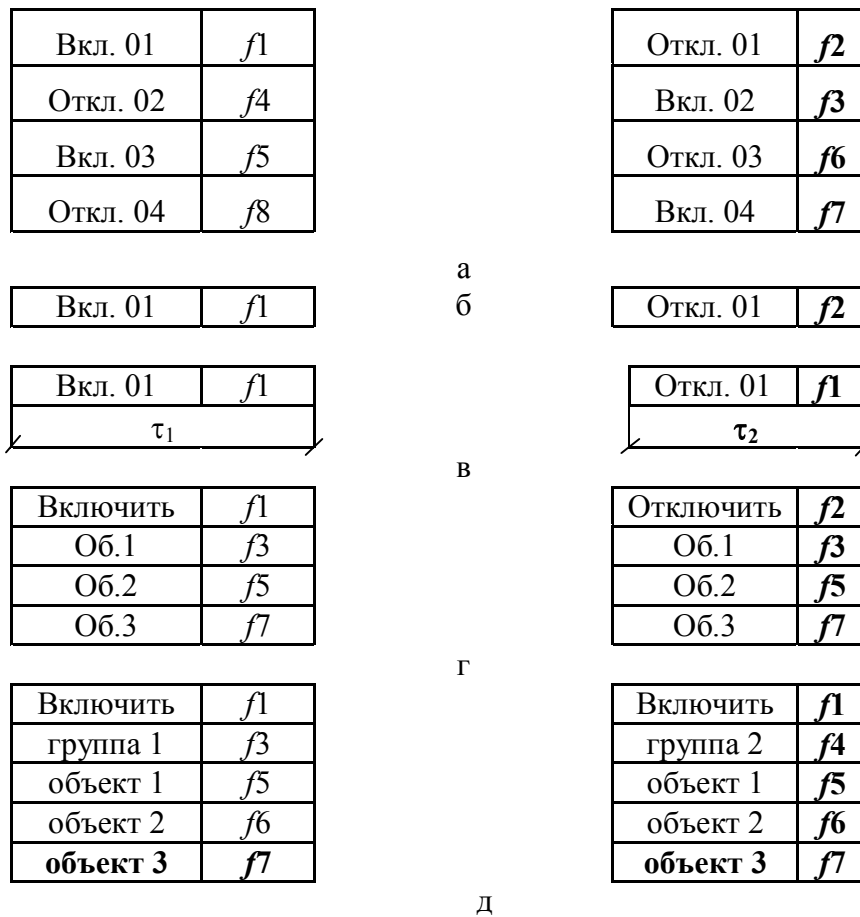


Рис. 2.3. Структуры сигналов при частотном методе избирания

Структурные схемы ПУ и КП системы с частотным разделением и кодовым избиранием приведены на рис. 2.4 и 2.5 соответственно.

Образование частотной кодовой комбинации, соответствующей определенной команде, производится шифрованием операции и адреса объекта, блоком генераторов, ключами и сумматорами при замыкании соответствующих выключателей на пульте диспетчера. На КП радиоимпульсы, выделенные полосовыми фильтрами, преобразуются в видеоимпульсы преобразователями, которые представляют собой амплитудные детекторы совместно с пороговыми элементами и селекторами импульсов по длительности. Декодирование производится дешифраторами операций и адреса объекта.

Сигналы с выходов дешифраторов соответствуют определенной команде и управляют работой выходных исполнительных элементов. Канал телесигнализации работает аналогичным образом, за исключением того, что сигнал о состоянии объектов формируется датчиками сигнализации, которые представляют собой как контактные, так и бесконтактные ключи. Данная система отличается от системы с частотным избиранием наличием шифраторов и дешифраторов на ПУ и КП, а остальные элементы те же.

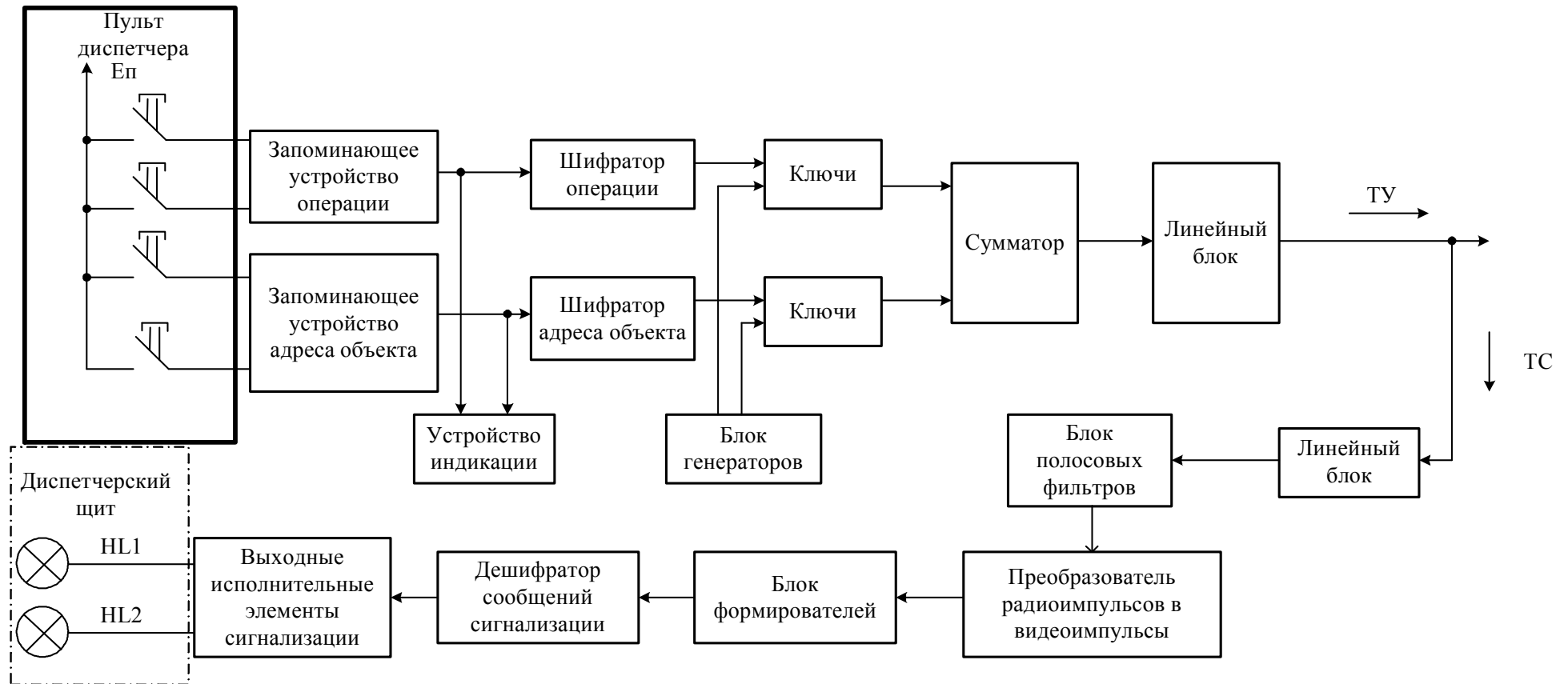


Рис. 2.4. Структурная схема ПУ системы ТУ-ТС с частотным разделением и кодовым избором

2.7. Временное разделение сигналов

При данном разделении сигналов каждый сигнал ТУ или ТС передается одним видеоимпульсом в серии n_B последовательных импульсов. Общее количество сигналов в серии $M = n_B$ при $K = 1$ и $M = kn_B$ при k любом.

При пошаговом методе синхронизации структура сигналов в линии связи имеет вид, представленный на рис. 2.6, а, где два первых импульса используются для выбора позиции. Информация на включение объекта содержится в длительности (амплитуде, полярности) импульса. При данном методе сравнительно просто реализуется циркулярность управления.

На рис. 2.6, б приведена структура сигналов при групповом выборе (включить второй объект первой группы). Длительность прохождения серии

$$T_C = n_a \tau_a + n_B \tau_n + (n_B - n_a) \tau_u,$$

где n_a – количество активных импульсов в серии;

τ_a, τ_u – длительность активных и продвигающих импульсов;

τ_n – длительность паузы

Следует отметить, что циркулярность управления при групповом выборе сохраняется в пределах только группы. При временном разделении сигналов, как и при частотном, из соображения надежности управления посылается команда только одному объекту.

В настоящее время наибольшее применение находит временное разделение сигналов с использованием циклической синхронизации. При этом информация об управлении объектом заключена в наличии видеоимпульса на соответствующей временной позиции (рис. 2.6, в), что указывает на включение объекта. Длительность серии

$$T_c = \tau_{cu} + (n_B - 1) \tau_u + n_B \tau_n,$$

где $\tau_{cu} = (2...5) \tau_u$ – длительность синхронизирующего импульса.

Как видно из рис. 2.6, в, этот метод синхронизации при применении циркулярности управления требует разделительных пауз между импульсами.

Если использовать два частотных признака, то при циркулярном управлении можно организовать сигнал без разделительных пауз (рис. 2.6, г).

При телесигнализации желательно иметь сигналы о состоянии всех объектов за один цикл работы системы, что наиболее просто реализуется при временном разделении сигналов (рис. 2.6, д).

Количество объектов однопозиционной ТС при групповом выборе равно

$$N_{ТС} = K_{ГР} (n_B - K_{ГР}).$$

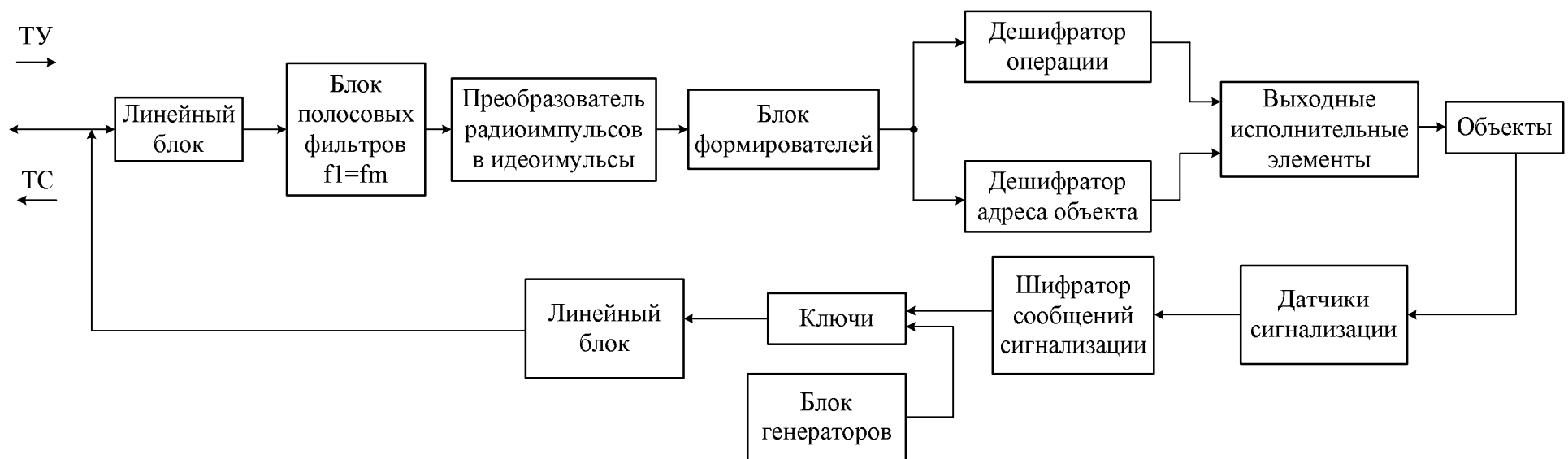


Рис. 2.5. Структурная схема КП системы ТУ-ТС с частотным разделением и кодовым избиранием

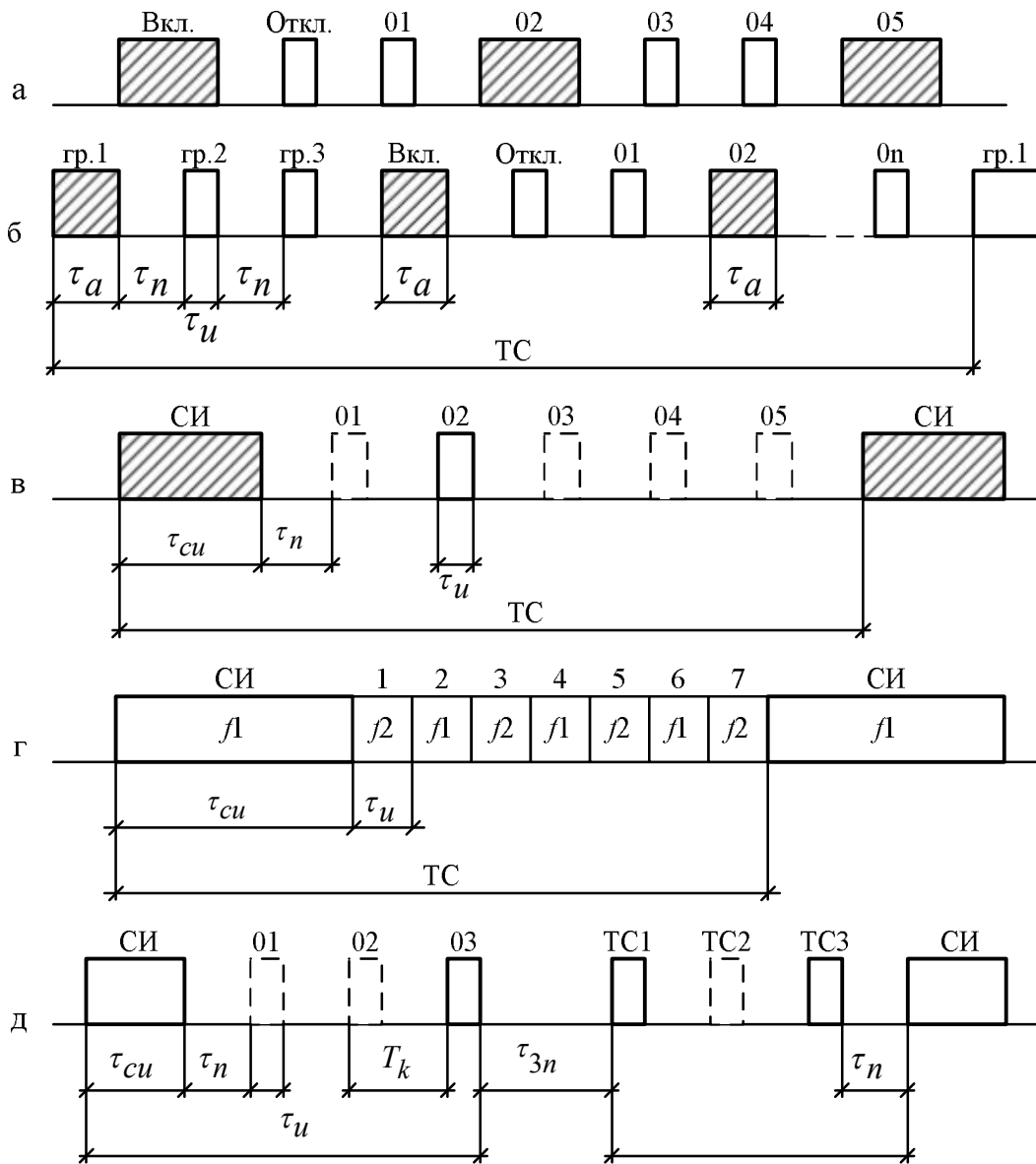


Рис. 2.6. Структуры сигналов при временном разделении сигналов

На рис. 2.7 и 2.8 приведена структурная схема ПУ и КП соответственно системы ТУ-ТС с временным разделением сигналов и сигнализацией по методу «темного щита». Для осуществления ТУ диспетчер с помощью ключей SB1-SB6 производит выбор группы объектов, выбор позиции и объекта, а затем нажимает кнопку «Пуск». При этом открывается схема И, и импульсы от генератора G поступают на распределитель импульсов РИ, который формирует n -разнесенных во времени последовательностей импульсов. Для осуществления циклической синхронизации импульсы с первого выхода РИ1 поступают на формирователь синхроимпульса ФСИ. Отличительным признаком СИ могут являться амплитуда, длительность, полярность. Сформированный сигнал через схему ИЛИ, линейный блок передатчика ЛБ ПРД и блок запрета БЗ1 поступает в линию связи. ЛБ ПРД предназначен для согласо-

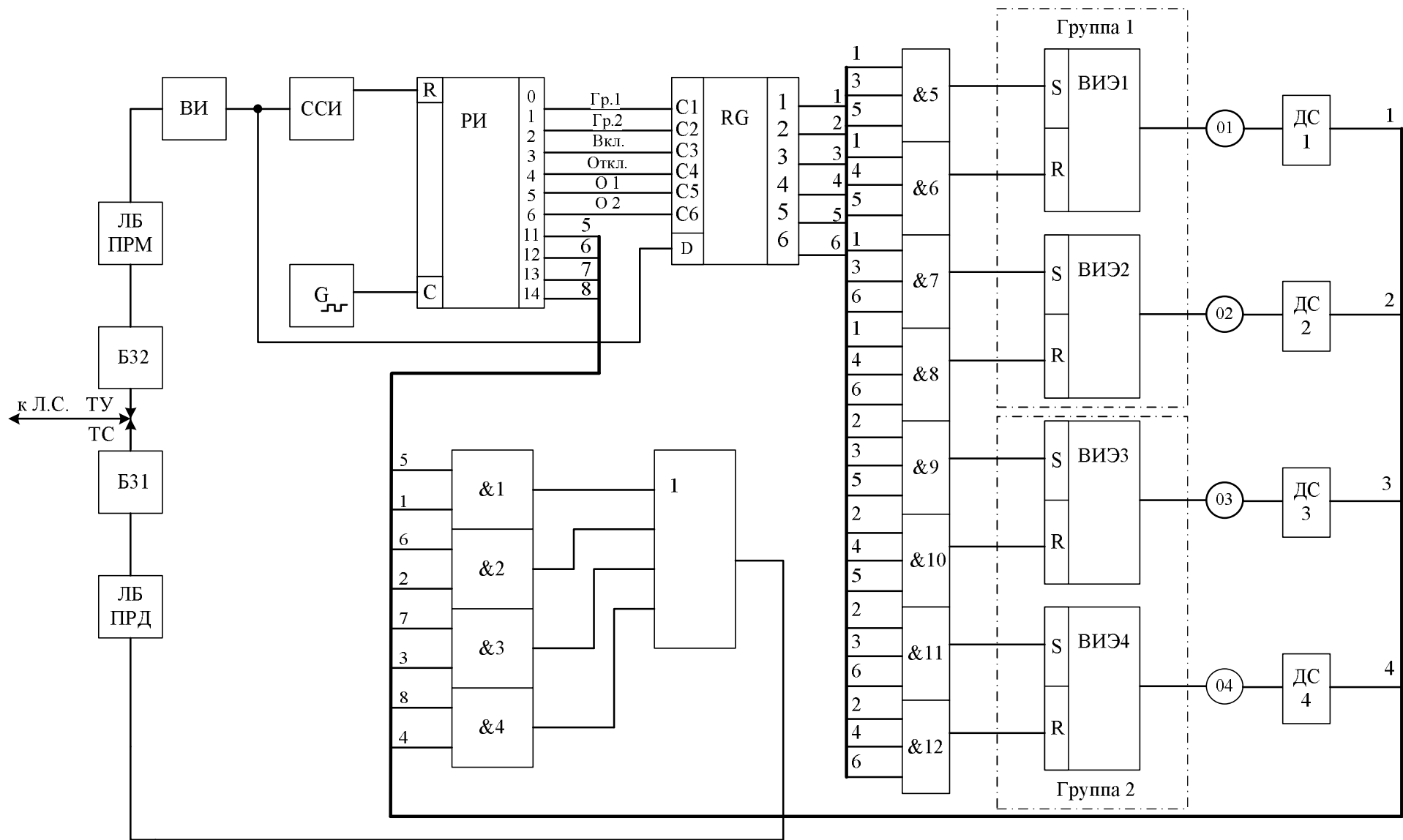


Рис. 2.8. Функциональная схема КП системы ТУ-ТС с временным разделением сигналов

ния выходных характеристик аппаратуры ПУ с входными характеристиками линии связи. БЗ осуществляет закрытие канала ТС на время передачи сигнала ТУ и, наоборот, для исключения ложного срабатывания.

Принятый из линии связи сигнал через БЗ2 и ЛБ ПРМ поступает на восстановитель импульсов ВИ, где производится его усиление и формирование для надежного срабатывания приемных устройств.

Синхроимпульс выделяется селектором синхроимпульсов ССИ и устанавливает приемный РИ в исходное состояние. Принятый сигнал запоминается в регистре RG, а затем поступает на соответствующие входы схем И5...И12. Сигналы с выхода этих схем управляют работой выходных исполнительных элементов ВИЭ1...ВИЭ4. Сообщения о состоянии объектов формируются датчиками сигнализации ДС и схемами И1...И4, опрос которых осуществляется РИ на 11...14 тактах. На 7...10 тактах введена разделительная (защитная) пауза между сигналами ТУ и ТС. Назначение БЗ и ЛБ аналогичное, как и на ПУ.

Пришедший из линии связи сигнал о состоянии объектов (ТС) через БЗ2 ЛБ ПРМ и ВИ (см. рис. 2.7) заносится в приемный регистр RG и сравнивается с положением ключей SB8...SB11. В случае расхождения работает световая и звуковая сигнализация. Диспетчер поворачивает соответствующий ключ в новое положение, после чего прекращает работать световая и звуковая сигнализация. Достоинством данного метода является то, что аппаратура ПУ и КП может быть полностью реализована на цифровых интегральных микросхемах.

2.8. Кодовое разделение сигналов

Устройства с временным кодовым разделением сигналов, называемые также цифровыми устройствами, обладающими неоспоримыми преимуществами, такими, как более высокая помехоустойчивость, лучшее использование канала связи, большая возможность унификации массового производства и применения в самых разнообразных условиях, несмотря на несколько большее число компонентов в системе на один сигнал. Эти преимущества более эффективны при использовании микропроцессорной техники.

При кодовом разделении сигналов, каждый сигнал ТУ или ТС передается определенной комбинацией n_B импульсов, посылаемых последовательно во времени. Наибольшее количество комбинаций получается при использовании двоичного кода на все сочетания. В настоящее время в большинстве промышленных систем сигналы ТС передаются многоканальными методами.

Кодовое разделение сигналов требует меньшего числа импульсов, чем циклическое временное разделение сигналов. Структурные схемы ПУ и КП системы ТУ-ТС приведены на рис. 2.9 и 2.10 соответственно. Устройство первичного кодирования кодирует адрес объекта, группы и саму команду первичным кодом, обычно двоичным. Эти кодовые комбинации обычно

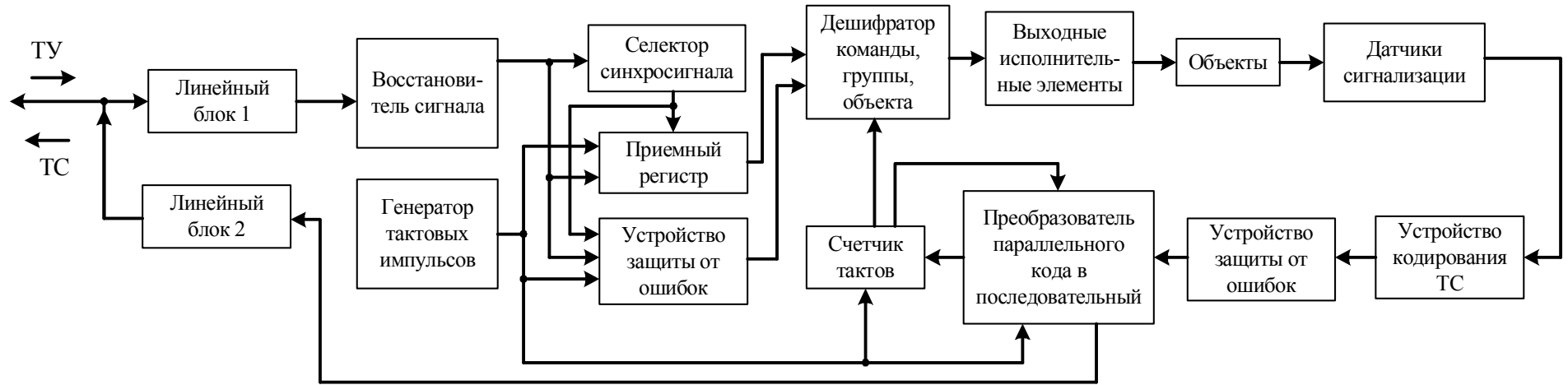


Рис. 2.10. Структурная схема КП системы ТУ-ТС с кодовым разделением сигналов

защищаются помехозащищенным кодом и совместно с синхросигналом через линейный блок поступают в линию связи.

Принятая из линии связи и восстановленная кодовая комбинация записывается в приемный регистр и одновременно анализируется устройством защиты от ошибок. Если искажений не обнаружено, исходная кодовая комбинация поступает в дешифратор, сигналы с выхода которого управляют выходными исполнительными элементами. Обеспечение синхронной и синфазной работы передатчика и приемника осуществляется сигналами с выхода селектора синхросигнала. Канал телесигнализации в случае, если применяется кодовое разделение сигналов ТС, по составу оборудования совпадает с каналом телеуправления. Если сообщения ТС передаются многоканальными методами, то каждому сигналу ТС соответствует импульс на соответствующей временной позиции.

2.9. Сравнительная оценка и области применения методов разделения сигналов

Частотный метод разделения сигналов применяется для передачи небольшого числа команд рассредоточенным объектам. Данный метод позволяет передавать как циркулярные, так и нециркулярные приказы. Он обеспечивает хорошую помехоустойчивость и надежность управления при высоком быстродействии.

Благодаря широкому внедрению интегральных микросхем наиболее широко используется временной метод разделения сигналов. Этот метод особенно эффективен при управлении сосредоточенными объектами. При невысоком быстродействии он не требует широкой полосы частот.

Рассматриваемый метод дает возможность как циркулярного, так и нециркулярного управления за один цикл работы.

Частотно-комбинационный метод избирания следует применять при достаточно большом числе рассредоточенных объектов. Он обеспечивает повышенное быстродействие и помехоустойчивость за счет применения частотных кодов и параллельной передачи элементов кодовых комбинаций.

Кодовое разделение сигналов позволяет полнее использовать пропускную способность временных каналов. Использование помехозащищенных кодов обеспечивает высокую достоверность команд управления, однако требует усложнения аппаратуры и по сравнению с временным разделением сигналов может применяться как для сосредоточенных, так и для рассредоточенных объектов, особенно эффективен при адресном групповом выборе.

В заключение этого подраздела следует отметить, что эффективность использования каналов связи и помехоустойчивость при комбинационных методах избирания получается выше, чем при циркулярных методах. В этом и заключается основное преимущество комбинационных методов.

2.10. Оборудование, располагаемое на ПУ и КП

Все оборудование можно разделить на три основных типа: собственно телемеханическая аппаратура, диспетчерское и оборудование автоматической обработки информации.

Телемеханическая аппаратура предназначена для формирования, передачи и приема сигналов, несущих сообщения.

Диспетчерское оборудование предназначено для обеспечения диспетчеру возможности контролировать и управлять технологическим процессом. Оборудование состоит из трех основных устройств: диспетчерский щит, диспетчерский пульт и щит регистрирующих приборов.

На диспетчерском щите изображается мнемосхема объекта и элементы сигнализации о ходе процесса в объектах. Диспетчерские щиты по принципу отображения состояний объектов разделяются на мимические и световые. В мимическом щите состояние объекта отображается положением механического и электромеханического элемента. Для привлечения внимания диспетчера, в случае расхождения между истинным положением объекта и отображаемым, рядом с элементом устанавливается световой индикатор.

В световых щитах состояние контролируемых объектов указывается цветом свечения символов. При несоответствии символ соответствующего объекта переходит на мигающий свет.

На щите указывающих и регистрирующих приборов размещаются индикаторные измерительные приборы.

На диспетчерском пульте монтируются органы управления объектами и квитирования извещений ТС, а также органы включения и контроля работоспособности отдельных узлов и блоков аппаратуры.

При небольших размерах диспетчерского щита могут конструктивно объединяться диспетчерский пульт и диспетчерский щит, а также диспетчерский щит и щит регистрирующих приборов.

Оборудование автоматической обработки, как правило, состоит из ЭВМ и устройств сопряжения оборудования ПУ с ЭВМ. ЭВМ может работать в двух режимах. В первом режиме «оператор» осуществляет автоматический контроль и управление технологическим процессом. При втором режиме «советчик» ЭВМ обеспечивает выдачу рекомендаций диспетчеру по управлению процессом в различных ситуациях. Оборудование КП состоит из телемеханической аппаратуры, а в отдельных вариантах и из нескольких элементов сигнализации и измерительных приборов, служащих для наладки и проверки работоспособности отдельных блоков при их установке и после ремонта.

2.11. Основные технические требования к устройствам ТУ-ТС

Требования устанавливаются соответствующими стандартами [5...9]. Основными являются:

1. Двухступенчатое управление, состоящее из двух операций: подготовительной (выбор адреса объекта) и исполнительной (посылка самой команды управления).

2. Датчики ТС должны иметь только один замыкающий или размыкающий контакт или одну бесконтактную цепь.

3. Несоответствие между истинным положением объекта и отображаемым на щите должно сигнализироваться. Для устранения этого несоответствия должен использоваться принцип общего квитирования.

4. При приеме известительной ТС без посылки запроса устройство должно подавать общие оповещающие сигналы.

5. Выходные сигналы импульсных устройств, выполненных на интегральных микросхемах, могут иметь следующие параметры:

– от 2,4 до 5,25 В; от 13,5 до 16,5 В; от минус 9,5 до минус 19 либо от 2 до 5,25 В; от 8,5 до 16,5 В; от минус 8,5 до минус 20 В – для выходных сигналов высокого уровня;

– от 0 до 0,4 В; от 0 до 1,5 В; от 0 до 1 В; либо от минус 0,4 до 0,8 В; от 0 до 6,5 В; от 0 до минус 2 В – для выходных сигналов низкого уровня.

Для устройств, выполненных не на ИС, амплитуда выходных сигналов выбирается из ряда: для напряжения – 0,6; 1,2; 3; 6; 12; 24; 48; 60; 110; 220 В; для токов – 1; 2; 5; 10; 20; 50; 100; 200; 500 мА.

Значения амплитуд ниже 0,6 В и 1 мА и выше 220 В и 500 мА не нормируются.

6. Номинальные дискретные значения активных длительностей импульсов, фронтов и спадов импульсов, а также промежутков между импульсами, используемых в качестве параметра передающей информации, должны выбираться из ряда чисел $(1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 5; 6,3; 8) \cdot 10^n$, где n – любое целое положительное или отрицательное число или нуль.

Дискретные значения частот синусоидальных колебаний используемых для заполнения импульсов при передаче кода, должны выбираться из ряда: 300, 315, 335, 355, 375, 400, 425, 450, 500, 530, 560, 600, 630, 670, 710, 750, 800, 850, 900, 950, 1000, 1060, 1120, 1250, 1320, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2120, 2240, 2360, 2500, 2650, 2800, 3000, 3150, 3350 Гц.

Устройства должны обеспечить выполнение функций ТУ или ТС при изменении уровня сигнала на входе приемника на $\pm 30\%$ от нормального значения входного сигнала.

По верности передачи информации устройства должны соответствовать требованиям, приведенным в табл. 2.1.

Устройства ТМ не должны допускать исполнения ложной команды при выходе из строя любого элемента аппаратуры (за исключением индивидуальных выходных элементов) или канала связи. При этом в устройстве должен осуществляться автоматический контроль исправности и сигнализация повреждений общих узлов.

По времени передачи одного сообщения все устройства ТМ делятся на три группы: первая до 1 с; вторая от 1 до 4 с; третья свыше 4 с.

Питание телемеханических устройств должно производиться от сети переменного тока частотой 50 Гц 220 В или 380 В +10 % и минус 15 % частоты ± 1 Гц; от источников постоянного тока с напряжением 6; 12; 24; 48; 60; 110 В+ плюс 10 % и минус 15 %.

Выходные элементы устройств ТУ должны быть рассчитаны на подключение к ним исполнительных устройств с номинальным напряжением 12; 14; 27; 36; 48; 60; 110 В.

Аппаратура всех групп должна обеспечивать работоспособность при давлении от 630 до 800 мм рт.ст.

3. ТЕЛЕРЕГУЛИРОВАНИЕ

Наряду с рассмотренными простейшими системами, выполняющими одну из функций ТИ, ТУ, ТС, порой добавляется и телерегулирование (ТР), представляющее собой телеуправление объектами с непрерывным множеством состояний (ГОСТ 26.005-82). Осуществляется ТР с помощью систем телеуправления и телеизмерения. Например, необходимо увеличить давление жидкости в трубопроводе до определенного уровня. Диспетчер посылает команду на включение насоса, нагнетающего жидкость в трубопровод, и по данным телеизмерения проверяет текущее значение давления. Когда давление достигает определенного значения, диспетчер посылает команду на отключение насоса.

Структурные схемы ПУ и КП системы телерегулирования приведены на рис. 3.1 и 3.2 соответственно.

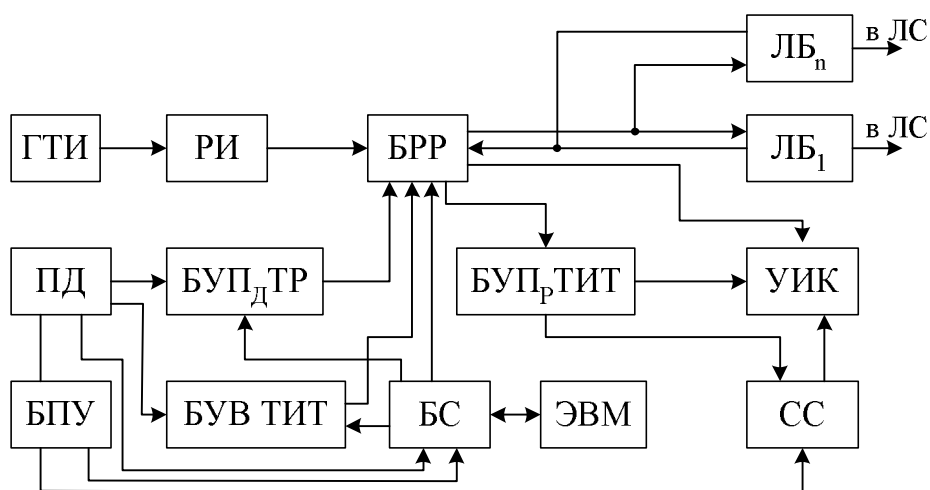


Рис. 3.1. Структурная схема ПУ системы телерегулирования

Всей работой ПУ и КП управляет блок задания режимов работы (БПП), который с помощью генератора тактовых импульсов (ГТИ) и распределителя импульсов (РИ) формирует управляющие, командные и тактовые сигналы,

реализующие алгоритм работы всех блоков устройств по стандартному сопряжению в соответствии с системой приоритетов, периодически вырабатывающей синхросигнал для синхронизации всех устройств. Блок режима воспринимает коды функциональных адресов информации и преобразует их в управляющие сигналы для соответствующих блоков – приемников информации. Кроме того, БРР осуществляет кодирование и декодирование кодовых комбинаций в помехозащищенном коде. В БРР содержатся узлы контроля работоспособности оборудования ПУ, исправности линий связи и КП, а также элементы для выдачи сигналов неисправности. Число индивидуальных линейных блоков (ЛБ), устанавливаемых на ПУ, определяется числом подключенных КП.

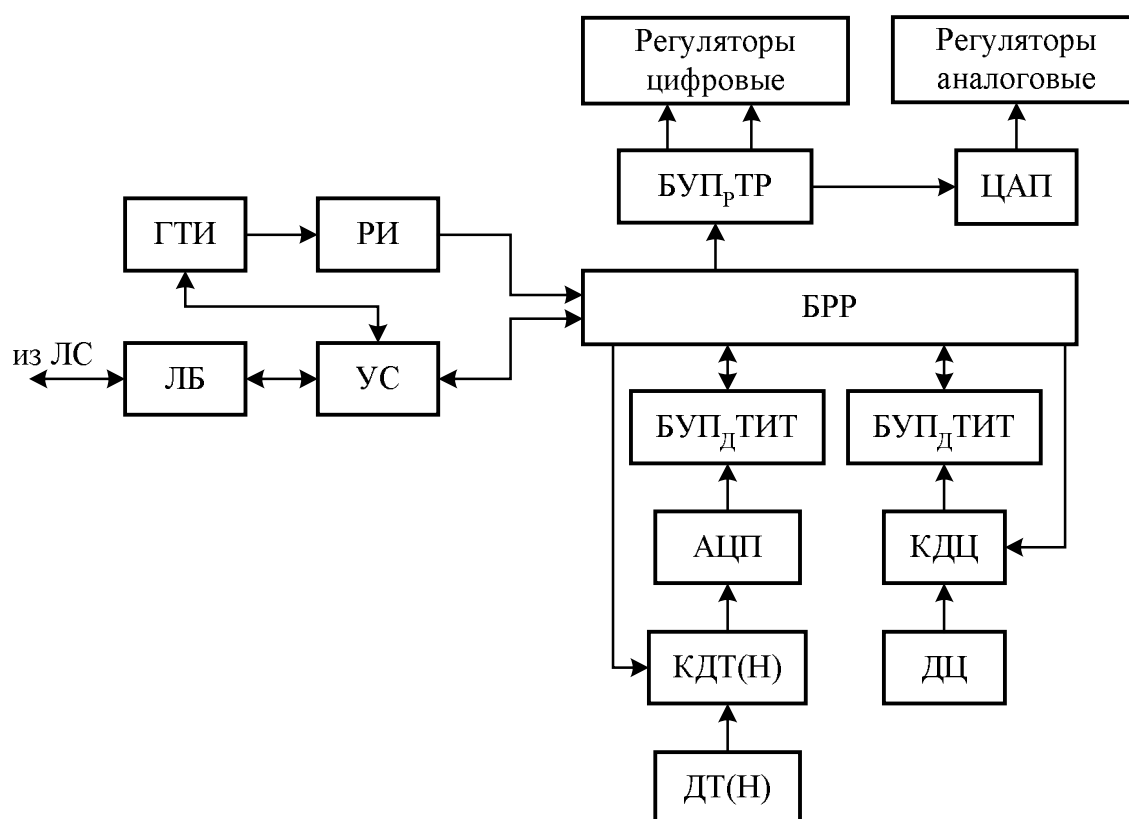


Рис. 3.2. Структурная схема КП системы телерегулирования

Прежде чем заниматься телерегулированием, необходимо получить информацию по каналу ТИ о состоянии объектов. Для чего необходимо сформировать и передать команду вызова телеизмерения текущих значений (ТИТ). Команды на ПУ вырабатываются либо диспетчером, либо ЭВМ. Команды поступают в блок управления вызова ТИТ (БУВ ТИТ) либо от ключей управления, расположенных на пульте диспетчера (ПД), либо от ЭВМ через блок сопряжения (БС). Правильность передаваемой команды диспетчер контролирует с помощью узла индикации команд (УИК), воспроизводящего команду на пульте диспетчера. Все команды, формируемые диспетчером, вводятся в ЭВМ. Струк-

тура сигнала вызова ТИТ состоит из синхросигнала, кода начала адреса пункта, функционального адреса, адреса объекта.

На КП (см. рис. 3.2) сигнал от ЛБ поступает на узел синхронизации (УС), на который также поступают тактовые импульсы от ГТИ. УС подстраивает фазу тактовых импульсов и осуществляет поэлементный прием кода методом стробирования. Кодовая комбинация с выхода УС поступает в БРР, где осуществляется декодирование и формирование управляющих сигналов, посредством которых через блок управления передачей ТИТ (БУП_д ТИТ) осуществляется передача телеизмеряемых величин от токовых датчиков (ДТ) и цифровых датчиков (ДЦ). Сообщения от ДТ поступают на вход БУП_д ТИТ через аналоговый коммутатор (КДТ) и аналого-цифровой преобразователь (АЦП), а от ДЦ через цифровой коммутатор (КДЦ). Программа работы коммутаторов определяется БРР. БУП_д ТИТ формирует код, который поступает в БРР. К этому коду в БРР добавляется код начала, адрес пункта, функциональный адрес и адрес объекта, и эта последовательность поступает через ЛБ в линию связи.

Пришедшая на ПУ из линии связи кодовая комбинация через ЛБ поступает в БРР, который сличает принятый код адреса с адресом вызываемого сообщения, т.е. осуществляет проверку адреса при информационной обратной связи. После декодирования в БРР полезное сообщение поступает в БУП_р ТИТ и в ЭВМ через БС, где оно запоминается, и поступает на устройство индикации команд (УИК) и одновременно на схему сравнения (СС), где оно сравнивается с соответствующей уставкой, записанной в блоке памяти уставок (БПУ). Если в результате сравнения будет принято решение о передаче команды на регулятор, то формирование команды осуществляется либо диспетчером, либо ЭВМ, которая через БУП_д ТИТ поступает в БРР. Правильность передаваемой команды диспетчер контролирует с помощью УИК. В блоке задания режимов работы к команде управления (задание уставок регуляторам) добавляются служебные сигналы аналогичные, как и при вызове ТИТ, и полное сообщение через ЛБ поступает в линию связи. При этом следует сказать, что допускается одновременная передача команды только одному регулятору.

Команды регулирования по типу «больше–меньше» воспринимаются БРР (см. рис. 3.2). В блоке осуществляется проверка информации по методу повторения, проверка поступления команды только одному регулятору. При этом контролируется отсутствие аппаратных искажений. Кодовые команды воспринимаются блоком управления приема телерегулирования (БУП_р ТР), который обеспечивает контроль исправности элементов. Кодовая комбинация с БУП_р ТР поступает либо непосредственно на регуляторы (при цифровом задании уставки), либо через ЦАП при задании уставки аналоговым сигналом. После завершения неискаженного приема на ПУ передается сигнал «квитанция», а на КП выходные исполнительные элементы в БУП_р ТР будут находиться в замкнутом состоянии до тех пор, пока не поступит команда отмены ТР.

4. ПЕРЕДАЧА ДИСКРЕТНЫХ СООБЩЕНИЙ

4.1. Области применения систем передачи дискретной информации

В настоящее время передача информации в дискретной (цифровой) форме находит широкое применение в решении самых различных задач. Особенно важное значения системы передачи цифровой информации приобрели в таких областях, как передача данных телеметрии, космическая связь и управление.

4.1.1. Передача данных. Появление автоматизированных систем управления (АСУ) и внедрение на всех уровнях управления ЭВМ значительно расширили функции систем телемеханики. Наряду с традиционными ТУ, ТС, ТИ, и ТР от систем телемеханики потребовалась передача производственно-статистической информации (данных, интегральных параметров). В большинстве случаев при передаче телемеханической информации требуется ее непосредственный ввод в ЭВМ или ее регистрация на машинном носителе. Характерной чертой современных автоматизированных систем управления, сбора, обработки, хранения и распределения информации является интенсивный обмен различными сведениями между значительным числом устройств, абонентов и ЭВМ. Разработка и внедрение таких систем привели к появлению устройств передачи информации нового типа – устройств передачи данных (УПД).

По определению Международного союза электросвязи (МСЭ) передача данных – это особый вид электросвязи, целью которой является передача информации для обработки ее ЭВМ или передача информации, уже обработанной ею.

Под данными понимаются сведения, выраженные в дискретной знаковой форме, которыми обмениваются устройства, пользователи или абоненты с ЭВМ и ЭВМ между собой. Данные в зависимости от применяемых знаков могут состоять из цифр, букв, символов и по смыслу представлять собой числа в определенной системе счисления, точнее в каком-либо алфавите, команды управления, обозначения операций и т.п. В целях упрощения передачи отдельные знаки данных или определенные их совокупности обычно кодируются двоичным кодом. Большое распространение (применение) УПД нашли в следующих системах:

- автоматизированные системы управления производством (АСУП);
- отраслевые автоматизированные системы управления (ОАСУ);
- планирование и статистическая обработка информации;
- бронирование и продажа билетов на транспорт;
- централизованный учет банковских операций;
- учет наличия и движения железнодорожных вагонов;
- управление космическими полетами;
- управление средствами противовоздушной обороны;
- управление войсками и т.д.

В любой системе передача данных выполняется по каналам связи. Совокупность УПД, каналов связи и средств управления каналами и потоками данных, обеспечивающая возможность обмена данными между устройствами, абонентами и вычислительными машинами некоторой системы, называется сетью передачи данных.

Принципы построения сетей описаны в [3]. Для передачи данных используются различные каналы связи: проводные, кабельные, радиорелейные и прочие радиоканалы, включая каналы спутниковой связи. Каналы связи, используемые для передачи данных, принято делить на коммутируемые и некоммутируемые.

Коммутируемым называют такой канал, который создается из отдельных участков только на время передачи.

Некоммутируемым называют такой канал, который предоставляется абонентам на длительное время или постоянно.

В зависимости от вида используемого канала скорость передачи данных может быть различной. По этому показателю каналы делятся на три группы: низкоскоростные – до 200 бит/с, среднескоростные (телефонные) – от 200 до 56 000 бит/с, высокоскоростные (широкополосные) – свыше 56 000 бит/с.

Допустимая вероятность ошибки при передаче одного элемента последовательности по телефонным каналам лежит в пределах от 10^{-4} до 10^{-5} (при отсутствии специальных средств защиты от ошибок). Цифровая информация, передаваемая в системе передачи данных, как правило, не обладает символьной избыточностью, поэтому вероятность ошибки в ней должна быть значительно меньше, а именно: $10^{-6} \dots 10^{-8}$.

Информация, как правило, передается порциями (блоками).

Датчиками информации в УПД могут быть: принтеры, фотосчитывающие устройства, ЭВМ, дисплей, пульта рабочих мест, датчики учета штучной продукции, читающие автоматы и т.д. Приемником информации могут быть: принтеры, ЭВМ, дисплеи, графопостроители и т.д.

УПД могут иметь различные режимы работы. Одним из режимов является работа сеансами, когда передается предварительно накопленная у одного из абонентов информация, а другим – режим непрерывного обмена информацией между абонентами. Кроме того, УПД отличаются друг от друга используемыми линиями и каналами связи, методами ввода и вывода данных, способами разделения прямого и обратного каналов, кодами, видами модуляции и т.д.

4.1.2. Космическая связь. Расширяющиеся программы космических исследований поставили перед техникой радиосвязи следующие задачи:

- обеспечение устойчивой и надежной связью на расстоянии в сотни миллионов километров;
- передача с борта космических объектов на пункты приема большого количества информации о состоянии и работе систем и агрегатов; а также о различных процессах, происходящих в космическом пространстве и на поверхности исследуемых планет;

– управление режимом работы космических объектов путем передачи командной информации с Земли на борт объекта.

В настоящее время успешно используют следующие основные виды систем космической связи:

- связи «Земля – борт» и «борт – Земля» с искусственными спутниками Земли и орбитальными космическими кораблями и лабораториями;
- дальней космической связи с автоматическими станциями, запускаемыми в сторону планет солнечной системы;
- связи с автоматическими станциями и лабораториями, запускаемыми на Луну, Марс и т.д.

Как правило, большинство космических систем связи являются совмещенными, т.е. представляют собой сложные комплексы, позволяющие одновременно решать задачи связи, телеметрии измерения параметров движения (траекторные изменения) и управления. Создание подобных систем требует решения сложных теоретических и технических задач, так как системы космической связи должны иметь очень высокие качественные показатели. Эти системы должны работать надежно в течение длительных сроков, измеряемых месяцами и годами; обеспечивать высокую точность передачи информации, обладать высокой энергетической эффективностью; иметь малые веса и габариты и т.д. Реализовать такие требования можно только методами и средствами цифровой техники.

Некоторые сведения о космических линиях связи приведены в [1].

4.1.3. Цифровая телеметрия. Телеметрические системы зачастую являются составной частью более крупных систем и комплексов (например в космических комплексах). Однако имеются области науки и техники, в которых телеметрические системы применяются как отдельные самостоятельные системы. К таким областям относятся авиационная и ракетно-космическая отрасли, промышленность, метеорология, геофизика, медицина и т.п.

В зависимости от вида используемого канала связи различают проводные, радио- и гидроакустические телеметрические системы.

Характерной особенностью современных телеметрических систем является большое число разнообразных измеряемых физических величин и высокая точность измерений. Информационные потоки в некоторых телеметрических системах могут достигать до 10^6 бит/с. Внедрение цифровых телеметрических систем позволило резко повысить скорость передачи и обработки информации.

Принцип построения цифровых телеметрических систем, в том числе и адаптивных, описан в разд. 1.5.

4.1.4. Системы дальней цифровой связи и управления. Для удовлетворения потребностей в надежной и высококачественной передаче больших потоков информации на дальние расстояния применяется УКВ диапазон. Для увеличения дальности действия УКВ систем связи широко применяются радиорелейные линии с наземными промежуточными ретрансляционными пунктами, а также спутниковые линии связи, в которой ретранслятор находится на искусственном спутнике Земли. Наряду с такими линиями в последние годы

получили заметное развитие тропосферные, ионосферные и метеорные линии связи. Особенно важное значение эти линии связи имеют для решения специальных задач военного характера.

Различные каналы передачи цифровой информации по условиям их работы можно разделить на две группы. К первой группе относятся каналы с постоянными параметрами, или гауссовскими каналами. К ним относятся обычные радиорелейные линии с промежуточными ретрансляторами; УКВ линии связи с дальностью действия в пределах прямой видимости, в частности спутниковые линии связи с активным ретранслятором; космические линии связи.

Ко второй группе относятся каналы, в которых за время сеанса связи условия распространения сигналов в среде существенно изменяются. Эти каналы называются каналами со случайными параметрами. Поэтому обеспечивать высокую достоверность передачи информации в таких каналах значительно труднее.

Важной особенностью требований к современным и перспективным системам передачи цифровой информации (особенно к системам передачи данных) является требование стандартизации показателей качества передачи.

4.1.5. Достоинства цифровых систем. Наиболее существенными преимуществами систем передачи цифровой информации являются:

- возможность автоматизации обработки информации;
- универсальная форма представления сообщений различной физической природы и, как результат этого, гибкость систем, позволяющая, заменив программу работы, применять одно и то же оборудование для различных целей;
- высокие качественные показатели работы системы;
- возможность объединения отдельных систем в более крупные системы и комплексы.

4.2. Структурная схема системы передачи цифровой информации

Специфика различных областей применения систем передачи цифровой информации требует различного подхода к реализации таких систем. Система передачи данных по телефонным каналам совершенно не похожа на систему космической связи или на цифровую систему тропосферной связи ни по техническому исполнению, ни по параметрам. Однако в принципах построения отдельных устройств (блоков) самых разных систем много общего. Это обстоятельство дает возможность рассматривать цифровые системы связи с общих позиций, отвлекаясь от специфики их применения и конкретных условий работы. Такой подход позволяет выяснить ряд важных положений, характерных для любой системы передачи цифровой информации.

В дальнейшем под системой передачи цифровой информации будем понимать упорядоченную совокупность технических средств, с помощью которых осуществляется передача информации в цифровой форме из одного пункта пространства в другой. Такая система вместе с физической средой, в которой

распространяются содержащие передаваемую информацию сигналы, образуют цифровую линию связи, структурная схема которой приведена на рис. 4.1.

По цифровым линиям связи можно передавать сообщения самой различной физической природы: цифровые данные, полученные от ЭВМ, речь, тексты телеграмм, команды управления, результаты измерения различных физических величин, телеметрируемых с объектов, и т.д. Естественно, что все эти сообщения предварительно должны быть преобразованы в электрические колебания, сохраняющие все свойства исходных сообщений, а затем унифицированы, т.е. представлены в цифровой форме, удобной для последующей передачи. Под источником цифровой информации на рис. 4.1 понимается устройство, в котором выполнены все указанные выше операции. Такой источник создает сообщения, представляющие собой последовательности, образованные элементами, каждый из которых может принимать только конечное число различных значений.

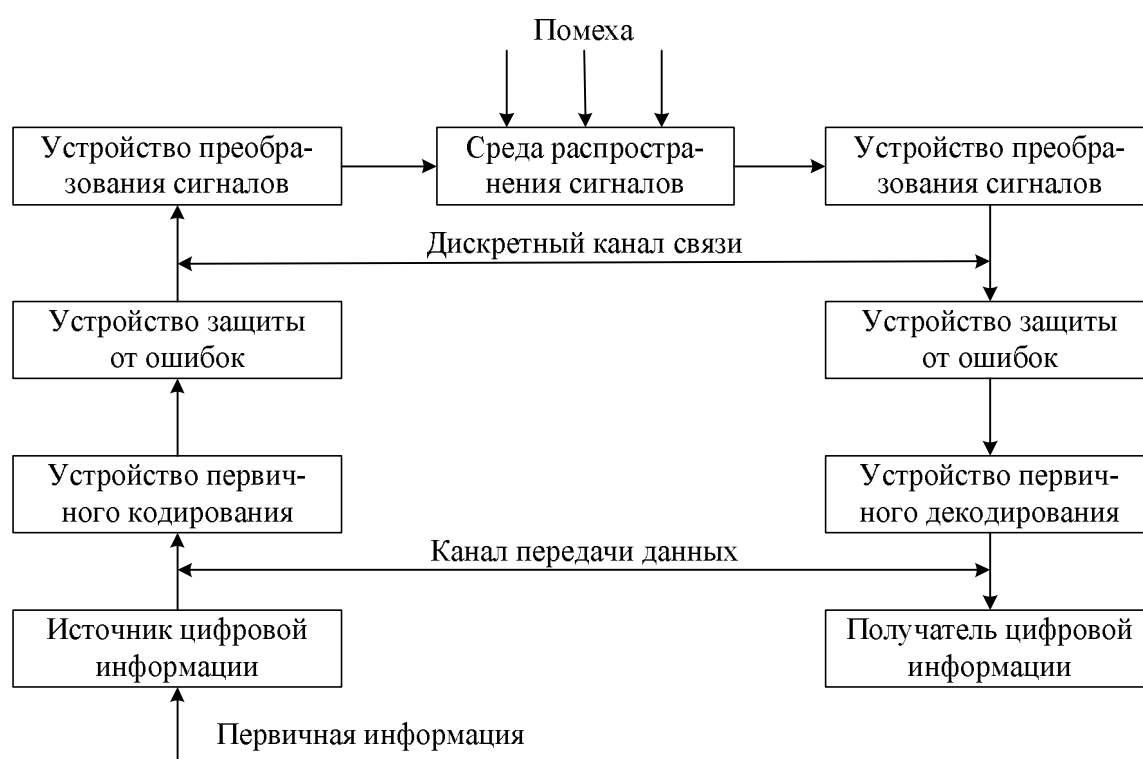


Рис. 4.1. Структурная схема цифровой линии связи

Устройство первичного кодирования (УПК) в общем случае выполняет функции преобразования сообщений, выдаваемых источником, в первичный K -разрядный код; функции статистического кодирования и формирования из отдельных кодовых слов информационных блоков. В простейших случаях УПК может отсутствовать, и кодовые слова, выдаваемые источником, будут непосредственно вводиться в устройство защиты от ошибок (УЗО). На приемной стороне устройство первичного декодирования (УПДК) выполняет ответные функции.

УЗО выполняет наиболее ответственные функции – обеспечение требуемых вероятностно-временных характеристик процесса передачи данных. В этом блоке реализуется тот или иной алгоритм передачи информации, осуществляется избыточное кодирование и декодирование, информационный контроль и резервирование каналов связи, фазирование работы приемной и передающей аппаратуры передачи цифровой информации. Кроме того, в УЗО, как правило, происходит преобразование параллельного кода в последовательный (на передающей стороне) и обратно (на приемной стороне).

С целью согласования УЗО передатчика и приемника с непрерывным каналом связи (средой, в которой, как правило, передаются непрерывные сигналы) используются устройства преобразования сигналов (УПС), включаемые на передаче и приеме. В частном случае – это модулятор и демодулятор (модем). Совместно с каналом связи УПС образуют дискретный канал связи (ДКС), т.е. канал, предназначенный для передачи только дискретных сигналов (цифровых сигналов данных). УПС аппаратуры передачи данных могут выполняться конструктивно в одном корпусе с другими узлами УПД (например с УЗО), однако чаще всего УПС выпускается в виде отдельных устройств. При этом УПС помимо своих основных функций обычно выполняют и ряд вспомогательных: автоматическое переключение УПД в режим передачи или приема; обеспечение блокировки УПД и включение сигнализации при понижении или пропадании уровня принимаемого сигнала; коррекцию АЧХ и ФЧХ канала связи; оценку качества принимаемых сигналов; вырабатывают сигналы синхронизации передатчика и приемника. Различают УПС, позволяющие организовать передачу данных по каналам тональной частоты, широкополосным каналам и физическим линиям связи. В настоящее время все чаще применяют понятие интеллектуальный модем, выполняющий функции УЗО, УПС и устройства сжатия информации [12]. Примеры применения интеллектуальных модемов приведены в подразд. 4. В УПС могут применяться АМП, ЧМП, ФМП или комбинированные виды модуляции. При этом скорость манипуляции переносчика или скорость передачи двоичных сигналов по ДКС составит

$$B = \frac{1}{\tau_0} \text{ бод,} \quad (4.1)$$

где τ_0 – длительность элементарного сигнала.

В зависимости от режима выдачи информации источником система передачи цифровой информации может работать в спорадическом (сеансовом) и непрерывном режимах. Обмен информации между абонентами может производиться по различным алгоритмам. Наибольшее распространение получили следующие алгоритмы:

- однократная передача;
- многократная передача;
- с информационной обратной связью (ИОС);

– с решающей обратной связью (РОС).

Первые два алгоритма широко используются в односторонних системах передачи дискретной информацией, в которых для передачи информации в каком-либо направлении используется канал связи только данного направления. В таких системах передатчик не получает информацию об изменении состояния канала связи и поэтому работает в одном заранее заданном режиме. На вход передатчика поступает последовательность двоичных символов, которую он преобразует в избыточную. В системах, использующих блочные коды, избыточность вводится путем преобразования поступающих на вход K -элементных комбинаций в n -элементные ($n \geq K$). При передаче n -элементных комбинаций по каналу связи в них вносятся ошибки. Решающее устройство системы отождествляет принятую n -элементную комбинацию с одной из 2^K переданных или выдает сигнал стирания.

Оценка системы может быть произведена $P_{ош}(K)$ – вероятностью ошибочного приема, $P_{ст}$ – вероятностью обнаружения ошибки и $P_{пр}$ – вероятностью правильного приема. Методика определения указанных вероятностей приведена в [1].

Алгоритмы передачи информации с ИОС и РОС рассмотрим более подробно, так как они чаще всего находят применение на практике.

4.3. Системы передачи цифровой информации с обратной связью

4.3.1. Классификация систем с обратной связью. Системами передачи дискретной информации с обратной связью называют системы, в которых передатчик с приемником соединены прямым и обратным каналами связи, и передатчик при вводе избыточности использует информацию о состоянии прямого канала, получаемую по каналу обратной связи.

В зависимости от назначения ОС различают системы: с решающей обратной связью (РОС), информационной обратной связью (ИОС) и комбинированной обратной связью (КОС).

В системах с РОС приемник по сигналу, соответствующему комбинации из n элементов, принимает окончательное решение на выдачу комбинации в приемник информации (ПИ) или на ее стирание и переспрос. Формируемый в приемнике сигнал подтверждения приема комбинации или сигнал переспроса передается по каналу обратной связи передатчику системы. В зависимости от этого последний либо передает новую комбинацию, полученную от датчика информации (ДИ), либо повторяет ранее переданную. Следовательно, основной особенностью системы РОС является то, что в них право решения принадлежит приемнику, а передатчик лишь управляется приемником с помощью сигналов, передаваемых по каналу обратной связи. Канал обратной связи используется в этих системах для передачи решений, принимаемых приемником по комбинациям, поэтому такая ОС и была названа решающей.

В системах с ИОС обратный канал используется для передачи информации о принятой комбинации или о состоянии канала связи. Информация анализируется передатчиком, и по результатам анализа принимается решение о повторении ранее переданных комбинаций или передаче новых комбинаций, получаемых от ДИ. После этого передатчик передает служебные сигналы о принятом решении, а затем и кодовые комбинации.

Системы с комбинированной обратной связью – это системы, в которых решения о повторной передаче или выдаче комбинации в ПИ могут приниматься и в приемнике, и в передатчике, а канал ОС используется как для передачи решений, принятых приемником системы, так и для передачи информации о принятой комбинации или состоянии канала связи.

Системы с ОС также делятся на системы с ограниченным числом повторений и неограниченным числом повторений.

В системах с ограниченным числом повторений каждая комбинация может повторяться не более r раз, а в системах с неограниченным числом повторений до тех пор, пока не будет принято решение о выдаче этой комбинации в приемник информации.

Системы с ОС, в которых используется информация, содержащаяся в забракованных комбинациях, называются системами с памятью. Если же забракованные комбинации отбрасываются, то системы называются системами без памяти.

В зависимости от способа передачи сигнала ОС различают:

- системы со специальным обратным каналом;
- системы, в которых ОК выделяется методами частотного разделения;
- системы, в которых ОК выделяется методами временного уплотнения;
- системы со структурным разделением, в которых для передачи сигнала ОС используется специальная кодовая комбинация, в приемнике любая разрешенная комбинация (кроме выделенной для сигнала ОС) дешифрируется как сигнал подтверждения, а любая неразрешенная комбинация – как сигнал переспроса.

По типу дискретных каналов различают системы, предназначенные для работы по дуплексным каналам, и системы, работающие по полудуплексным каналам.

По способу функционирования системы с обратной связью делятся на следующие классы: с ожиданием сигнала ОС; с безадресным повторением и блокировкой приемника; с адресным повторением.

Системы с ожиданием после передачи кодовой комбинации либо ожидают сигнал обратной связи, либо передают ту же кодовую комбинацию (блок), но передачу следующей кодовой комбинации (блока) начинают только после получения подтверждения по ранее переданной комбинации.

Системы с блокировкой осуществляют передачу непрерывной последовательности кодовых комбинаций при отсутствии сигналов ОС по предшествующим h комбинациям. После обнаружения ошибок в $(h+1)$ -й комбинации выход системы блокируется на время приема h комбинаций, в запоминающем

устройстве приемника стираются h ранее принятых комбинаций, и посылается сигнал переспроса. Передатчик повторяет передачу h последних переданных кодовых комбинаций.

Системы с адресным повторением отличает то, что кодовые комбинации с ошибками отмечаются условными номерами, в соответствии с которыми передатчик производит повторную передачу только этих комбинаций.

Обратной связью могут быть охвачены различные части системы (рис. 4.2):

- канал связи, при этом по каналу ОС передаются сведения о принимаемом сигнале до принятия какого-либо решения;
- дискретный канал, при этом по каналу ОС передаются решения, принятые УПС_{ПРМ} на основе анализа единичных элементов сигнала;
- канал передачи данных, при этом по каналу ОС передаются решения, принятые УЗО_{ПРМ} на основании анализа кодовых комбинаций.

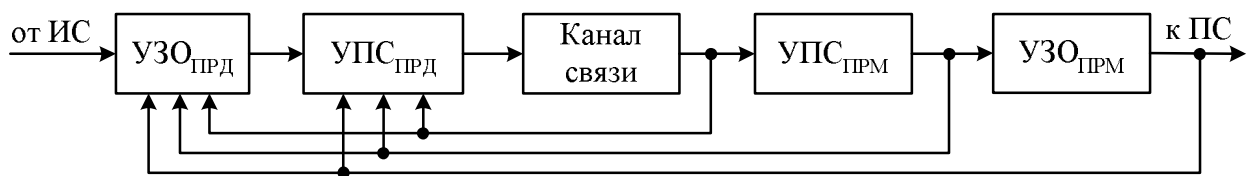


Рис. 4.2. Обратная связь в системе передачи дискретной информации

В первом случае для контроля канала связи используют устройства типа детектора качества, которые анализируют те или иные параметры принимаемого сигнала (амплитуду, частоту, длительность) или уровень помех. При этом по каналу ОС могут передаваться команды на изменения параметров передаваемых сигналов: мощности, спектрального состава, темпа передачи, избыточности кода и т.п. На передающей стороне должны быть предусмотрены соответствующие органы воздействия на источники сигналов: регуляторы мощности, корректоры, кодопреобразователи, управляемые сигналами, поступившими по каналам ОС.

Во втором случае в качестве анализатора также обычно используют детекторы качества, контролирующие амплитуду, или краевые искажения сигнала после демодуляции, или и то, и другое.

В третьем случае анализатором служит УЗО, принимающее решение о наличии или отсутствии ошибок в принятых кодовых комбинациях.

Из изложенного следует, что системы с ОС являются адаптивными: темп передачи информации по каналам связи автоматически приводится в соответствие с конкретными условиями прохождения сигналов.

4.3.2. Система с РОС и ожиданием решающего сигнала (РОС-ОЖ). Основная особенность этих систем состоит в том, что передатчик, передавая n -элементную комбинацию, или ожидает сигнал обратной связи, или повторяет ранее переданную комбинацию. Следующую комбинацию он может переда-

вать лишь после приема сигнала подтверждения по ранее переданной комбинации.

Схема алгоритма и временная диаграмма, с помощью которых поясняется последовательность операций в системе с ожиданием, представлены на рис. 4.3 и 4.4.

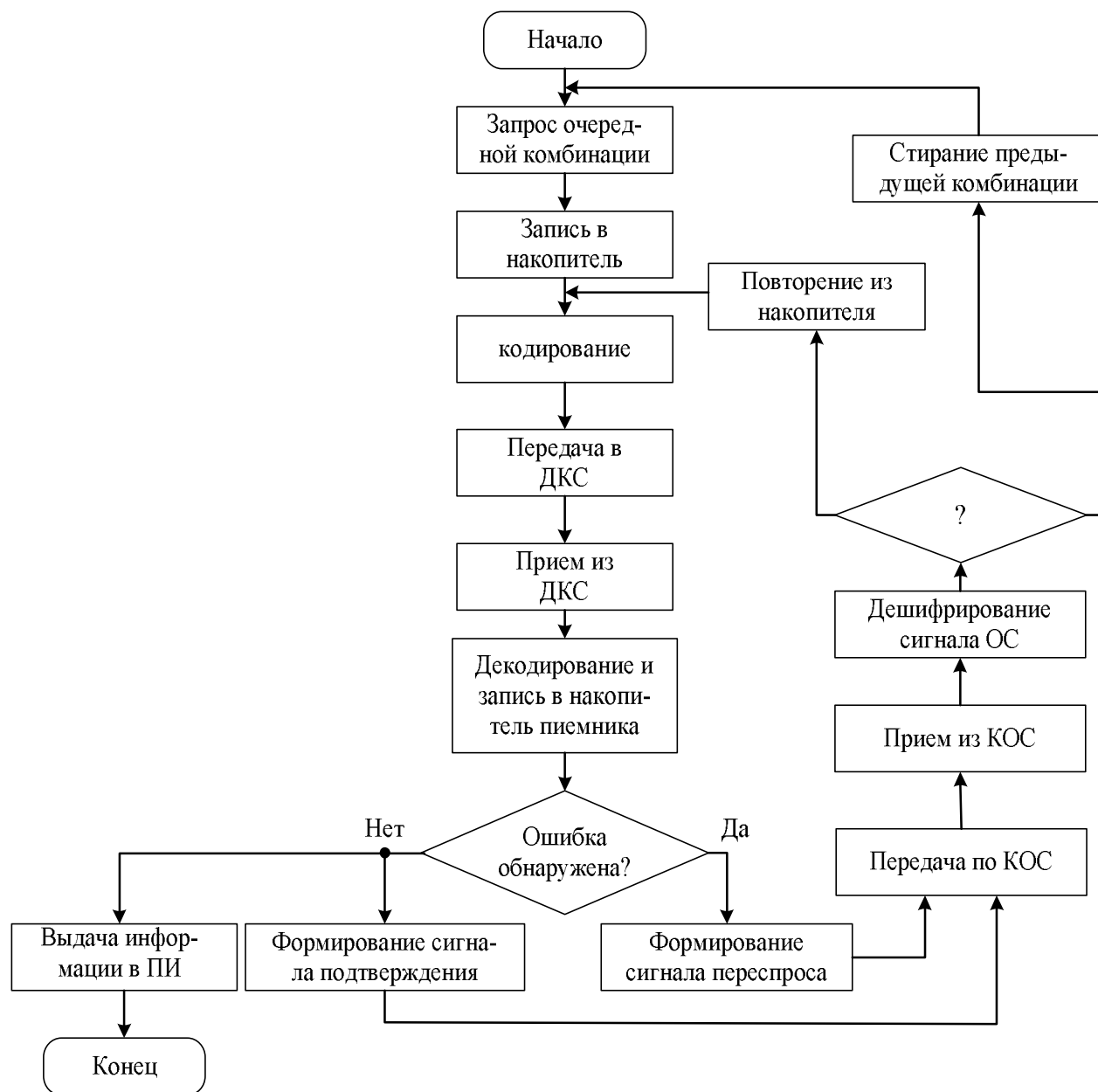


Рис. 4.3. Схема алгоритма работы системы ПДС с РОС-ОЖ

При поступлении кодовой комбинации с датчика информации производится запись комбинации в накопитель и одновременное кодирование и передача ее в канал связи. Принятая комбинация может быть принята правильно, с необнаруживаемой ошибкой или обнаруживаемой ошибкой. Вероятности этих исходов определяются корректирующим кодом (в общем случае решающим

устройством). Дальнейшее поведение системы не определено однозначно, а зависит от результата анализа принятой комбинации устройством обнаружения ошибок. При отсутствии ошибок или при необнаруживаемых ошибках принимается решение о выдаче комбинации в ПИ и одновременно формируется сигнал подтверждения приема, который передается по каналу обратной связи. После приема сигнала подтверждения передатчик получает от ДИ следующую кодовую комбинацию и передает ее в канал связи. Если кодовая комбинация содержит обнаруживаемую ошибку, то при приеме такой комбинации принимается решение о стирании и формируется сигнал переспроса, который передается по каналу обратной связи. При приеме сигнала переспроса повторно передается комбинация, хранящаяся в накопителе.

На рис. 4.4 показан прием без переспроса (комбинации 1 и 3) и прием после одного переспроса (комбинация 2).

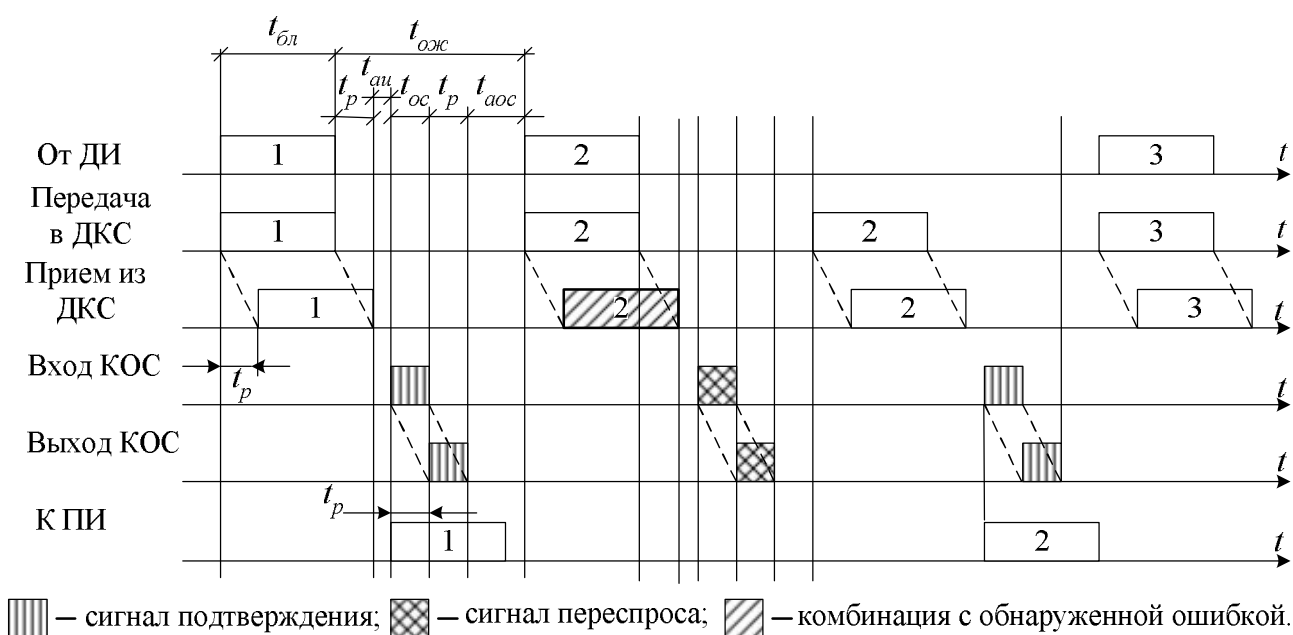


Рис. 4.4. Временные диаграммы работы системы с РОС-ОЖ

Сигналы подтверждения и переспроса, передаваемые по каналу ОС, подвержены воздействию помех. Поэтому возможны такие случаи, когда при передаче сигнала подтверждения будет принят сигнал переспроса и наоборот. В первом случае в ПИ будет выдана одна и та же комбинация, т.е. будет иметь место вставка комбинации, а во втором случае одна из комбинаций, полученных от ДИ, не будет выдана в ПИ, т.е. произойдет выпадение комбинации (рис. 4.5).

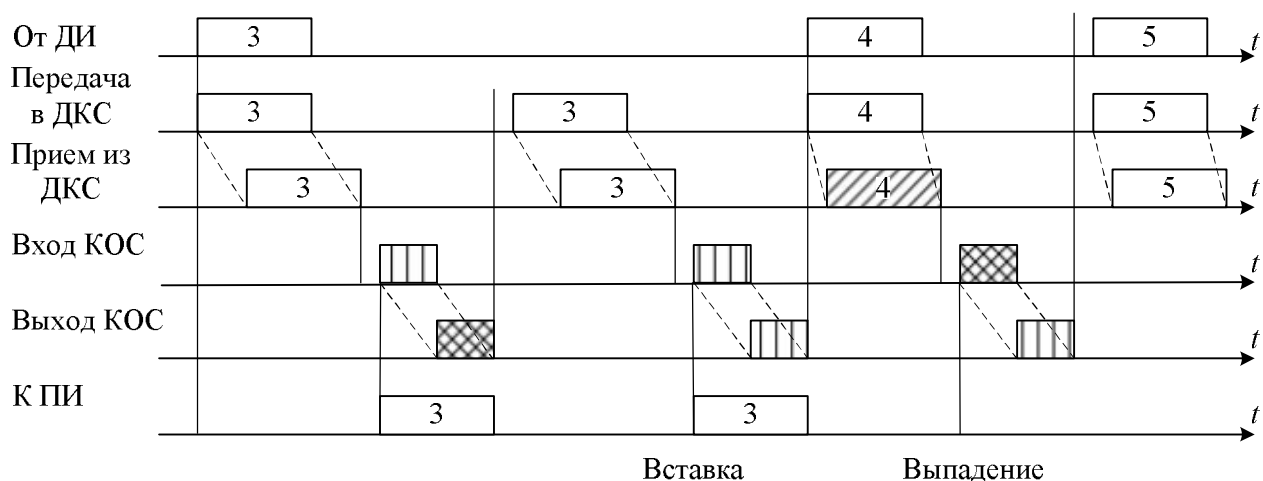


Рис. 4.5. Появление сдвига при работе системы ПДС с РОС-ОЖ

На рис. 4.6 показана структурная схема системы с ожиданием. Поступающая с источника информации (ИИ) k -элементная комбинация через сумматор (схему ИЛИ) записывается в накопитель и одновременно кодируется с помощью кодирующего устройства (КУ), после чего полученная n -элементная комбинация подается на вход ДКС. С выхода ДКС эта комбинация поступает на вход решающего устройства (РУ), в качестве которого может использоваться, например, устройство обнаружения ошибок корректирующего кода, устройство анализа сигнала и т.д. В РУ принимается одно из двух решений: либо информационная часть комбинации выдается в ПИ, либо комбинация стирается.

Одновременно с поступлением комбинации в РУ производится ее декодирование (т.е. выделение информационной части) в декодирующем устройстве (ДКУ) и запись полученной k -элементной комбинации на накопитель. При приеме решения на выдачу комбинации в ПИ в блоке управления формируются управляющие сигналы, с помощью которых k -элементная комбинация считывается с накопителя и через ключ (схему И) подается на вход приемника информации. Одновременно БУ подает управляющий импульс на вход устройства формирования сигнала обратной связи (УФС), в котором формируется сигнал подтверждения приема комбинации, подаваемой на вход канала обратной связи (КОС). С выхода КОС сигнал поступает на вход декодера сигнала ОС (ДСОС).

Если входящий сигнал дешифрован как сигнал подтверждения, то на вход БУ приемника системы подается соответствующий импульс. БУ производит запрос от ИИ следующей комбинации, которая так же, как и предыдущая, поступает на вход системы и передается в канал связи. Ключ в этом случае закрыт, и ранее переданная комбинация, хранящаяся в накопителях, стирается при поступлении новой.

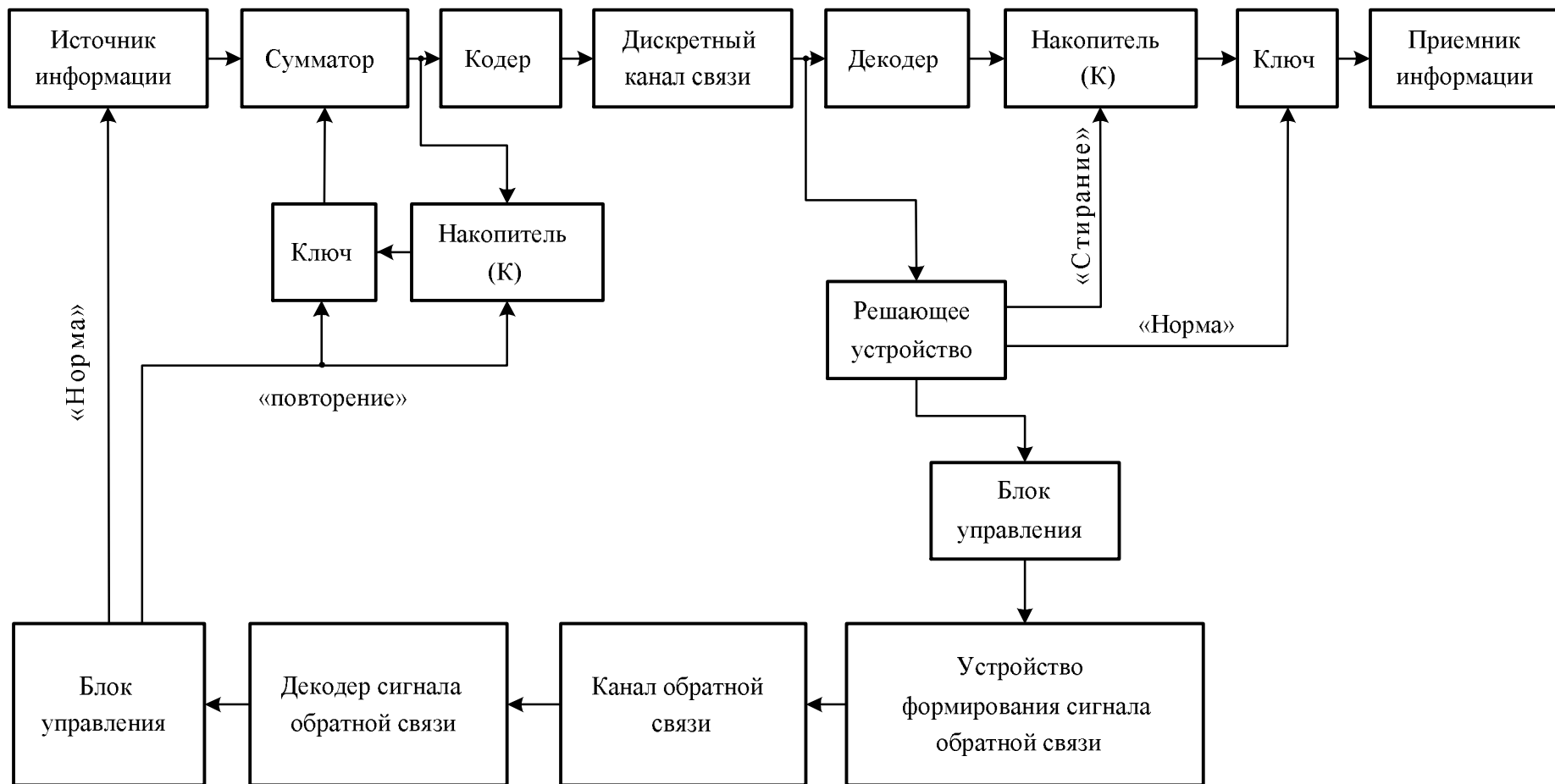


Рис. 4.6. Структурная схема передачи дискретной информации с РОС-ОЖ

При приеме РУ решения на стирание комбинации хранящаяся в приемном накопителе комбинация стирается, а в УФС формируется сигнал переспроса, который передается по каналу обратной связи. При дешифрировании ДСОС поступающего на его вход сигнала как сигнала переспроса, на вход БУ поступает соответствующий импульс. БУ осуществляет управление элементами передатчика системы таким образом, что производится повторная передача комбинации, хранящейся в накопителе передатчика.

Скорость передачи R системы с ожиданием определяется избыточностью применяемого кода, временем ожидания результатов анализа кодовой комбинации потерей времени на переспросы. В соответствии с временной диаграммой запишем формулу для текущей относительной скорости передачи:

$$R_T = \frac{K}{n + \frac{t_{ОЖ}}{t_0}} \cdot \frac{N_{ПР}}{N_{ПЕР}},$$

где K – число информационных элементов в кодовой комбинации;

n – общее число элементов в кодовой комбинации; $t_0 = 1/B$;

B – скорость модуляции, бод;

$t_{ОЖ} = 2t_P + t_{ОС} + t_{АИ} + t_{АОС}$;

t_P – время распространения сигнала по каналу связи;

$t_{ОС}$ – длительность сигнала ОС;

$t_{АИ}$ – время анализа кодовой комбинации;

$t_{АОС}$ – время анализа сигналов ОС;

$N_{ПР}$ – число комбинаций, выданных в ПИ за время t ;

$N_{ПЕР}$ – число комбинаций, переданных по каналу связи за время t .

Обозначаем

$$N_{ПЕР} - N_{ПР} = N_{СТ},$$

где $N_{СТ}$ – число комбинаций, стираемых РУ системы за время t .

Тогда

$$\frac{N_{П}}{N_{ПЕ}} = \frac{N_{ПЕ} - N_{СТ}}{N_{ПЕ}} = 1 - \frac{N_{СТ}}{N_{ПЕ}}.$$

При достаточно больших значениях t величина $N_{СТ} / N_{ПЕР}$ сходится по вероятности к величине $P_{СТ}(n)$ – вероятности стирания комбинации решающим устройством системы. Следовательно,

$$R = \frac{K}{n + \frac{t_{ОЖ}}{t_0}} (1 - P_{СТ}(n)). \quad (4.2)$$

Вероятность ошибочного приема комбинации для системы с ожиданием равна

$$P_{\text{ош}}(K) = \frac{P_{\text{ош}}(n)}{1 - P_{\text{ст}}(n)}, \quad (4.3)$$

где $P_{\text{ош}}(n)$ – вероятность выдачи на вход РУ комбинации с ошибкой.

Вероятности вставок и выпадений, определяемые выбранным способом передачи и приема сигналов подтверждения ϑ и переспроса ω_1 равны:

$$P_{\text{вст}} \approx P(\omega / \vartheta);$$

$$P_{\text{вып}} \approx P_{\text{ст}}(n)P(\vartheta / \omega).$$

4.3.3. Системы передачи дискретной информации с ИОС-ОЖ. В системах с ИОС решение на повторение или выдачу в ПИ комбинации (блока) принимается на передатчике по результатам анализа переданной комбинации, а также по информации о комбинации, принятой приемником системы по каналу обратной связи. Возможны различные варианты построения систем с ИОС. Рассмотрим простейший вариант.

На рис. 4.7 и 4.8 приведены схема алгоритма и временная диаграмма работы системы с информационной обратной связью.

Полученная от ДИ комбинация записывается в накопитель и одновременно передается в канал связи. Принятая комбинация записывается в приемный накопитель. Следует заметить, что при приеме возможны два исхода – прием комбинации a_i , идентичной переданной, и прием комбинации a_j , отличающейся от переданной. Принятая комбинация подвергается некоторому преобразованию, а результат преобразования $f(a_i)$ по каналу ОС посылается передатчику. Примером преобразования может служить линейное кодирование. В этом случае $f(a_i)$ будет вектором, компоненты которого являются избыточными элементами кодовой комбинации, полученной кодированием a_i (системы с укороченной ОС).

Известен частный случай, когда $f(a_i) = a_i$, т.е. когда по каналу ОС посылается обратно принятая комбинация. Системы, в которых $f(a_i) = a_i$, называются системами со сравнением, или системами с обратной проверкой (системы с полной информационной связью).

В передатчике системы из переданной комбинации также формируются $f_1(a_i)$, после чего производится сравнение и, если $f(a_i) = f_1(a_i)$, принимается решение о правильности приема a_i , а если $f(a_i) \neq f_1(a_i)$ – решение о стирании a_i на приеме и повторной передаче a_i . Принятое решение по вспомогательному каналу (или по основному при принятии специальных мер разделе-

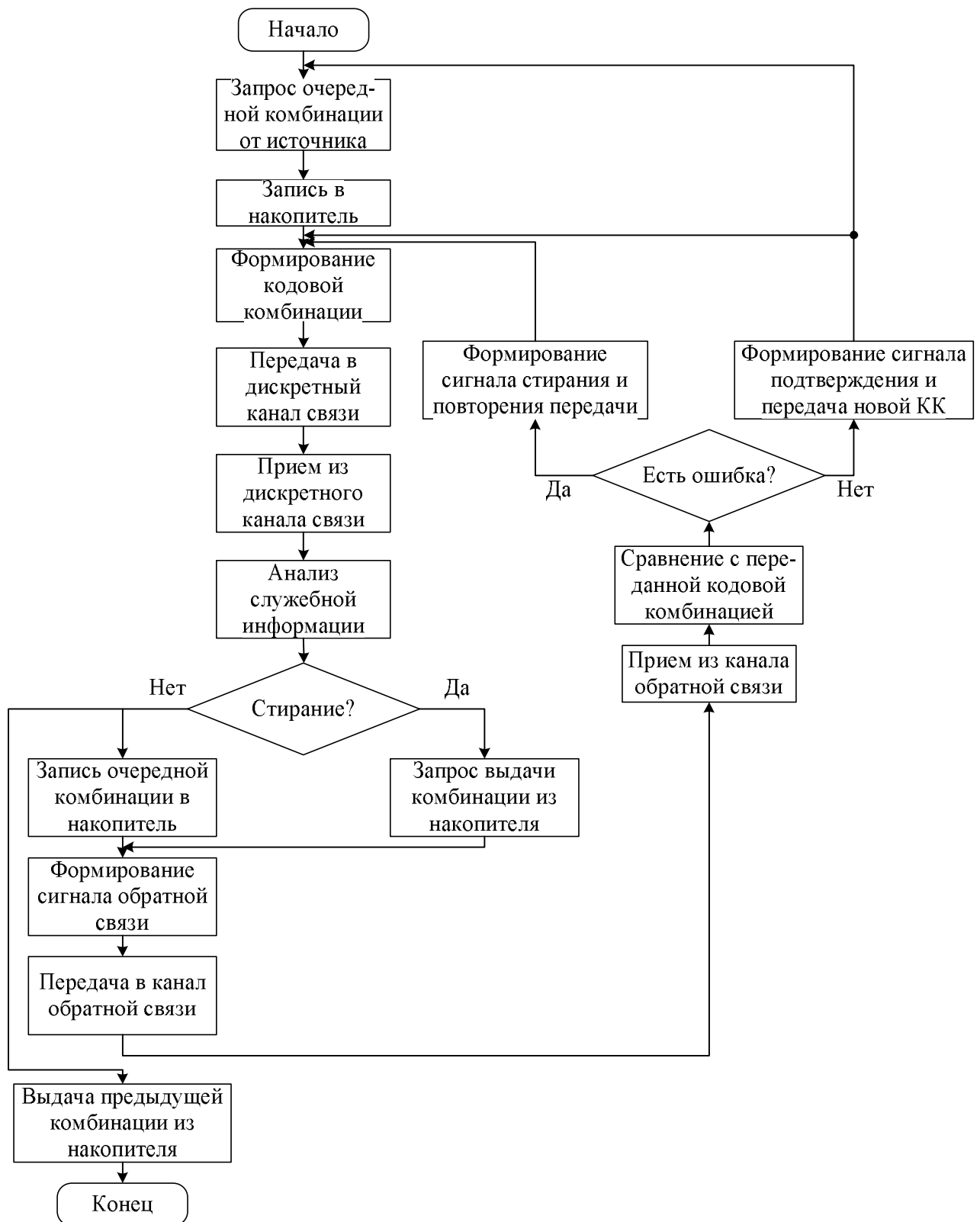


РИС. 4.7. СХЕМА АЛГОРИТМА РАБОТЫ СИСТЕМЫ С ИОС

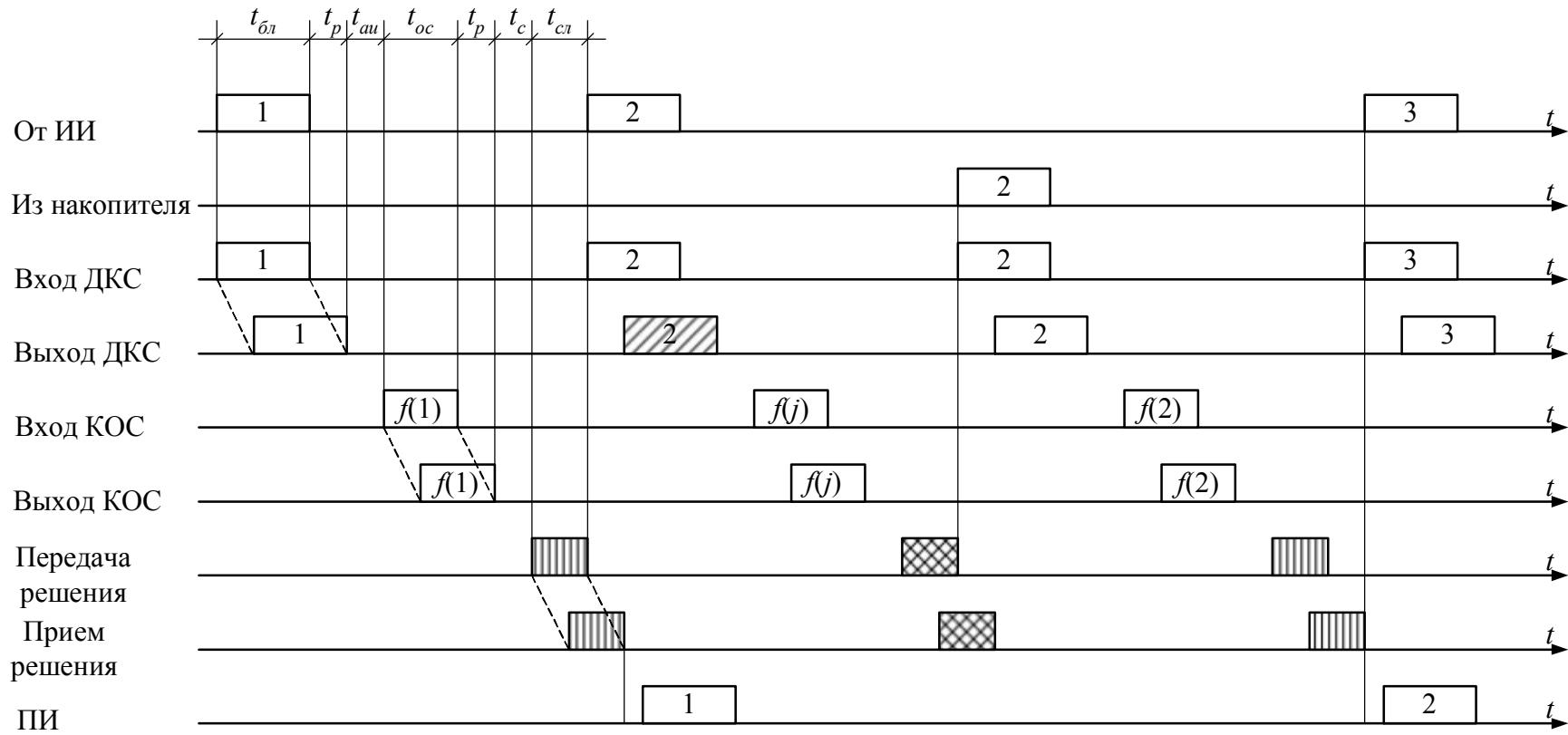


Рис. 4.8. Временные диаграммы работы системы передачи дискретной информации с ИОС

ния информации и сигналов) передается на приемник. При получении сигнала подтверждения правильности приема комбинации a_i последняя передается в ПИ, а при приеме сигнала стирания – стирается.

Структурная схема системы с ИОС-ОЖ представлена на рис. 4.9. Система работает следующим образом. По команде готовности блока управления (БУ) передатчика источник информации (ИИ) через ключ (К1) передает в дискретный канал (ДКС) комбинацию из K разрядов. Эта комбинация одновременно запоминается в накопителе.

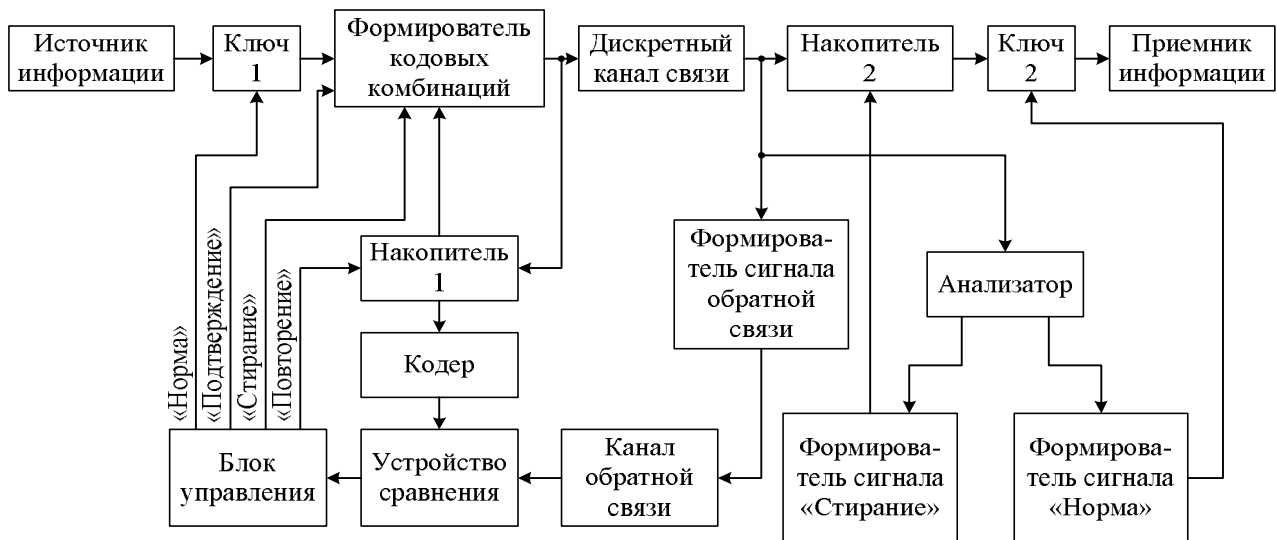


Рис. 4.9. Структурная схема системы передачи дискретной информации с ИОС-ОЖ

На приеме принятая комбинация записывается в накопитель и одновременно поступает в формирователь сигнала обратной связи (ФСОС). Пусть в системе применяется укороченная ОС. Тогда ФСОС формирует r проверочных разрядов, которые по каналу ОС (КОС) помещаются на передающую сторону.

Принятая на передающей стороне r -разрядная комбинация поступает на один из входов устройства сравнения (УС). На второй вход УС из кодера передатчика поступает соответствующая кодовая комбинация как результат кодирования комбинации, хранящейся в накопителе. Таким образом, УС сравнивает поразрядно две r -разрядные комбинации соответствующие одной и той же информационной k -разрядной последовательности. Если в результате сравнения окажется, что ошибка не обнаружена, то УС выдает соответствующий сигнал на блок управления, который в свою очередь даст команду формирователю кодовых комбинаций (ФКК) передать в сторону приемника сигнал подтверждения. После этого БУ разрешает ИИ выдать очередную комбинацию для передачи в ДКС и стирает предыдущую в НК1.

Получив подтверждение с выхода анализатора (А), формирователь сигнала «Норма» выдает команду на вывод информационной комбинации, хранящейся в НК2, приемнику информации (ПИ) через К2 и приемник приступает к

приему из ДКС следующей комбинации, поступающей вслед за сигналом подтверждения.

Если же при сравнении в УС обнаружится ошибка. То УС дает соответствующий сигнал БУ, который выдает команду ФКК на передачу в сторону приемника служебного сигнала стирания, вслед за которым из НК1 будет повторяться передача предыдущей комбинации. При этом К1 закрывается и блокируется поступление новой комбинации из ИИ. Получив сигнал стирания, А закрывает К2 и стирает хранящуюся в НК2 информацию, записывая туда же комбинацию, поступившую вторично за сигналом стирания. Снова производится формирование сигнала ОС, который передается по КОС, и т.д. И так будет продолжаться до тех пор, пока в приемник не поступит сигнал подтверждения.

При полной ИОС в приемнике и передатчике отсутствуют кодеры, и по обратному каналу на УС поступает вся информация, принятая приемником. Очевидно, что при полной ИОС обратный канал должен иметь такую же пропускную способность, что и прямой.

Из рис. 4.8 видно, что время ожидания

$$t_{ОЖ} = 2t_P + t_{АН} + t_{ОС} + t_C + t_{СЛ},$$

где $t_{ОС}$ – длительность r -разрядной комбинации при укороченной ИОС или длительность K -разрядной комбинации при полной ИОС;

$t_{СЛ}$ – длительность служебного сигнала, передаваемого по прямому ДКС.

Таким образом, как следует из данного выражения, эффективность использования канала связи в системе с ИОС-ОЖ ухудшается при увеличении длины информационного блока и протяженности линии связи.

4.3.4. Сравнение систем передачи цифровой информации с РОС-ОЖ и ИОС-ОЖ. В системе с РОС по прямому каналу передается информация комбинации длиной n единичных элементов, а по каналу ОС – служебные комбинации. В системе с ИОС по прямому каналу передаются информационные комбинации длиной K единичных элементов и команды решения по каналу ОС – проверочные комбинации длиной $n-K$ или K единичных элементов. Выберем в качестве сравнения системы с РОС и ИОС, использующие помехоустойчивый код (n, K) . Если каналы прямого и обратного направлений передачи одинаковы и ошибки в них независимы, то вероятности трансформации проверочных разрядов в обоих каналах одинаковы.

Поэтому обнаруживающая способность кода не зависит от того, где происходит сравнение проверочных разрядов: на передающей (в системе с ИОС) или на приемной (в системе РОС) стороне системы. Следовательно, при равной безошибочной передаче служебных сигналов системы с ИОС и РОС обеспечивают одинаковую вероятность передачи. Отсюда следует, что и среднее число повторных передач (переспросов) в обеих системах совпадает.

Средняя скорость передачи сообщений по прямому каналу в системах с РОС меньше, чем в системах с ИОС, поскольку в первых с каждым сообщением длиной K дополнительно передается еще $n-K=r$ проверочных единичных элементов. В системах с ИОС эти проверочные элементы передаются по обратному каналу. Если помехоустойчивость обратных каналов выше, чем прямого, то вероятность передачи в системах с ИОС также выше, чем в системах с РОС. Такое положение может иметь место, например, при передаче информации с искусственного спутника Земли (ИСЗ) на Землю, когда обратный канал может быть организован с помощью мощного передатчика и высокоэффективной антенны. В случае группирующихся ошибок в системах с ИОС часто возникает естественная (за счет разноса во времени передачи по прямому и обратному каналу) декорреляция ошибок в прямом и обратном каналах. В системах с РОС информационные и проверочные символы передаются слитно и такая декорреляция отсутствует. Верность передаваемой информации в обоих типах рассматриваемых систем в значительной степени определяется свойствами выбранного кода, обнаруживающего ошибки. При пакетном распределении ошибок верность определяется не только свойствами кода, но и временем блокировки. Объясняется это тем, что приемник, обнаруживая первую ошибку пакета, блокируется на h кодовых комбинаций, благодаря чему часть ошибок этого пакета им не воспринимается. Таким образом, увеличение емкости накопителя передатчика приводит к некоторому увеличению достоверности передачи. Однако при этом снижается пропускная способность системы, так как при запросе приемник блокируется на большее время.

Не выгодны и короткие кодовые комбинации, поскольку для обеспечения заданных корректирующих свойств отношение K/n в них меньше, чем в длинных кодовых комбинациях, т.е. больше относительная адаптивность. Поэтому существуют оптимальные значения длин кодов, которые для каналов с определенными характеристиками и заданными скоростями модуляции обеспечивают максимальную скорость передачи информации.

Исследования показали, что при заданной вероятности передачи оптимальная длина кода в системах с ИОС несколько меньше, чем в системах с РОС, что удешевляет реализацию устройств кодирования и декодирования. Однако общая сложность реализации систем с ИОС больше, чем систем с РОС. Поэтому системы с РОС нашли более широкое применение. Системы с ИОС применяют в тех случаях, когда обратный канал может быть без ущерба для других целей эффективно использован для передачи комбинаций. В заключение следует отметить, что при построении систем на микроконтроллерах вопрос о сложности может не ставиться, так как многие задачи при этом решаются программными методами, не усложняя аппаратуру ПК и КП.

4.3.5. Сравнение эффективности систем с РОС и исправлением ошибок кодом. Для сравнения систем введем коэффициент эффективности, учитывающий как полезный эффект (уменьшение вероятности ошибочного приема), так и затраты на его достижение:

$$K_{эфф} = \log(a/g), \quad (4.4)$$

где $a = P_{ОШ.ПР} / P_{ОШ.КОРР}$ – выигрыш в защите от ошибок;

$P_{ОШ.ПР}$ – вероятность ошибки при использовании простого кода;

$P_{ОШ,КОРР}$ – вероятность ошибки при использовании корректирующего кода;

$g = g_{И} + g_{С}$; $g_{И}$, $g_{С}$ – информационная и схемная избыточности соответственно.

Величина $g_{И} = R_{ИЗБ} / R_{ПР}$ определяется относительным снижением скорости передачи за счет использования избыточного кода. При этом считается, что полоса канала остается неизменной. Схемная избыточность $g_{С} = \mu(C_{ПД} / C_0)$, где $C_{ПД}$ – объем аппаратуры с применением корректирующего кода;

C_0 – объем аппаратуры с применением простого кодирования;

μ – весовой коэффициент, позволяющий сравнить $g_{И}$ и $g_{С}$ по технико-экономическим показателям.

Для кодов с исправлением ошибки

$$g_{И} = R_{ИЗБ} / R_{ПР} = (K + r) / K = 1 + r / K. \quad (4.5)$$

Объем аппаратуры при использовании такого кода возрастает примерно в 1,5 раза [10]. Итак, $g_{С} \approx 1,5$.

Пример 4.1. Сравнить эффективность применения кода Хэмминга (7,4), обеспечивающего исправление одной ошибки, и системы с РОС. Примем, что ошибки независимы и $P_1 = 10^{-2}$. В случае простого кода

$$P_{ОШ.ПР} = 1 - (1 - P_1)^K = 0,04;$$

в случае кода Хэмминга

$$P_{ОШ.ИЗБ} = 1 - (1 - P_1)^n - nP_1(1 - P_1)^{n-1} \approx 0,003.$$

Следовательно, выигрыш в верности

$$a = 0,04 / 0,003 \approx 13.$$

При этом затраты увеличиваются на

$$g_{И} = \left(1 + \frac{r}{K}\right) = 1 + \frac{3}{4} = 1,75; \quad g_{С} = 1,5.$$

Тогда $g = g_{И} + g_{С} = 3,25$.

Отсюда коэффициент эффективности в случае применения кода, исправляющего ошибки,

$$K_{\text{эфф.код}} = \log(a / g) = \log(13 / 3,25) \approx 2.$$

Теперь рассмотрим эффективность применения системы с РОС. В этой системе используются коды с обнаружением ошибок. Будем исходить из того, что ошибочно принятый знак поступит потребителю только в том случае, когда ошибка на приеме не будет обнаружена. Известно, что вероятность обнаружения ошибок корректирующим кодом гораздо выше, чем вероятность их исправления. Даже при независимых ошибках соотношение между этими вероятностями достигает нескольких порядков. Еще выше это соотношение при пакетных ошибках. Поэтому величина a , определяющая полезный эффект, сильно возрастает по сравнению с кодом, исправляющим ошибки. Естественно, что увеличиваются и затраты как в части дополнительного снижения пропускной способности за счет переспросов, так и за счет увеличения объема аппаратуры. Однако, как правило, выигрыш значительно перекрывает затраты.

При использовании кода (7,4) в режиме обнаружения ошибок можно показать, что обнаруживаются все одно-, двух-, пяти- и шестикратные ошибки, а также 80 % всех трех- и четырехкратных ошибок. Поэтому при $P_1 = 10^{-2}$ вероятность необнаруженной ошибки будет равна $P_{\text{н.ош}} \approx 0,65 \cdot 10^{-5}$. Тогда $a = 0,04 / 0,65 \cdot 10^{-5} \approx 6000$.

Рассмотрим затраты:

$$g_{\text{н}} = \left(1 + \frac{r}{K}\right) \frac{N}{N - N \cdot P_{\text{ош}}},$$

где N – количество переданных сообщений;

$N / (N - N \cdot P_{\text{ош}})$ – количество сообщений подлежащих переспросу.

В данном случае $P_{\text{ош}} = 1 - (1 - P_1)^n = 0,07$.

Следовательно

$$g_{\text{н}} = \left(1 + \frac{3}{4}\right) \left(\frac{1}{1 - 0,07}\right) = 1,88.$$

В этом случае $g_{\text{с}} = 2,5$, откуда $g = g_{\text{н}} + g_{\text{с}} = 1,88 + 2,5 = 4,38$;

$$K_{\text{эфф.код}} = \log(a / g) = \log(6000 / 4,38) \approx 10,2.$$

Итак, по сравнению с системой связи, использующей для повышения достоверности код с исправлением одиночной ошибки, система с обратной связью дает выигрыш $K_{\text{эфф.ос}} / K_{\text{эфф.код}} = 10,2 / 2 = 5,1$ раза.

4.3.6. Основные достоинства и недостатки систем с обратной связью. К ним можно отнести:

– приспособляемость (адаптация) к изменяющимся условиям канала, т.е. число повторения неправильно принятых комбинаций должно полностью определяться состоянием канала и автоматически поддерживаться на уровне, необходимом для достоверного прохождения сообщений;

– возможность использования только кодов обнаруживающих ошибки;

– простота схемной реализации кодирующих устройств по сравнению с устройствами, реализующими кодирование с исправлением ошибок.

Единственным недостатком систем с ОС является уменьшение скорости передачи информации в тех случаях, когда ошибки отсутствуют, а обратный канал используется недостаточно эффективно, так как он предназначается только для коррекции ошибок.

5. БОРТОВАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Бортовые радиоэлектронные системы, используемые в настоящее время на летательных аппаратах различных типов, характеризуются высокой сложностью. Это объясняется тем, что резко возросла сложность задач, решаемых бортовыми радиоэлектронными средствами современных летательных аппаратов. Как для беспилотных, так и для пилотируемых летательных аппаратов характерно то, что такие задачи, как управление полетом, наведения, навигация, контроль состояния бортовых систем и управление ими, которые ранее решались на Земле или с ее участием, выполняются непосредственно на борту различными радиоэлектронными системами.

Успешное выполнение задач, стоящих перед бортовыми радиоэлектронными системами летательных аппаратов, возможно при наличии соответствующей информационно-телеметрической системы, которая предназначена для сбора и представления разнообразной информации в процессе полета и ее распределения между подсистемами летательного аппарата, подготовки необходимой информации для передачи на Землю и, если это требуется, для отображения экипажу. При этом число разнообразных источников сообщений, информация с которых контролируется информационно-телеметрической системой, может достигать десятков тысяч, причем эти источники распределены во всем объеме, занимаемом летательным аппаратом [11].

Большое количество и рассредоточенность источников сообщений и бортовых подсистем по всему объему летательного аппарата исключают возможность использования отдельных проводных или кабельных связей для каждого источника и соответствующего потребителя информации прежде всего потому, что объем и вес требуемой кабельной сети становится непомерно большим. Кроме того, применение индивидуальных линий связи в каждой подсистеме затрудняет организацию их взаимодействия, монтаж, отладку и возможную модернизацию оборудования, создает большие трудности в наращивании ин-

формационно-телеметрической системы. Поэтому современные информационно-телеметрические системы летательных аппаратов строятся по магистрально-модульному принципу. Он состоит в том, что в бортовой части информационно-телеметрической системы используется единая информационная магистраль (или несколько магистралей), по которой производится необходимый обмен информацией посредством уплотнения каналов (мультиплексирования) этой магистрали. При этом элементы информационно-телеметрических систем выполняются в виде отдельных модулей, что позволяет упростить их монтаж, отладку, модернизацию и обеспечить легкость наращивания системы. Использование единой информационной магистрали придает гибкость структуре информационно-телеметрической системы, упрощает организацию взаимодействия подсистем, позволяет резко уменьшить вес, количество и суммарную длину проводных соединений. Другим важным принципом, используемым в современных информационно-телеметрических системах, является иерархический принцип. В соответствии с ним отдельные блоки системы объединяются на нескольких (обычно на трех-четырех) уровнях иерархии, причем один блок более высокого уровня иерархии управляет несколькими блоками нижестоящего уровня, собирает от них и передает им необходимую информацию.

Использование иерархического принципа организации преследует несколько целей. Они состоят в том, чтобы наилучшим образом распределить ресурсы системы, обеспечив наименьшую ее сложность, быстродействие и емкость памяти, и вместе с тем обеспечить необходимую оперативность и точность анализа всей собираемой информации. Объем информации, собираемой на борту летательного аппарата информационно-телеметрической системы, весьма велик, и его непосредственная обработка, необходимая для формирования на борту соответствующих управляющих сигналов, не может быть осуществлена. Однако собираемая информация в значительной степени избыточна. Избыточность имеет как статистический, так и программный характер.

Статистическая избыточность вызвана тем, что сообщения, собираемые в процессе полета информационно-телеметрической системой, в большинстве своем нестационарны, и их информативность меняется во времени в довольно широких пределах. Поскольку изменение во времени этой информативности априорно неизвестно, то частота опроса источников сообщений выбирается исходя из их максимальной информативности, что и приводит к появлению статистической избыточности. Программная избыточность возникает тогда, когда информация от какого-либо источника совсем не требуется на данной фазе полета летательного аппарата, но, тем не менее, используемая программа опроса составлена так, что этот источник опрашивается.

В современных информационно-телеметрических системах используются разнообразные методы уменьшения статистической избыточности, называемые методами сжатия данных, такие, как полиномиальное предсказание и интерполяция, адаптивная коммутация и др. В частности, для многих технических параметров, контролируемых на борту летательного аппарата, достаточно осуществлять только текущий допусковый контроль, при котором посредством срав-

нения текущего значения параметра с его верхним и нижним допуском выносятся решение о том, «в норме» или «не в норме» этот параметр, Программная избыточность устраняется соответствующим подбором программ коммутации источников.

Использование иерархического принципа построения информационно-телеметрических систем позволяет осуществить устранение указанной выше избыточности непосредственно в местах сбора информации, не загружая информационную магистраль и подсистемы, расположенные на более высоких иерархических уровнях, избыточной информацией. Для этого локальная группа источников, собирающих информацию с какого-либо агрегата или подсистемы летательного аппарата, объединяется в унифицированный блок – локальный элемент. В локальном элементе осуществляется представление информации, собираемой источниками, в стандартной цифровой форме, сокращение статистической и программной избыточности и уплотнение сообщений, собранных от обслуживаемых источников. Для устранения программной избыточности в блоке памяти локального элемента могут храниться несколько различных программ опроса обслуживаемых источников, предусматривающих различные частоты опроса и различный состав обслуживаемых источников. Выбор той или иной программы опроса может осуществляться по команде с более высокого иерархического уровня либо по команде с Земли. В памяти локального элемента хранятся также различные константы, необходимые для обеспечения его функционирования, такие, как допуски на параметры, подвергаемые допусковому контролю, значения апертур на параметры, подвергаемые полиномиальному статистическому сжатию, и т. п.

Как правило, в современных информационно-телеметрических системах используется временное уплотнение с незакрепленными каналами, т.е. временное разделение каналов с кодовым признаком. Для осуществления ВРК – КП необходимо разравнивание во времени нерегулярного потока собираемой информации, т.е. буферизация данных, для чего в составе локального элемента имеется соответствующее буферное запоминающее устройство. Кроме того, необходимо датирование собранной информации, для чего в локальном элементе генерируются соответствующие метки времени, обеспечивающие требуемую точность временной привязки собранной информации.

В локальном элементе может также осуществляться помехоустойчивое кодирование собранной информации, обеспечивающее ее защиту от внутрисистемных помех и возможных сбоев в работе аппаратуры. При этом обычно используются простейшие методы кодирования, позволяющие обнаруживать ошибки посредством контроля кодовых слов на четность (нечетность).

Связь локальных элементов между собой и с вышестоящим иерархическим уровнем осуществляется посредством информационной магистрали. Однотипные источники информации, обслуживаемые одним локальным элементом, могут быть объединены в несколько групп, каждая из которых составляет каналный элемент. Канальные элементы связаны между собой внутри локального элемента местной информационной магистралью. Технической основой

для построения локальных элементов в настоящее время являются однородные или унифицированные вычислительные элементы, реализуемые с использованием микропроцессоров.

Таким образом, локальные элементы составляют второй уровень иерархии в системе информационно-телеметрического обеспечения, на котором осуществляется отбор и представление информации, собираемой на первом уровне иерархии – уровне источников информации. При этом объем информации, поступающей с локального элемента на более высокий иерархический уровень, существенно меньше объема поступающей на него информации с низшего иерархического уровня. Тем самым освобождаются ресурсы более высокого иерархического уровня для решения более ответственных задач. На высшем уровне иерархии системы информационно-телеметрического обеспечения находится бортовая вычислительная система. На основе анализа данных о состоянии контролируемых подсистем и информации, получаемой от экипажа или наземного пункта управления, бортовая вычислительная система управляет информационным потоком в информационной магистрали и организует работу локальных элементов путем задания порядка обмена информацией и программ опроса источников в локальных элементах. В большинстве случаев в бортовых вычислительных системах используются 16-разрядные (реже 32-разрядные) бортовые цифровые вычислительные машины производительностью до 10^6 опер./с. При этом кроме задач информационно-телеметрического обеспечения бортовая вычислительная система выполняет и другие задачи, например, задачи управления полетом, наведения, навигации, диагностики бортовых подсистем и др. По типу организации вычислений бортовые вычислительные системы могут быть централизованными и децентрализованными. Первый тип организации бортовой вычислительной системы предполагает централизацию всех вычислительных функций в одной достаточно мощной бортовой вычислительной машине. Подобная централизация позволяет с максимальной эффективностью использовать имеющиеся вычислительные ресурсы, однако в случае модификации или расширения функций системы требуется радикальный пересмотр используемого математического обеспечения, что сопряжено с большими затратами времени и средств. Поэтому централизованные бортовые вычислительные системы применяют, в основном, там, где предполагается одноразовое использование математического обеспечения без модификаций в процессе эксплуатации, например в бортовых системах космических аппаратов.

При организации бортовой вычислительной системы по децентрализованному типу вычислительные функции распределяются между несколькими бортовыми вычислительными машинами, предназначенными для решения вполне определенных задач и работающими независимо. Это позволяет разрабатывать, отлаживать и модифицировать отдельные вычислительные машины одновременно и независимо друг от друга. Распределение задач по машинам производится с учетом свойств задач и требуемой вычислительной мощности, и обычно одной машине поручается ограниченный круг однотипных задач, что позво-

ляет существенно упростить и снизить затраты на математическое обеспечение. Следует отметить, что затраты на математическое обеспечение могут в несколько раз превышать стоимость самих вычислительных машин, поэтому последнее обстоятельство является весьма важным. Кроме того, в децентрализованных бортовых вычислительных системах можно использовать различные методы увеличения надежности и различные кратности резервирования отдельных машин с учетом важности решаемых ими задач. Кроме того, при выходе из строя одной или нескольких бортовых вычислительных машин их функции полностью или частично могут выполнить другие машины, что обеспечивает меньшую уязвимость бортовой вычислительной системы.

Структурная схема, поясняющая рассматриваемую структуру бортовой информационно-телеметрической системы, представлена на рис. 5.1.

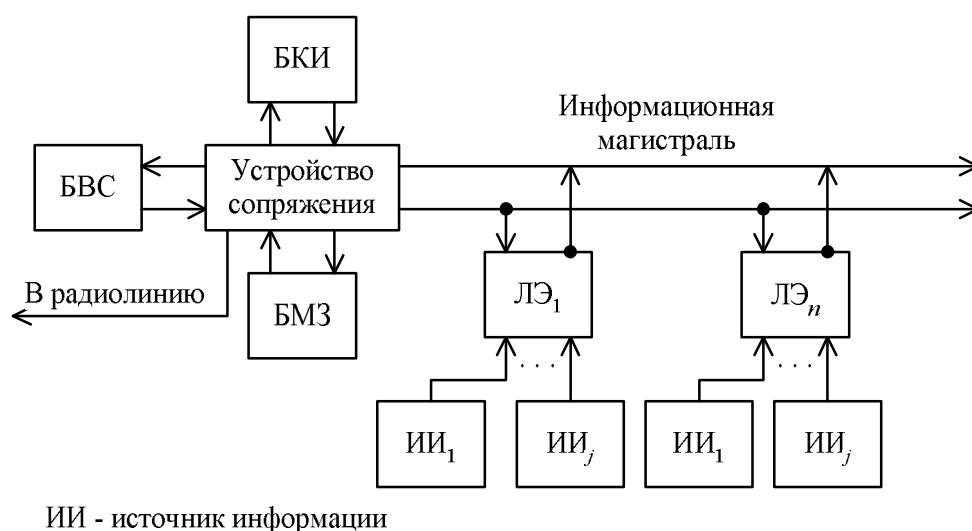


Рис. 5.1. Структурная схема бортовой телеметрической системы

Кроме рассмотренных выше локальных элементов (ЛЭ) и бортовой вычислительной системы (БВС) в ее состав входит блок магнитной записи (БМЗ), в котором, в частности, записывается информация, предназначенная для передачи на Землю во время отсутствия радиосвязи летательного аппарата с наземным пунктом управления.

В случае пилотируемого летательного аппарата в состав бортовой информационно-телеметрической системы входит также блок контроля и индикации (БКИ), который обеспечивает экипажу наблюдение и управление работой отдельных подсистем летательного аппарата, а также проведение необходимых экспериментальных исследований. В современных бортовых информационно-телеметрических системах летательных аппаратов блок контроля и индикации выполняется на многофункциональных дисплеях, что позволяет в значительной степени решить проблему ограниченности объема кабины экипажа и уменьшить нагрузку на экипаж, освобождая его от наблюдения за многими одноканальными индикаторами.

На экраны дисплеев от бортовой вычислительной системы выводится только та информация, которая имеет существенное значение или необходима в данной полетной ситуации, в частности, сигнальная информация о нарушении нормального функционирования отдельных подсистем и информация о наступлении важных событий в процессе полета. Используя органы управления дисплеями, экипаж имеет возможность связаться с любой из подсистем летательного аппарата, ввести в нее информацию, меняющую режим работы данной подсистемы, или вызвать на экран дисплея любую интересующую его информацию.

Устройство сопряжения обеспечивает совместимость всех подсистем, входящих в состав бортовой информационно-телеметрической системы, а именно: совместимость форматов данных, обрабатываемых в каждой подсистеме, синхронизацию, таймирование и координацию всех переключений.

Таким образом, для выполнения задач информационно-телеметрического обеспечения летательных аппаратов совместно используются аппаратные и программные средства. При этом несмотря на значительную стоимость математического обеспечения, программная реализация часто оказывается более дешевой, чем то оборудование, которое понадобилось бы для решения аналогичных задач.

Система информационно-телеметрического обеспечения является одной из важнейших систем летательного аппарата, надежная и безошибочная работа которой является необходимым условием для выполнения полетных задач и обеспечения безопасности экипажа. Поэтому обеспечение высокой надежности системы информационно-телеметрического обеспечения представляет важнейшую проблему. Поскольку несмотря на весьма высокую надежность элементов, всегда существует ненулевая вероятность отказа или сбоя в системе, то система информационно-телеметрического обеспечения должна быть построена таким образом, чтобы она была в достаточной мере нечувствительна к неизбежным отказам и сбоям, или, как говорят, система должна быть толерантной.

Для обеспечения толерантности системы используют разнообразные методы введения в нее избыточности, которую можно классифицировать как аппаратную, программную и временную. При аппаратных методах в аппаратуру вводятся дополнительные элементы, блоки или устройства. К этим методам относятся, например, помехоустойчивое кодирование используемых в системе сигналов, внутрисхемное кодирование, позволяющее реализовать самокорректирующиеся устройства, методы резервирования на различных уровнях (уровне элементов, блоков, устройств и систем), осуществляемое посредством их дублирования, троирования и т.п. Экономически наиболее целесообразно применять, возможно, более низкий уровень введения избыточности, поэтому при создании толерантных систем информационно-телеметрического обеспечения часто используют резервирование на уровне отдельных модулей и троирование модулей с вынесением решения по большинству, т.е. с мажоритарной логикой.

Введение программной избыточности осуществляется дублированием в памяти особенно важных данных и программ, применением различных тестовых и диагностических программ.

Введение временной избыточности осуществляется повторением решения некоторых программ или их части, использованием решающей обратной связи, подтверждающей правильность принимаемой и обрабатываемой информации.

6. МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕХАНИКИ

В первых четырех разделах были изложены основные принципы построения систем телемеханики, выполняющие одну или две функции. Этот раздел является логическим завершением предыдущих разделов. В нем на примерах промышленных систем телемеханики будет показано, как происходит реализация изложенных принципов в многофункциональных системах. Материалы данного раздела будут полезны при выполнении курсового проекта по телемеханике. Рассмотрим построение телемеханических комплексов, работающих по выделенным проводным линиям связи (ТМ-320) и по частотно-уплотненным линиям связи произвольной структуры (ТМ-120).

6.1. Комплекс устройств телемеханики для промышленных предприятий, объектов коммунального хозяйства и энергоснабжения городов ТМ-320

ТМ-320 обеспечивает обмен информацией между ПУ и КП, соединенными выделенными двухпроводными линиями связи радиально-цепочечной структуры. Число линий связи может изменяться от одной до тридцати двух, причем к каждой линии связи могут подключаться от одного до трех КП, образующих последовательную цепочку. Максимальное расстояние между ПУ и КП ограничивается сопротивлением и емкостью линии связи, которые не должны превышать соответственно 3 кОм и 0,6 мкФ.

С каждого КП независимо от их числа на одной линии связи может быть передана ТС положения до 56 объектов. На каждый КП могут передаваться команды ТУ (ТР) 48 объектам. При включении более одного КП в линию связи общее число объектов ТУ на них не должно превышать 48. Каждая команда ТУ может использоваться также для вызова двух датчиков ТИТ или телефонного разговора. Комплекс передает ТИТ по вызову от датчиков с выходным сигналом в виде постоянного тока или напряжения. Точность ТИТ составляет 1 % (без учета погрешности датчика и выходного прибора).

Характерной особенностью комплекса является использование линии связи, по которой передается телемеханическая информация, для подключения диспетчерского телефона. Для вызова телефона с ПУ на выбранный КП передается команда ТУ. Для вызова телефона с КП на ПУ передается запрос по ка-

налу ТС. При выходе КП из строя комплекс сохраняет возможность ведения телефонных разговоров благодаря переключению питания телефонов с местного источника, размещенного на КП, на центральный источник ПУ. Комплекс обеспечивает возможность вызова телефона с ПУ без установки аппаратуры для передачи и приема команд ТУ, что весьма важно при отсутствии необходимости в передаче команд ТУ.

Возможность совмещения передачи информации и ведения телефонных переговоров обеспечивается тем, что вся информация, в том числе и ТИТ, передается спорадически. ТИТ передаются методом лямбда-, дельта-модуляций только при изменении измеряемого параметра на заданную величину.

С КП может быть передан один аварийный сигнал независимо от наличия на КП питающего напряжения. Благодаря этому возможна передача с КП специального сигнала, фиксирующего обесточивание шин питания КП. Принцип передачи аварийного сигнала приведен в описании работы линейных узлов для выделенных линий связи радиальной структуры.

ТС воспроизводится на ПУ по схеме мимического щита, причем обеспечивается возможность одновременной индивидуальной сигнализации положения всех или части контролируемых объектов. Выбранная для воспроизведения информация может считываться по команде с пульта из оперативной памяти ПУ без передачи информации по линии связи.

ТИТ воспроизводятся с помощью аналоговых приборов. Число одновременно воспроизводимых параметров ТИТ не должно превышать 10 при одновременном вызове с каждого КП не более чем по одному параметру.

Комплекс обеспечивает автоматический контроль исправности аппаратуры ПУ и КП. Короткое замыкание или обрыв линии связи приводит к появлению аварийной сигнализации с указанием номера линии связи. Неисправное направление может быть отключено без нарушения работоспособности остальной части комплекса.

Защита информации от помех в линии связи и аппаратуре производится повторением с дополнительной защитой каждого байта по паритету. При обнаружении сбоя формируется запрос на повторную передачу сообщения. Сигнализация неисправности образуется при трехкратном сбое одного и того же сообщения.

Для эффективного использования установленной аппаратуры в комплексе применяется разделение во времени передачи различных видов информации, поступающей с ПУ и различных КП. Все виды передаваемой информации преобразуются в кодовую форму и передаются восьмиразрядными словами (байтами). Передача информации производится циклами, каждый цикл состоит из двадцати двух тактов, формируемых распределителем.

На рис. 6.1 приведена диаграмма использования тактов распределителя в режиме приема и передачи разнородной информации.

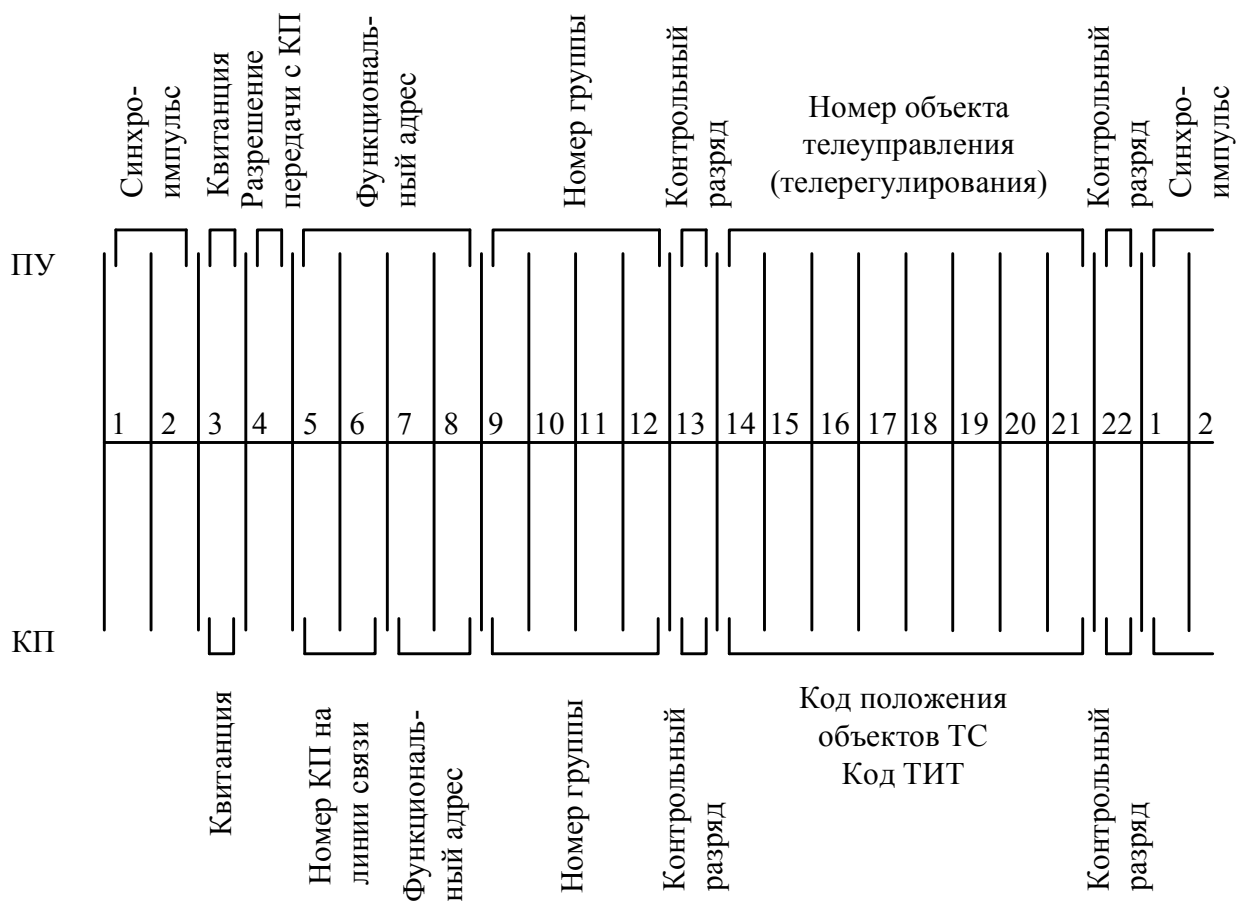


Рис. 6.1. Диаграмма использования тактов распределителя в комплексе ТМ-320

Границы тактов на рис. 6.1 отделены вертикальными линиями. Верхняя часть диаграммы относится к ПУ, нижняя – к КП. Информационные сигналы передаются в первых половинах тактов, т.е. длительность информационных сигналов равна половине такта. Между любыми двумя разрядами информационного сообщения существуют разделительные паузы, благодаря чему синхронизирующий импульс можно надежно выделить, если его длительность втрое больше длительности информационного импульса. Для передачи синхронизирующего импульса выделяются такты 1 и 2. Длительность этого импульса равна полутора тактам, т.е. в три раза больше длительности информационных импульсов. Третий такт на ПУ и КП выделяется для передачи сигнала «квитанция», определяющего завершение приема информации. На четвертом такте с ПУ передается признак команды разрешения передачи ТС и ТИТ. На тактах 5...8 при передаче команды ТУ (ТР) формируется код функционального адреса, а на тактах 9...12 – код номера группы. Защитный такт – 13, на нем передается сигнал для контроля по паритету кода, переданного на тактах 5...12. На тактах 14...21 передается в режиме ТУ (ТР) номер объекта управления. Для защиты по паритету кода, переданного на тактах 14...21, используется такт 22.

На КП такты 1 и 2 для передачи не используются. При передаче ТС или ТИТ код положения объектов или значения параметра передаются на тактах 14...21, код номера группы ТС – на тактах 9...12, функциональный адрес вида информации – на тактах 7 и 8. Такты 5, 6 используются для передачи номера КП при включении более одного КП в одну линию связи.

На рис. 6.2 приведены диаграммы сигналов в линии связи при спорадической передаче ТС и ТИТ, при режиме контрольного вызова ТС и при передаче команд ТУ.

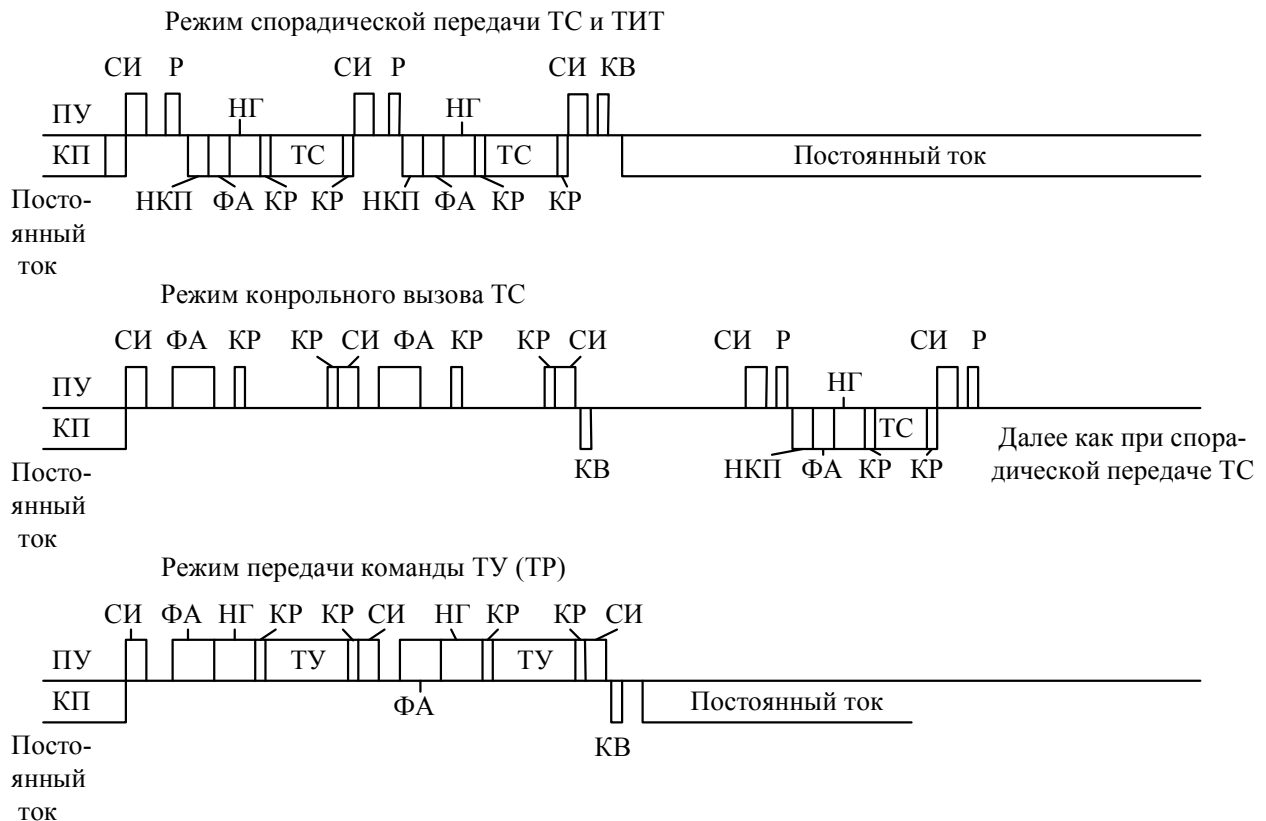


Рис. 6.2. Диаграмма сигналов в линии связи для комплекса ТМ-320

При отсутствии передачи линия связи со стороны КП обтекается постоянным током. Прекращение поступления постоянного тока свидетельствует либо о наличии заявки на передачу, либо о неисправности аппаратуры КП или линии связи. При обнаружении отсутствия контрольного тока устройство ПУ посылает в линию связи указанного направления синхроимпульс и сигнал разрешения передачи с КП. Получив указанные сигналы, устройство КП в этом же цикле передает номер КП, функциональный адрес ТИ или ТИТ (в зависимости от наличия информации), номер группы (при ТС) и информационный байт (группа ТС или параметр ТИТ). В следующем цикле указанная информация повторяется. Если информация принята верно, то с ПУ передаются синхроим-

пульс и сигнал «квитанция». После этого восстанавливается обтекание линии связи постоянным током со стороны КП.

При контрольном вызове ТС с ПУ посылаются два цикла подряд: синхроимпульс и функциональный адрес контрольного вызова ТС. В следующем цикле с КП передается квитанция о взводе триггеров наличия информации всех групп ТС. После чего передается так же, как при спорадической передаче ТС, информация о состоянии каждой группы.

При передаче команды ТУ или ТР два цикла подряд с ПУ передаются либо функциональный адрес команд «включить» или «отключить», либо «больше» или «меньше», номер группы и номер объекта в группе. При правильном приеме команд в третьем цикле с КП передается квитанция о приеме команды.

Рассмотрим работу устройства ПУ комплекса по структурной схеме, изображенной на рис. 6.3.

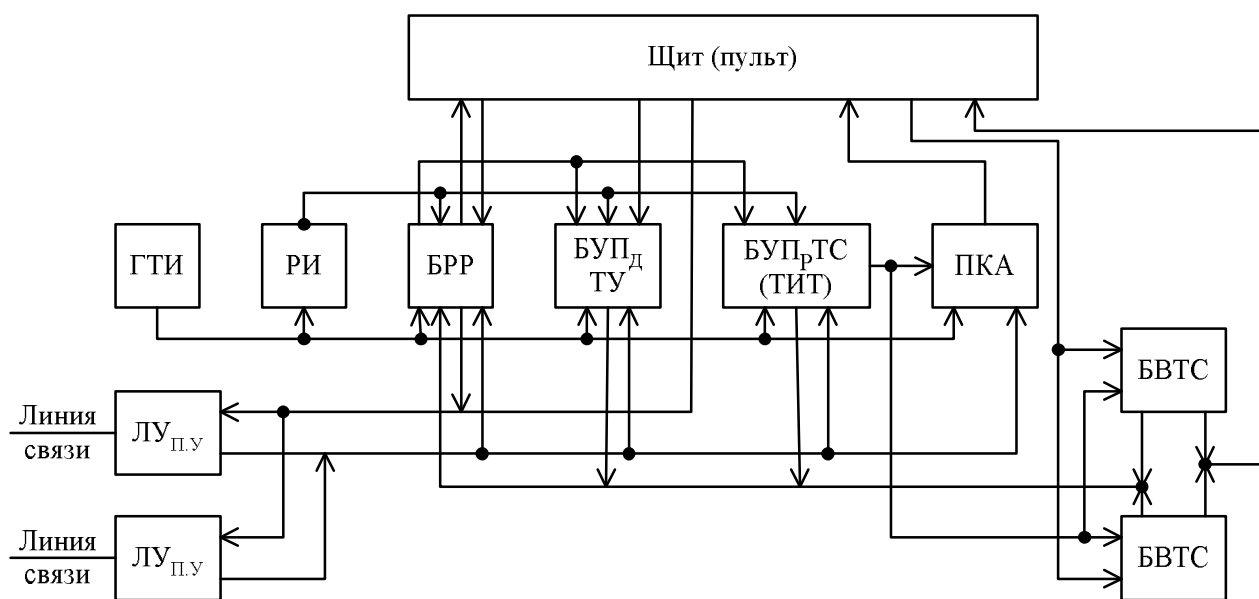


Рис. 6.3. Структурная схема устройства пункта управления ТМ-320

Генератор тактовых импульсов (ГТИ) формирует сигналы управления распределителем импульсов (РИ) и стробирующие сигналы, разделяющие каждый такт распределителя на десять временных позиций. Сигналы от ГТИ и РИ поступают на другие блоки устройства и используются в режиме передачи и приема различных видов информации.

Блок задания режима работы (БРР) координирует работу всех блоков устройства, определяет неисправность аппаратуры и линий связи.

Для передачи на КП контрольного вызова ТС (КВС) на пульте (щите) устанавливаются индивидуальные для каждого КП кнопки. Сигналы от кнопок воздействуют на блок БРР и линейные узлы ЛУ ПУ, которые обеспечивают подключение линии связи выбранного КП к аппаратуре ПУ. Из блока БРР через ЛУ ПУ в линию связи поступают синхронизирующий импульс и код функцио-

нального адреса КВС. После приема КВС с КП передается сигнал «квитанция». Через приемную часть ЛУ_{п.у} этот сигнал поступает в БРР, завершая режим передачи КВС.

На КП прием функционального адреса КВС приводит к появлению заявки на передачу ТС и блокировке передачи контрольного постоянного тока, в результате чего ЛУ_{п.у} формирует обобщенный сигнал наличия информации, поступающий в БРР. Логическими узлами БРР обеспечивается поиск линии связи, в которой отсутствует контрольный ток. При обнаружении такой линии связи ЛУ_{п.у} вновь подключает ПУ к выбранному КП, и в линию связи передаются синхронизирующий импульс и сигнал разрешения передачи информации. В ответ с КП передается функциональный адрес вида передаваемой информации, номер группы объектов и позиционный код состояния объектов группы. Код функционального адреса расшифровывается в БРР, и на блок управления приемом телесигнализации (БУПрТС) поступает сигнал, разрешающий прием информации. В БУПрТС устанавливаются элементы для приема и контроля достоверности принимаемой информации. Если ошибка не обнаружена, в БРР выдается сигнал «квитанция», поступающий через ЛУ_{п.у} в линию связи. По этому сигналу прекращается передача ТС. Кроме того, БУПрТС формируется сигнал, разрешающий прием информации блоками воспроизведения ТС – БВТС. На БВТС также выдается адрес выбранного КП. Сочетанием адреса КП и номера группы выбирается один из блоков БВТС, на который заносится принятая блоком информация. Выходные элементы БВТС управляют лампами, расположенными на щите. На БВТС поступают также и сигналы от квитирующих ключей. Несоответствие положения объекта и ключа сигнализируется мигающим светом. При обнаружении несоответствия БВТС выдает сигнал, поступающий на БРР для включения звуковой и световой сигнализации. При установлении соответствия между положением контролируемых объектов и положением квитирующих ключей лампы сигнализации гаснут.

Режим автоматической передачи ТС при спорадическом изменении положения любого объекта аналогичен рассмотренному выше, так как при изменении положения любого объекта также прерывается передача контрольного тока с КП.

Если с КП необходимо передать ТИТ только от одного датчика, он подключается непосредственно к блоку передачи ТИТ. Для вызова одного из многих ТИТ выбранный датчик коммутируется соответствующей ему выходной цепью ТУ. После завершения передачи значения параметра ТИТ и приема его на ПУ вызов ТИТ сохраняется до поступления с ПУ команды отмены или вызова другого параметра. Однако очередная передача ТИТ производится только, когда значение параметра (в кодовой форме) изменится на заданную величину по отношению к переданному ранее значению. Кроме того, передача ТИТ от вызванного датчика производится автоматически при контрольном вызове ТС.

При необходимости передачи ТИТ блокируется передача с КП контрольного тока, и, как описано выше, на КП передаются синхронизирующий импульс и сигнал разрешения передачи информации. С КП передаются код функ-

ционального адреса и код значения измеряемого параметра. Код функционального адреса расшифровывается БРР, и на блок БУПрТС поступает сигнал, разрешающий прием кода ТИТ. Использование блока БУПрТС с разделением во времени для приема ТС и ТИТ возможно благодаря одинаковым форматам кода и идентичным принципам передачи ТС и ТИТ, принятым в комплексе. После завершения приема формируется сигнал, разрешающий преобразование кода в аналоговый сигнал. Преобразование производится в блоке ПКА. Аналоговый сигнал воспроизводится выбранным указывающим прибором.

Команды ТУ (ТР) формируются ключами или кнопками, размещенными на пульте (щите). При изменении положения любого ключа образуются импульсные сигналы, соответствующие номеру КП, группы объектов и объекта в группе. Адрес КП воспринимается соответствующим ЛУ_{п.у.} Номера группы и объекта в группе запоминаются в блоке управления передачей команд БУПдТУ. В БУПдТУ содержатся элементы для проверки отсутствия искажений в принятой команде и для формирования последовательного двоичного кода номера группы и позиционного кода номера объекта в группе. Передача последовательного кода начинается после нажатия кнопки характера команды – «включить» или «отключить» (этим же кнопками задается характер команды ТР – «больше» или «меньше»). Передача кода продолжается до получения с КП сигнала «квитанция». Выходная цепь ТУ на КП удерживается в замкнутом состоянии в течение 2...3 с.

Команда ТР выдается на выходные цепи КП до передачи с ПУ команды отмены ТР или до передачи на этот КП новой команды ТУ или ТР. Для передачи команды отмены ТР на щите (пульте) устанавливаются индивидуальные для каждого КП кнопки. С помощью этих кнопок формируется адрес КП, воспринимаемый ЛУ_{п.у.}, и образуется сигнал, поступающий в БРР для формирования кода функционального адреса отмены ТР. После приема кода отмены с КП передается сигнал «квитанция», завершающий режим передачи команды отмены ТР.

Структурная схема КП комплекса ТМ-320 приведена на рис. 6.4. В исходном состоянии блоком задания режима работы БРР формируется сигнал постоянного тока, поступающий через линейный узел ЛУ_{п.у.} в линию связи. Этот сигнал используется на ПУ для контроля исправности линии связи и аппаратуры КП. При необходимости установления связи с данным КП с ПУ передается синхронизирующий импульс, который поступает на дискриминатор импульсов по длительности, установленный в узле ЛУ_{п.у.} Если входной импульс превысил установленный для дискриминации синхронизирующего импульса порог, ЛУ_{п.у.} выдает БРР сигнал установки в начальное положение распределителя импульсов (РИ) и генератора (ГТИ). При поступлении синхронимпульса в зоне, выделенной для опроса состояния объектов ТС, установка распределителя КП в исходное состояние блокируется. Это исключает возникновение ложного сигнала об изменении положения объектов. Одновременно с блокировкой установки распределителя блокируется начало очередного цикла

его работы. При поступлении очередного синхронизирующего импульса происходит синфазирование по циклам и тактам распределителей ПУ и КП.

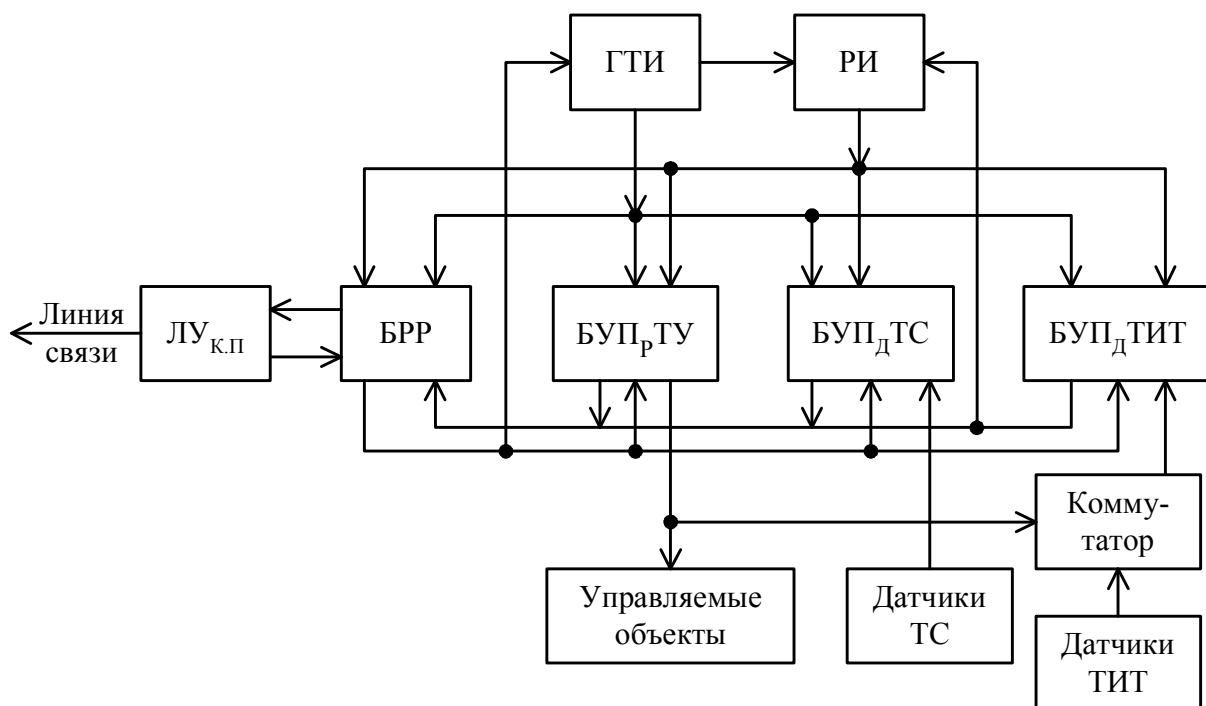


Рис. 6.4. Структурная схема устройства контролируемого пункта ТМ-320

Блок управления передачей ТС (БУПдТС) воспринимает и запоминает положение объектов ТС, контролирует совпадение положения, переданного ранее на ПУ, и действительного положения объектов. При обнаружении несовпадения блок формирует сигнал запроса связи, по которому БРР блокирует передачу на ПУ контрольного тока.

Однако при подключении нескольких КП к одной и той же линии связи отключение постоянного тока одним из КП недостаточно для исчезновения контрольного тока в линии. Для отключения постоянного тока другими КП этой же линии связи с КП, на котором обнаружено изменение положения объектов, передают дополнительный сигнал, эквивалентный по параметрам синхронизирующему импульсу, передаваемому с ПУ. По этому сигналу все КП данной линии связи прерывают подачу постоянного тока, линия обесточивается и ПУ фиксирует поступление запроса связи. Вследствие этого в линию связи с ПУ поступает нормальный синхронизирующий импульс и сигнал «разрешение» передачи информации. Так как возможно обнаружение изменения положения объектов одновременно на нескольких КП, подключенных к одной и той же линии связи, на тактах 5 и 6 передаются приоритетные сигналы, которые на ПУ используются для определения номера КП в линии связи, а на КП – для блокировки передачи информации с КП, если в линию передается сигнал номера КП с большим приоритетом. Последовательный код, содержащий двоич-

ный код номера группы объектов и позиционный код состояния объектов группы, формируется БУПдТС и выдается при поступлении на него сигнала вызова с БРР. Информация передается циклически до получения с ПУ сигнала «квитанция», завершающего передачу ТС.

В режиме КВС по команде от БРР входные цепи, соединяющие аппаратуру БУПдТС с датчиками положения объектов, коммутируются таким образом, что имитируется изменение положения объектов во всех группах. После этого аналогично описанному выше передается информация о состоянии объектов. Особенностью режима КВС является одновременный контроль работоспособности аппаратуры БУПдТС. При обнаружении неисправности функциональный адрес вида информации содержит соответствующий признак.

При приеме команды ТУ (ТР) функциональный адрес воспринимается БРР. При обнаружении признака передачи команды в блок управления приемом команд БУПрТУ передается сигнал вызова. В БУПрТУ проверяется отсутствие искажений в принятой команде. После завершения неискаженного приема на ПУ передается сигнал «квитанция», а на КП замыкается одна выходная цепь ТУ (ТР). При ТУ цепь удерживается в замкнутом состоянии в течение 2...3 с. Интервал времени задается элементом выдержки времени, установленным в БРР. При приеме команды ТР контакты выходных реле соединяются так, что работа элемента выдержки времени блокируется, а выходная цепь удерживается в замкнутом состоянии до поступления команды отмены ТР.

Аналогично осуществляется прием команды вызова ТИТ. Как и при приеме команды ТР, выходная цепь остается замкнутой до поступления команды отмены или до поступления новой команды ТУ. Контакты выходных цепей ТУ, выделенных для вызова ТИТ, используются в качестве коммутатора датчиков ТИТ. Сигналы от датчиков ТИТ поступают на блок управления передачей ТИТ БУПдТИТ, где они преобразуются в последовательные двоичные коды. Блок проверяет величину расхождения ранее переданного значения параметра ТИТ с его действительным значением. Если расхождение превышает заранее установленную величину, БУПдТИТ формирует сигнал запроса связи. После получения с ПУ разрешения на передачу информации БУПдТИТ формирует код, передаваемый по линии связи до получения с ПУ сигнала «квитанция».

6.2. Комплекс устройств телемеханики для трубопроводного транспорта ТМ-120-1

Комплекс ТМ-120-1 является высшей ступенью иерархического комплекса ТМ-120 и предназначен для управления и контроля объектами магистральных трубопроводов. Такими объектами являются на нефтепроводах насосные, а на газопроводах – компрессорные станции. Комплекс ТМ-120-1 обеспечивает также ретрансляцию командной информации с высшей ступени управления на низшую и известительной информации в обратном направлении. С этой целью осуществляется связь между КП комплекса ТМ-120-1 КП1 (рис. 6.5) и ПУ ком-

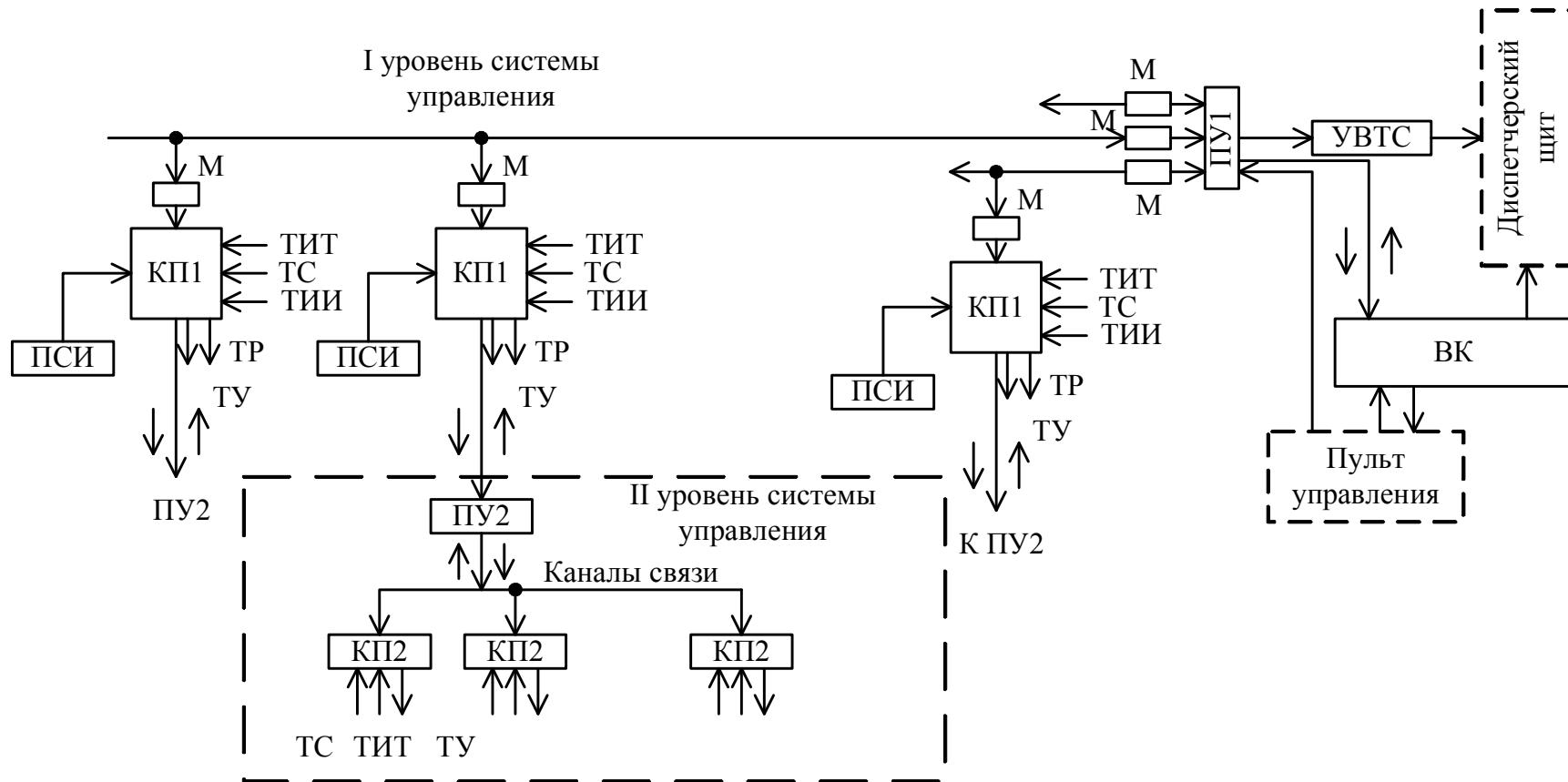


Рис. 6.5. Структурная схема комплекса типа ТМ-120

плекса ТМ-120-2 ПУ2. Последний управляет объектами второго уровня – линейными сооружениями, замерными пунктами и т.п.

Комплекс обеспечивает обмен информацией между ПУ и 30 КП. Соединение между ПУ и КП может быть выполнено линиями связи произвольной структуры. Для передачи используются некоммутируемые уплотненные каналы связи с четырехпроводным окончанием и транзитными переприемами. Скорость передачи выбирается из ряда 50, 75, 100, 200, 300, 600 бит/с. Количество каналов связи между ПУ и КП — четыре основных и четыре резервных. Подключение КП к указанным каналам произвольное. Расстояние между ПУ и КП практически не ограничено.

С каждого КП независимо от их числа может быть передана следующая информация: сигнализация о состоянии двухпозиционных объектов (ТС) – до 256 сигналов (32 группы по 8 сигналов в каждой); телеизмерение текущих значений – до 64 параметров (из них от датчиков с токовым выходом – 32, с кодовым выходом – 32); телеизмерение интегральных значений – до 8 параметров; статистическая информация – до 512 десятичных разрядов (цифр). Кроме того, каждый КП может ретранслировать телеизмерения с нижестоящей системы телемеханики, обслуживающей районное диспетчерское управление магистральных трубопроводов. Число ретранслируемых телеизмерений – до 160.

На каждый КП могут быть переданы: команды управления двухпозиционными объектами – до 32; кодовые команды телерегулирования – до 8, команда вызова телесигнализации. Кроме того, на каждый КП может быть передано до 128 двухпозиционных команд для ретрансляции на нижестоящую систему телемеханики районного диспетчерского управления ТМ-120-2.

Комплекс обеспечивает на ПУ ввод в вычислительную машину всей информации, передаваемой с КП, и передачу вырабатываемых машиной команд ТУ.

Основная погрешность ТИТ без учета погрешности датчика и выходного прибора составляет при цифровом воспроизведении $\pm 0,6\%$, при аналоговом $\pm 1\%$.

Комплекс состоит (см. рис. 6.5) из приемо-передающего устройства ПУ1, приемопередающих устройств КП1, устройства воспроизведения телесигнализации УВТС на ПУ, каналообразующих приборов (модемов) М, пультов ввода статистической информации на КП (ПСИ) и интерфейсных карт для связи с вычислительным комплексом (ВК).

В комплексе используется кодово-импульсный метод передачи сигналов с временным разделением информационных каналов. Режим работы задается через БРР устройства ПУ (рис. 6.6) одновременной выдачей на все модемы (М1–Мn), т.е. во все каналы связи, кодовых посылок, определяющих функционирование системы. БРР в соответствии с алгоритмом работы осуществляет циклический вызов ТИТ, вызов в установленное время ТИИ и ПСИ. Время вызова последних определяется программой, заложенной в вычислительной машине, которая связана с БРР с помощью интерфейсных карт (ИК). Для выявления заявок на передачу телесигнализации БРР периодически осуществляет опрос КП.

Команды управления двухпозиционными объектами и кодовые команды вырабатываются либо диспетчером, либо ВМ. Команды поступают в блок задания команд (БЗК) либо от ключей управления, расположенных на пульте диспетчера (ПД), либо от ВМ через интерфейсную карту. Правильность передаваемой команды диспетчер контролирует с помощью узла индикации команд (УИК), воспроизводящего команду на пульте диспетчера. Все команды, формируемые диспетчером, вводятся в вычислительную машину. Кроме команд управления двухпозиционными объектами и кодовых команд в БЗК могут быть заданы адреса контрольного вызова ТС.

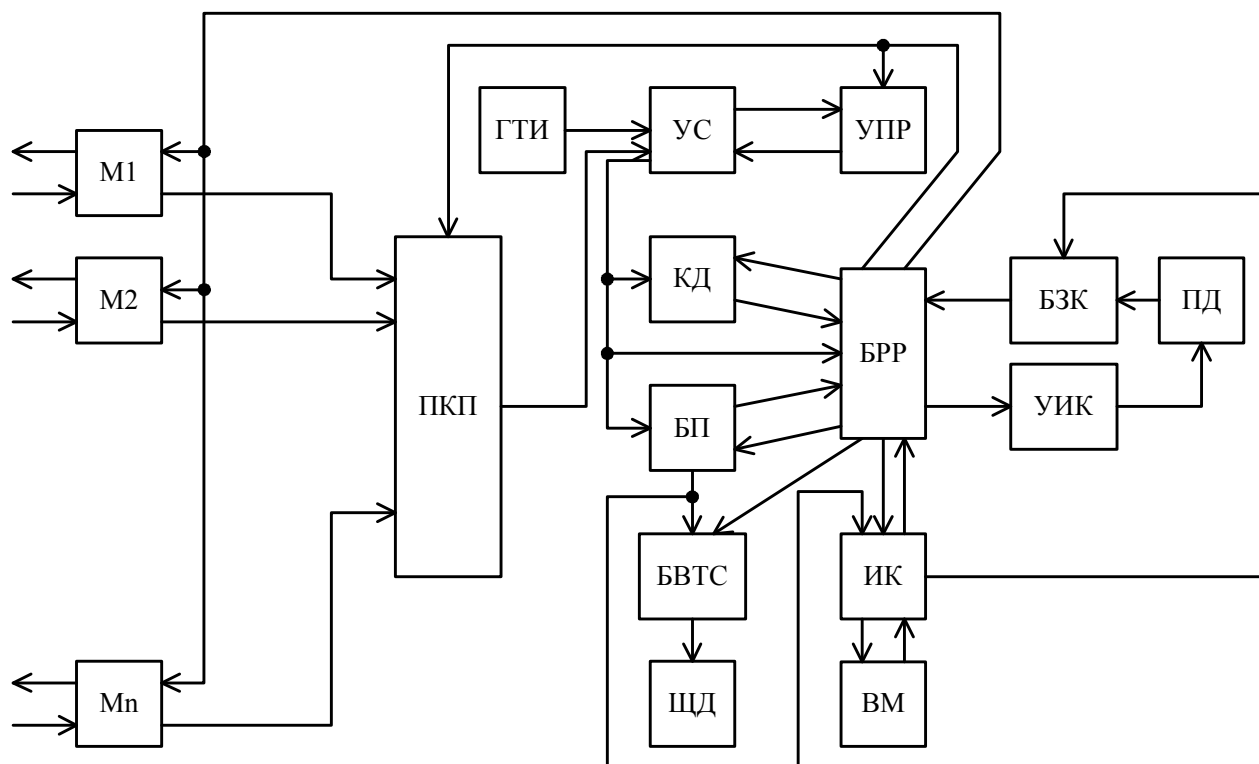


Рис. 6.6. Структурная схема устройства ПУ комплекса ТМ-120-1

В режиме приема информации БРР с помощью переключателя каналов приема (ПКП) подключает узел синхронизации по тактам с инерционным управлением (УС) к одному из модемов (М), образующих каналы обмена информацией между ПУ и КП. Одновременно БРР подключает соответствующий вызванному КП регистр узла памяти рассогласования (УПР). Последний служит для запоминания значений разности фазы между сигналами устройств ПУ и каждого КП. Код значения этой разности поступает в регистр УС, что позволяет уменьшить время вхождения в синхронную работу устройств.

Узел синхронизации, на который кроме сигналов из канала связи поступают тактовые сигналы от ГТИ, подстраивает фазу тактовых импульсов и осуществляет поэлементный прием кода методом стробирования. Кодовая последовательность с выхода УС поступает на кодер-декодер циклического кода, рабо-

тающий в режиме декодирования, блок режима работы и блок памяти. Генератор тактовых импульсов выдает сигналы, тактирующие работу БРР и других блоков устройства. Связи между ГТИ и этими блоками на рис. 6.6 не показаны.

Обнаружение ошибок в известительных сообщениях осуществляются кодер-декодером, определяющим искажения с помощью циклического кода и контроля по паритету каждого байта. Блок режима работы, принимая с КП адрес передаваемого сообщения, сличает его с адресом вызванного сообщения, т.е. осуществляет проверку адреса при информационной обратной связи. Принимаемые известительные сообщения по мере их поступления, вводятся в БП емкостью на одну группу сообщений. Считывание информации из БП может быть осуществлено в ускоренном темпе. Информация из БП через интерфейсную карту вводится в ВМ, а телесигнализация состояний, кроме того, подается на устройство воспроизведения, которое управляет сигналами на щите диспетчера (ЩД).

На рис. 6.7 приведена структурная схема устройства КП. Модем М обеспечивает преобразование двоичных сигналов в частотно-модулированные при передаче информации с КП на ПУ и обратное преобразование при приеме сигналов из канала связи. Поступающие с ПУ сигналы после модема подаются на узел синхронизации по тактам УС. На последний также поступают импульсы от генератора тактовых импульсов. Узел синхронизации и ГТИ выполняют на КП те же функции, что и на ПУ. Кодер-декодер циклического кода К-Д работает на КП в режиме кодирования информации. Циклическим кодом защищается вся известительная информация, передаваемая с КП.

Блок управления передачей ТС обнаруживает изменение состояний двухпозиционных объектов, выдает при этом сигнал «запрос связи» БРР и осуществляет передачу ТС по команде от БРР. Вызов ТС с ПУ также осуществляется с помощью БУПдТС.

Передача ТИТ от токовых и кодовых датчиков осуществляется после вызова с ПУ посредством соответствующих блоков передачи ТИТ: БУПдТИТ (АЦП) и БУПдТИТ (К). Первый содержит аналого-цифровой преобразователь. Токовые датчики коммутируются коммутатором КДТ, кодовые датчики – коммутатором КДЖ.

Передача ТИИ осуществляется по вызову с помощью блока управления передачей БУПдТИИ, который включает в себя также интеграторы, суммирующие импульсы от числоимпульсных датчиков.

Передача цифровой производственно-статистической информации осуществляется от пульта ввода (ПВ) с помощью БУПдПСИ.

Команды ТУ и КК принимаются соответственно блоками БУПрТУ и БУПрКК. Эти команды защищаются методом повторения с решающей обратной связью (после правильного приема командной информации с КП на ПУ посылается квитанция).

Блок режима работы КП связан с устройством ПУ комплекса ТМ-120-2. Как указывалось выше, предусмотрены ретрансляция ТИТ и ТС с линейных участков и передача на линейные участки команд ТУ.

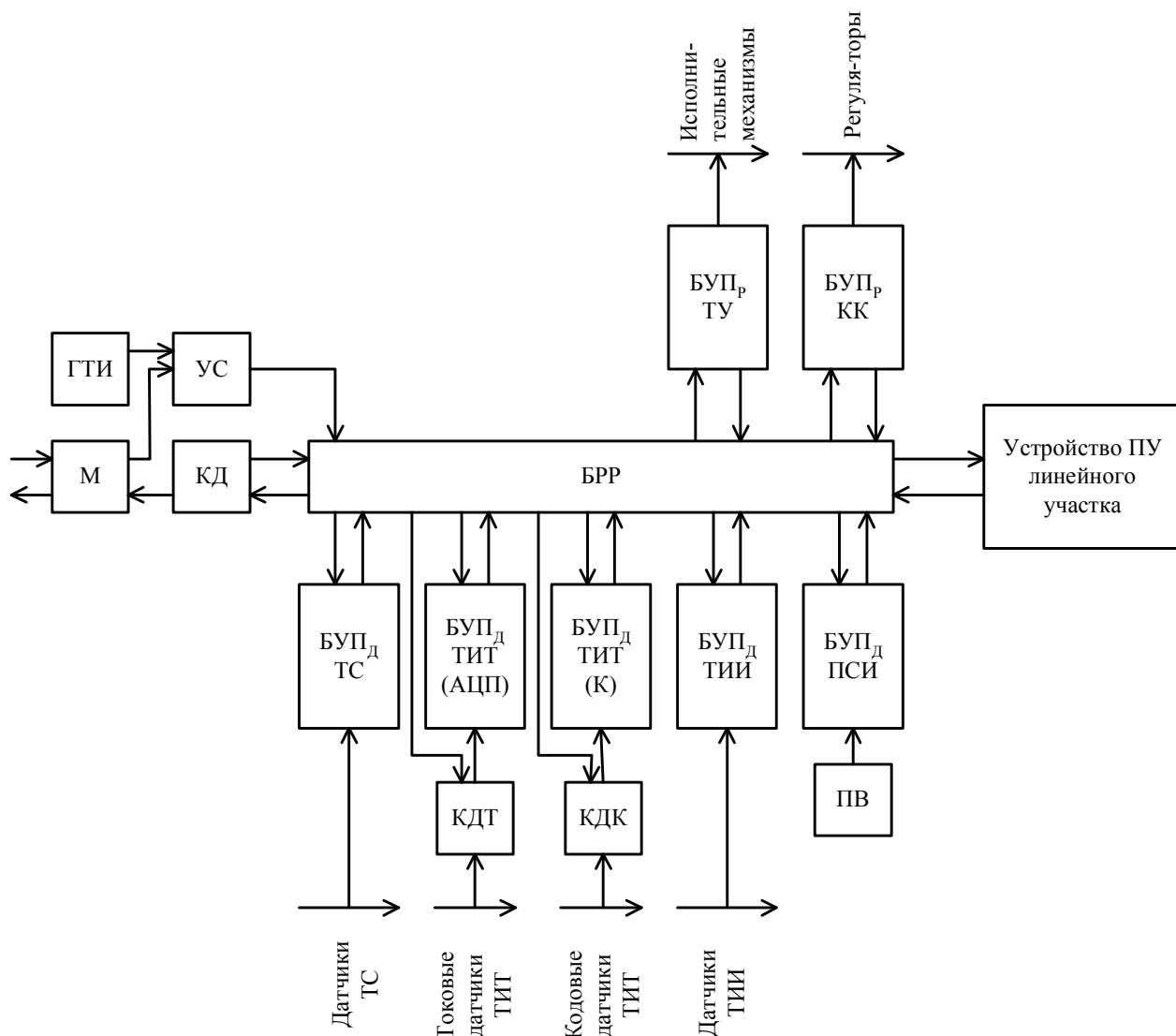


Рис. 6.7. Структурная схема устройства КП комплекса ТМ-120-1

Остановимся более подробно на способах передачи и защиты служебных команд и различных видов информации. Вызов известительной информации (ТИТ, ТИИ, ПСИ, ТС), а также опрос наличия информации на КП осуществляются четырехбайтовой кодовой посылкой (рис. 6.8, а). В первом байте передается код синхронизации (КС), предназначенный для предварительной подстройки генераторов устройств КП. Синхронизация генераторов продолжается также во время передачи трех последующих байтов. Во втором байте три первых бита отведены для кода начала (КН), а остальные – для адреса КП в двоичном коде АП. Максимальное число адресов равно 30 (две кодовые комбинации не используются). Третий байт содержит четыре бита функционального адреса и четыре бита номера группы. Максимальное число как функциональных адресов, так и номеров групп равно 16. В четвертом байте также передается синхрокод.

Структура передачи команд управления двухпозиционными объектами и кодовых команд приведена на рис. 6.8, б. Первые три байта по своей структуре аналогичны вызову известительной информации. В четвертом байте вместо кода синхронизации передается позиционный код объекта ТУ в группе или значение кодовой команды (уставки) в двоичном коде.

Через выдержку времени передача команды повторяется. В случае совпадения команд с КП передается сигнал решающей обратной связи в виде двух байтов: синхрокода и адреса КП (рис. 6.8, в). Таким образом, передача команд кроме паритета защищается методом повторения.

В ответ на вызов известительной информации с КП возвращается адрес, состоящий из трех байтов, и одна группа информационного сообщения ТИТ, ТИИ или ПСИ (рис. 6.8, г). В первом байте передается синхронизирующий код, во втором – код начала и номер контролируемого пункта, в третьем – функциональный адрес и номер группы. Длина группы может изменяться от одного до 16 байтов. Группа заканчивается байтом «конец», за которым следует защита циклического кода (ЗЦК). Каждый байт передаваемых сигналов защищается по паритету. Байт «конца» в отличие от других сообщений, защищаемых на нечетное число единиц, дополняется в девятом разряде до четности. На рис. 6.8, д приведена кодовая посылка передачи ТС.

При опросе требований на передачу ТС с ПУ посылается функциональный адрес «опрос требований» (ФАОТ). Если на КП отсутствуют заявки на передачу информации, устройство КП посылает обратно ФАОТ. При наличии заявки с КП посылается функциональный адрес «запрос требований» (ФАЗТ). Кодовые посылки передачи этих функциональных адресов с КП приведены на рис. 6.8, е.

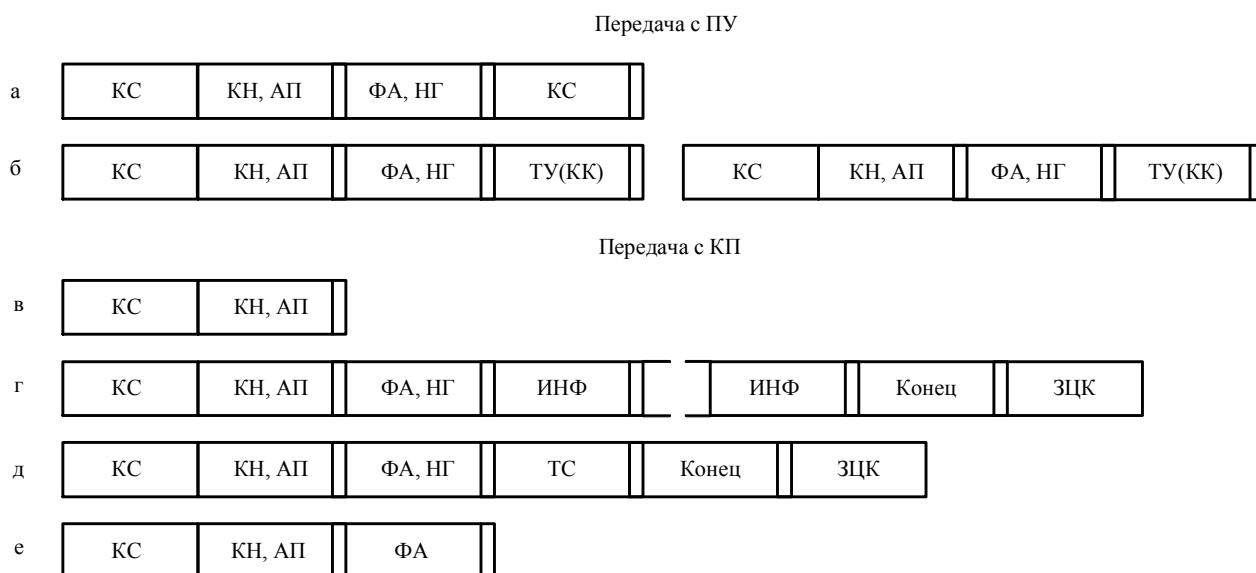


Рис. 6.8. Структура сигналов в комплексе ТМ-120-1:
а – вызов ТИТ, ТИИ, ПСИ, ТС; опрос требований, запрос требования; б – передача ТУ и КК;
в – квитанция о приеме ТУ и КК; г – передача ТИТ, ТИИ, ПСИ;
д – квитанция о приеме ТУ и КК; г – передача ТИТ, ТИИ, ПСИ; д – передача ТС;
е – передача сигналов функциональных адресов (ФАОТ и ФАЗТ)

Схема алгоритма работы устройства ПУ в части реализации дисциплины передачи по видам информации приведена на рис. 6.9.

После включения питания комплекс начинает работать в режиме циклического вызова и приема ТИТ. На ПУ формируется адрес КП АП, функциональный адрес ТИТ (ФАТИТ) и посылается вызов первой группы. Затем устройство ПУ переходит в режим приёма информации с КП. Правильность принимаемой информации проверяется циклическим кодом и по паритету. Если информация принята правильно и группа не последняя, то переключается номер группы и устройство ПУ аналогично вызывает и принимает остальные группы ТИТ. Когда принята последняя группа, устройство ПУ при работе в режиме передачи известительной; переходит к опросу требований (ОТ) на передачу ТС. Если же идет передача информации со всех КП, то происходит переключение адреса пункта (АП) и осуществляется циклическая передача ТИТ со следующего КП. После приема ТИТ со всех КП устройство ПУ приступает к опросу требований на передачу ТС.

Опрос требований осуществляется передачей на контролируемый пункт АП и ФАОТ. При отсутствии заявок, как указывалось выше, КП отвечает ФАОТ, а при наличии – АЗТ. Правильность информации проверяется по паритету. При приходе ФАЗТ с ПУ на КП осуществляется обратная передача его же. После этого устройство приступает к приему группы информации ТС. Прием информации осуществляется аналогично приему ТИТ с той лишь разницей, что после правильного приема информации устройство сразу переходит к опросу требований с того же КП.

При неправильном приеме информации устройство ПУ вновь передает на КП ФАЗТ. Если три раза подряд принимаемая информация искажена, то осуществляется сигнализация неисправности данного КП и устройство ПУ переходит к опросу следующего КП. На обобщенной блок-схеме алгоритма последнее не показано. Это относится также к проверке приема других видов информации и служебных сигналов.

Если при повторном опросе КП (после приема группы ТС) вместо ФАЗТ поступает ФАОТ, т.е. запрос требований отсутствует, то осуществляются переключение адреса пункта и переход к опросу следующего КП. При отсутствии заявки на передачу информации с последнего КП устройство проверяет наличие заявок на передачу с ПУ. Если последних нет, то устройство возвращается к вызову и приему ТИТ.

При наличии заявки на передачу определяется ее вид. Передача ТУ и КК осуществляется аналогично – формируются соответствующий адрес и команда, и производится их передача с защитой повторением и по паритету. После этого устройство ПУ приступает к приему квитанции с КП о поступлении команды. Если квитанция пришла за время Δt , устройство переходит к опросу требований на передачу ТС. Если квитанция не пришла, то устройство вновь передает команду по приведенному алгоритму. После трехкратного повторения передачи команды без поступления квитанции выдается сигнал неисправности данного КП.

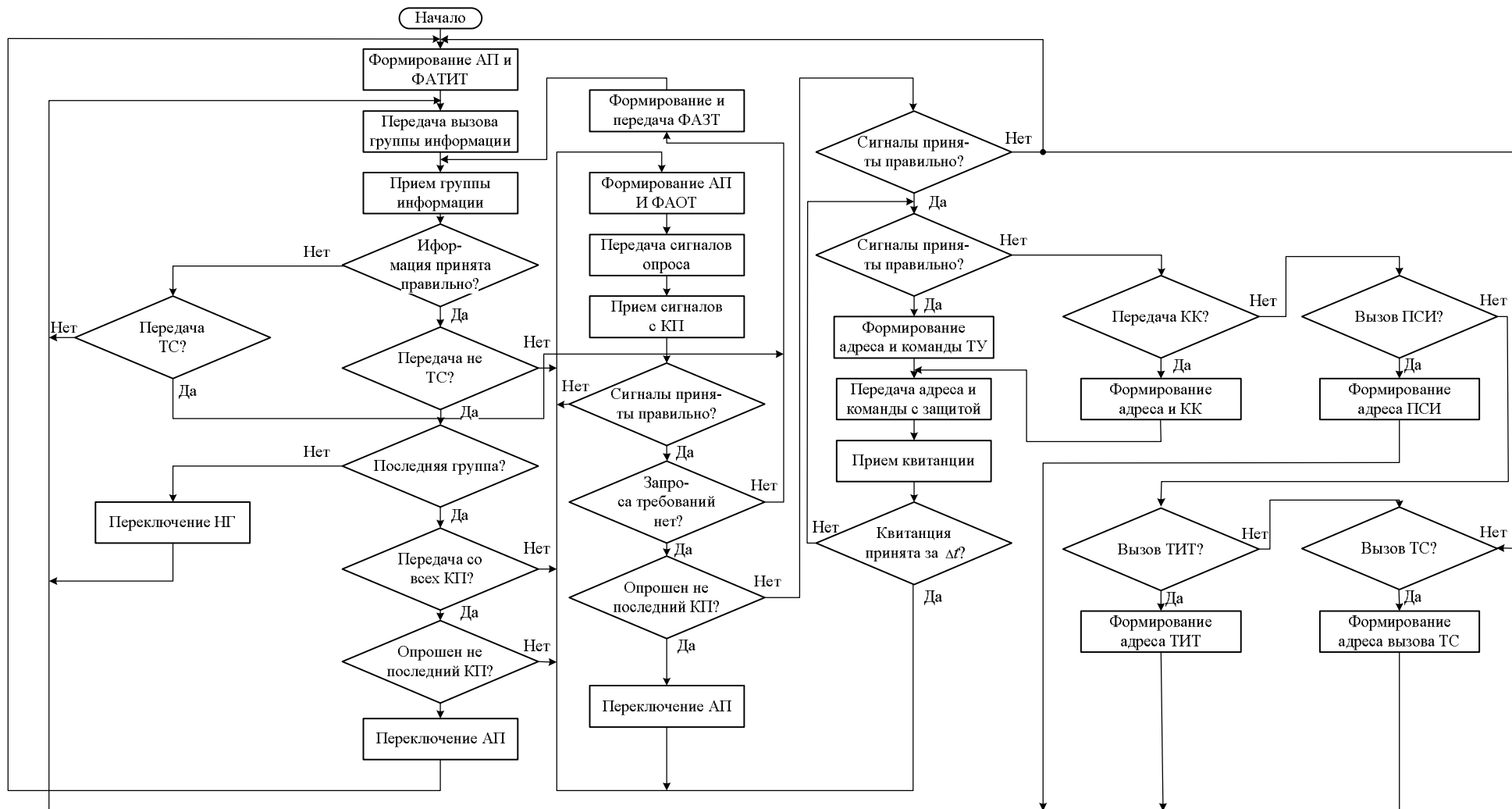


Рис. 6.9. Обобщенная схема алгоритма функционирования устройства пункта управления ТМ-120-1

На схеме алгоритма последнее не показано.

При вызове ПСИ и ТИИ также формируется соответствующий адрес, и устройство ПУ осуществляет вызов информации аналогично вызову ТИТ. После этого устройство функционирует по описанному алгоритму.

При вызове ТС формируется функциональный адрес вызова ТС. Далее аналогично вызову ТИТ осуществляется вызов первой группы ТС. При получении указанного сигнала устройство КП взводит триггеры наличия информации во всех группах ТС и начинает передавать первую группу ТС. После приема первой группы ТС устройство ПУ переходит в режим опроса наличия требований ТС. Опрашиваются все КП, начиная с первого. При этом, кроме ТС, с вызванного КП будут переданы все изменения состояния объектов.

Блок-схема алгоритма работы устройства КП в части реализации дисциплины передачи по видам информации приведена на рис. 6.10. Работа КП начинается с приема кода синхронизации (КС) и адреса пункта (АП). Проверяется совпадение присланного с ПУ адреса с номером данного КП. Если они совпали, то начинается прием следующего байта сообщения. Если нет, то устройство КП через задержку, определяемую малым циклом работы, возвращается в исходное состояние.

Далее последовательно принимаются функциональный адрес и номер группы, а затем, при передаче функциональных адресов ТУ и КК, код команды. Каждый байт проверяется по паритету. Если имеются искажения, то устройство через указанную выше задержку возвращается в исходное состояние.

Затем по функциональному адресу определяется, не предназначены ли команды ТУ для управления линейными сооружениями трубопровода. Если команды не должны быть ретранслированы на линейные сооружения, выясняется – идет ли первый или второй цикл передачи.

При первом цикле устройство возвращается в исходное состояние и начинает по описанному выше алгоритму принимать повторную передачу команды. При втором цикле выполняется проверка всей команды методом повторения. Если команда принята верно, то при ТУ выходное реле включает исполнительный механизм, а кодовая команда выдается на соответствующий регулятор. После этого устройство КП формирует и передает квитанцию о приеме ТУ или КК. Если коды не совпали, то устройство возвращается в исходное состояние.

При поступлении команды для ретрансляции на линейные сооружения ее код выдается в устройство ПУ комплекса ТМ-120-2, где осуществляется проверка команды методом повторения (на рис. 6.10 это показано пунктиром). При положительных результатах проверки устройство ПУ ТМ-120-2 выдает в устройство КП ТМ-120-1 сигнал для формирования и передачи квитанции, при отрицательных результатах – сигнал для возвращения в исходное состояние.

Если с ПУ передается не ТУ или КК, то определяется, является ли принятый функциональный адрес опросом требований. ФАОТ квитанцией с ПУ о приеме телесигнализации. Если да, то осуществляется квитирование переданной группы, а затем проверяется наличие ТС. Если нет, то сразу проверяется наличие заявки на передачу. При наличии заявки на ПУ передаются АП и

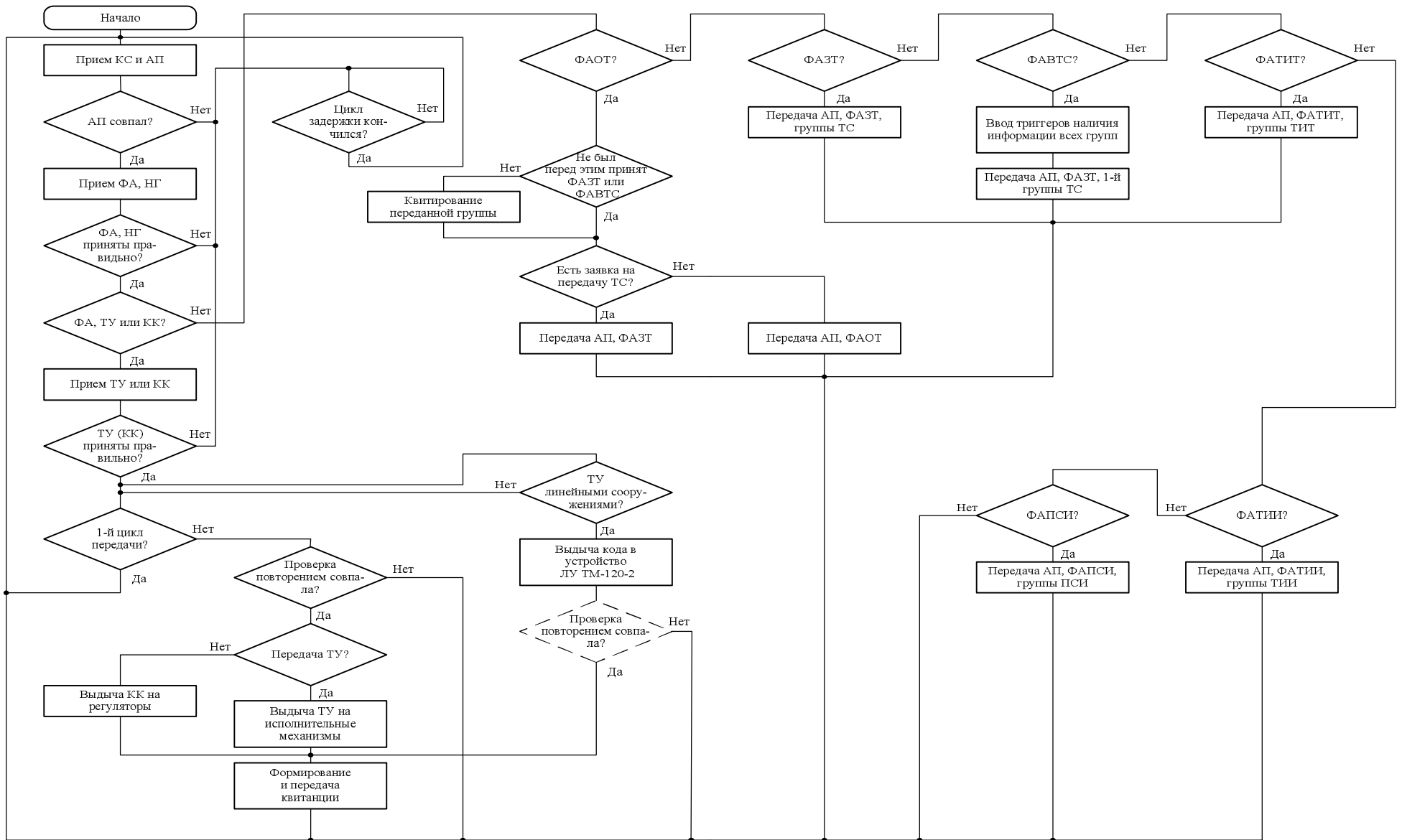


Рис. 6.10. Обобщенная схема алгоритма функционирования устройства контролируемого пункта ТМ-120-1

ФАЗТ, при отсутствии – АП и ФАОТ, после чего схема приходит в исходное состояние.

При приходе функционального адреса «запрос требований» устройство КП выявляет старшую по приоритету группу из всех групп ТС, выставивших заявку на передачу, и передает ее в канал связи, сопровождая АП и ФАЗТ. Вся передаваемая информация защищается циклическим кодом.

Если пришел функциональный адрес вызова ТС (ФВТС), то осуществляются взвод триггеров наличия информации всех групп и передача первой группы ТС, сопровождаемой АП и ФАЗТ. Все остальные группы будут передаваться согласно их приоритету при поступлении с ПУ ФАЗТ.

Передача ТИТ, ДНИ, ПСИ осуществляется с КП при принятии КП соответствующего функционального адреса. Передача каждого вида информации сопровождается АП и своим функциональным адресом. После последнего информационного байта передается «конец сообщения», а затем девять разрядов защиты циклического кода Ц.

На рис. 6.11 приведена диаграмма обмена сигналами между устройствами ПУ и КП. При опросе требований (рис. 6.11,б) на первом КП заявки отсутствуют, со второго КП передается заявка на передачу, а затем группа сообщений.

Конструктивно комплекс ТМ-120-1 выполняется в напольных шкафах УТК. В шкафах устройств ПУ и КП устанавливаются сервисные устройства, позволяющие контролировать работу устройств и облегчающие выявление неисправных блоков и узлов. В шкафу УВТС контрольная панель отсутствует. Модемы поставляются отдельно в настенных кожухах УТК.

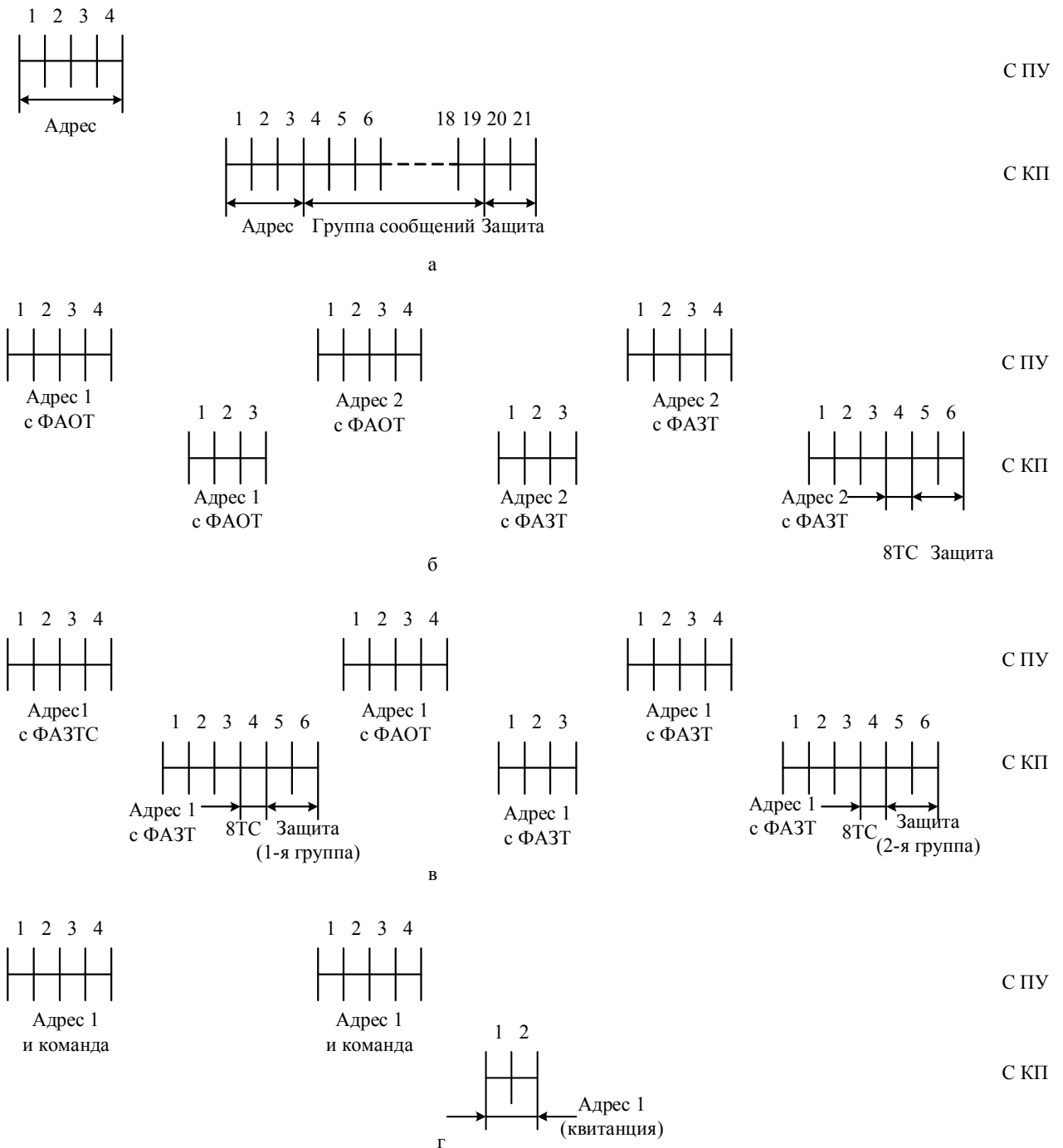


Рис. 6.11. Диаграмма обмена сигналами между ПУ и КП ТМ-120-1
а – вызов и прием известительных сообщений ТИТ, ТИИ, ПСИ; б – опрос требований и прием сообщения ТС; в – контрольный вызов и прием сообщений ТС; г – передача ТУ и КК

ЛИТЕРАТУРА

1. Сорока Н.И., Кривинченко Г.А. Телемеханика: Конспект лекций. Ч.3: Линии связи и помехоустойчивость информации. Мн.: БГУИР, 2004. – 130 с.
2. Сорока Н.И., Кривинченко Г.А. Телемеханика: Конспект лекций. Ч.2: Коды и кодирование. Мн.: БГУИР, 2001. – 168 с.
3. Сорока Н.И., Кривинченко Г.А. Телемеханика: Конспект лекций. Ч.1: Сообщения и сигналы. Мн.: БГУИР, 2000. – 126 с.
4. Авдеев Б.Я., Антонюк Е.М., Долинов С.Н. и др. Адаптивные телеизмерительные системы. Л.: Энергоиздат, 1981. – 248 с.
5. ГОСТ 16521-74. Устройства телемеханики ГСП.
6. ГОСТ 12814-74. Сигналы входные и выходные, электрические кодированные ГСП.
7. ГОСТ 10938-75 ГСП. Параметры импульсных электрических входных и выходных сигналов с дискретным изменением параметра.
8. ГОСТ 12997-76. Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации. Общие технические требования. Методы испытаний.
9. ГОСТ 21128-75. Системы электроснабжения, сети, источники, преобразователи и приемники электрической энергии. Номинальные напряжения до 1000 В и допустимые отклонения.
10. Емельянов Г.А., Шварцман В.О. Передача дискретной информации: Учебник для вузов. М.: Радио и связь, 1982. – 240 с.
11. Тепляков И.М., Рошин Б.В., Фомин А.И. и др. Радиосистемы передачи информации. М.: Радио и связь, 1982. – 264 с.
12. Лагутенко О.Н. Современные модемы М.: Эко ТРЕНДЗ, 2002.– 344 с.
13. Джордж Смит. Сопряжение компьютеров с внешними устройствами. М.: Мир, 2000. – 266 с.
14. Галкин В.А., Григорьев Ю.А. Телекоммуникации и сети. М.: МГТУ им. Баумана, 2003.
15. Гаранин М.В., В.И. Журавлев, С.В. Кунечин. Системы и сети передачи информации. М.: Радио и связь, 2001.– 336 с.
16. Маковеева М.М., Шинаков Ю.С. Системы и средства связи с подвижными объектами. М.: Радио и связь, 2002.
17. Невдяев Л.М. Мобильная спутниковая связь: Справочник. М.: МЦНТИ, 1998. – 155 с.
18. Ратынский М.В. Основы сотовой связи / Под ред. Д.Б. Замина. М.: Радио и связь, 1998. – 248 с.
19. Банкет В.П., Дорофеев В.М. Цифровые методы в спутниковой связи. М.: Радио и связь, 1988. – 240 с.
20. Феерк К. Беспроводная цифровая связь: Пер с англ. /Под ред. В.И. Журавлева. М.: Радио и связь, 2000. – 520 с.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	2
1. ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЕ	3
1.1. Основные понятия. Классификация.....	<u>3</u>
1.2. Телеметрические системы с частотным разделением каналов.....	<u>9</u>
1.3. Телеметрическая система с временным разделением каналов.....	<u>31</u>
1.4. Телеметрические системы с частотно-временным разделением каналов	<u>52</u>
1.5. Цифровые телеметрические системы	<u>55</u>
1.6. Адаптивные телеизмерительные системы.....	<u>64</u>
2. ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЕ И ТЕЛЕСИГНАЛИЗАЦИЯ.....	78
2.1. Основные понятия	78
2.2. Методы телеуправления.....	82
2.3. Виды и методы сигнализации	82
2.4. Классификация объектов управления и устройств ТУ-ТС	84
2.5. Методы разделения и избирания сигналов.....	86
2.6. Частотное разделение сигналов	86
2.7. Временное разделение сигналов	89
2.8. Кодовое разделение сигналов	94
2.9. Сравнительная оценка и области применения методов разделения сигналов	97
2.10. Оборудование, располагаемое на ПУ и КП	98
2.11. Основные технические требования к устройствам ТУ-ТС	99
3. ТЕЛЕРЕГУЛИРОВАНИЕ	100
4. ПЕРЕДАЧА ДИСКРЕТНЫХ СООБЩЕНИЙ	103
4.1. Области применения систем передачи дискретной информации.....	103
4.2. Структурная схема системы передачи цифровой информации.....	106
4.3. Системы передачи цифровой информации с обратной связью	1099
5. БОРТОВАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА	125
6. МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕХАНИКИ	131
6.1. Комплекс устройств телемеханики для промышленных предприятий, объектов коммунального хозяйства и энергоснабжения городов ТМ-320	131
6.2. Комплекс устройств телемеханики для трубопроводного транспорта ТМ-120-1.....	139
ЛИТЕРАТУРА.....	152