

31/8/10

**Одобрено кафедрой
«Транспортная связь»**

**МНОГОКАНАЛЬНАЯ СВЯЗЬ
НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ
ТРАНСПОРТЕ**

**Методические указания
к выполнению лабораторных работ (Ч. I)
для студентов V курса**

специальности

**210700. АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ
НА Ж.Д. ТРАНСПОРТЕ**

специализации

**210702. СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ИНФОРМАЦИИ НА Ж.Д. ТРАНСПОРТЕ**



Москва - 2001

Для выполнения лабораторных работ: № 1 — Изучение аппаратуры ИКМ-3Ос-4 и № 2 — Изучение аппаратуры К-12+12 выделяется 8–10 часов учебного времени. Каждую работу выполняет бригада студентов из 3-х человек. Перед лабораторными занятиями, во внеурочное время, студенты должны ознакомиться с устройством и работой, методикой измерений характеристик изучаемой аппаратуры. Для этого могут быть использованы настоящие методические указания, основная и дополнительная учебная литература, техническая документация к изучаемой аппаратуре, различная справочная литература.

Перед каждой лабораторной работой преподаватель определяет готовность студентов к ее выполнению.

По выполнении лабораторных работ студенты составляют индивидуальные отчеты по результатам работ. Объем и содержание отчета, а также контрольные вопросы для подготовки к зачету приведены в настоящих методических указаниях.

Рецензент: д-р техн. наук, доц. М.Б. КОЦЕВ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Целью выполнения лабораторной работы является изучение 30-канальной первичной цифровой системы передачи. Объектом изучения является система типа ИКМ–30с–4. В процессе выполнения работы студент должен изучить принцип формирования цифрового канала системы, его основные параметры, усвоить принципы и способы преобразований сигналов в аппаратуре ЦСП, их дискретизации, квантования по уровню и кодирования; ознакомиться со структурными схемами аппаратуры и отдельных ее узлов, конструктивными особенностями оборудования аппаратуры.

После этого следует убедиться в работоспособности системы и перейти к измерениям основных электрических характеристик каналов, определяющих качество передачи.

1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ АППАРАТУРЫ И СОСТАВ ОБОРУДОВАНИЯ

Первичная цифровая система передачи ИКМ–30с–4 предназначена для работы на сельских сетях по одночетверочным симметричным подвес-

ным и подземным кабелям типа КСПП (КСППБ) с жилами $d = 0,9; 1,2$ мм по однокабельной схеме.

Система обеспечивает организацию:

— тридцати стандартных телефонных каналов (300...3400 Гц) в качестве соединительных и абонентских линий;

— двух каналов передачи сигналов управления и взаимодействия (СУВ) постоянным током для каждого телефонного канала;

— одного двустороннего канала вещания вместо четырех телефонных каналов;

— передачи дискретной информации;

— выделения 12 каналов из линейного тракта;

— дистанционного обслуживания и контроля оборудования.

В системе используется временное разделение каналов.

Скорость передачи линейного сигнала (импульсов цифрового сигнала) 2048 кбит/с, что соответствует тактовой частоте 2048 кГц. Используемый код ЧПИ или МЧПИ. Амплитуда импульсов цифрового сигнала $\pm (3 \pm 0,3)$ В на сопротивлении нагрузки 120 Ом.

Дальность действия связи 220 км. Длина участка между обслуживаемыми пунктами ОРП–ОРП и ОП–ОРП 90 км (длина секции ДП 45 км) и 110 км (длина секции ДП 55 км) при использовании кабеля соответственно $d = 0,9$ и 1,2 мм. Длина регенерационного участка составляет 2–4 км. Затухание его на полутаковой частоте 1024 кГц не должно превышать 36 дБ. Максимальное число НРП между двумя питающими станциями 24.

Максимальное напряжение ДП 240 В, ток ДП 50 ± 5 мА. Напряжение источника постоянного тока для питания аппаратуры 54...72 В. При организации связи на базе системы передачи ИКМ–30с–4 (рис.1) предусматриваются: центральная станция, оконечная станция, станция выделения каналов и необслуживаемые регенерационные пункты.

Аппаратура системы содержит: АЦО–11 — блок аналого-цифрового оборудования, ОКО–14 — блок оборудования канальных окончаний, ОЛТ–14 — блок оборудования линейного тракта, УСО–01 — блок унифицированного сервисного

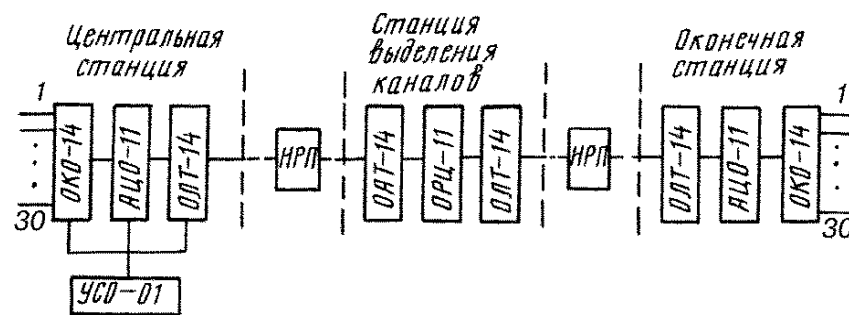


Рис. 1. Схема организации связи с применением аппаратуры ИКМ–30с–4

оборудования, ОРЦ–11 — блок оборудования разветвления и НРП — необслуживаемый регенерационный пункт.

Все перечисленные блоки размещаются на стоечных кар-касах. Исключение составляет оборудование НРП. Оно располагается в металлическом шкафу–контейнере, который устанавливается на опорах воздушных линий связи или специальных опорах подземных линий связи.

При помощи цифрового оборудования (блок АЦО–11) формируется групповой цифровой сигнал, при передаче, и осуществляется образование канальных сигналов, при приеме. Оно может использоваться самостоятельно в качестве каналообразующего оборудования других систем передачи.

В индивидуальную часть каждого канала входят передающий и приемный LC-фильтры нижних частот, амплитудно-импульсный модулятор, временной селектор, согласующие и усилительные каскады.

Основными узлами групповой части оборудования являются аналого-цифровой (АП) и цифро-аналоговый (ЦА) преобразователи.

В групповую часть блока входят также устройства цифрового оборудования (ЦО) передачи и приема. К первым относятся: задающий генератор (2048000 ± 70 Гц); формирователи импульсных последовательностей, циклового синхросигнала и группового цифрового сигнала. Ко вторым — приемник циклового синхросигнала; схемы поиска, поддержания и контроля синхронизма; приемники вспомогательных сигналов; формирователи импульсных последовательностей.

В оборудование внешнего стыка (ВС) блока входят: преобразователи кода приема и передачи, схемы выделения тактовой частоты, приемник хронизирующего сигнала. Блок содержит устройства для контроля исправности и состояния оборудования (КС).

Оборудование канальных окончаний (блок ОКО–14) обеспечивает использование каналов ТЧ в качестве межстанционных и абонентских линий. При помощи его каналы ТЧ могут работать как в двухпроводном (с остаточным затухани-

ем 7 дБ), так и в четырехпроводном (с уровнями на входе и выходе –3,5 дБ). Помимо этого оборудование позволяет организовать входы и выходы двух сигнальных каналов на каждый канал ТЧ. По сигнальным каналам передаются сигналы управления и взаимодействия (СУВ) между АТС.

При помощи оборудования линейного тракта (блок ОЛТ–14) обеспечиваются передача и прием линейного цифрового сигнала, регенерация (восстановление) сигнала, сигнализация в случае повышения коэффициента ошибок принимаемого сигнала, дистанционное питание НРП, организация служебной связи, передача и прием сигналов дистанционного обслуживания, возможность измерения параметров кабеля.

Унифицированное сервисное оборудование (блок УСО–01) входит в состав системы обслуживания и контроля работы аппаратуры. Блок УСО–01 автоматически проверяет все блоки аппаратуры, посылая в каждый из них только один запрос (00). Один цикл обзора (от адреса 00 до адреса 99) составляет около 100 мс. Если при обзоре возникает аварийная ситуация, то в соответствующий блок посылается серия запросов (01, 02, ... 0,14), после чего в УСО–01 поступает информация о конкретной неисправности.

При помощи оборудования цифрового разветвления — блок (ОРЦ–11) из линейного цифрового сигнала выделяются до 12 каналов ТЧ и относящиеся к ним сигнальные каналы.

Линейный цифровой сигнал от центральной станции к оконечной проходит без изменения, и сигналы, необходимые для выделения, ответвляются из него на станции выделения параллельно.

Цифровой сигнал обратного направления очищается в соответствующих канальных интервалах и разрядах КИ16 и вместо них вводятся сигналы каналов станции выделения. На станции выделения имеется задающий генератор, синхронизируемый от сигнала оконечной станции.

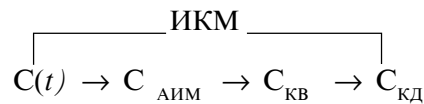
Оборудование для передачи в сторону центральной станции формирует полный цикл временного спектра цифрового сигнала, в том числе цикловый и сверхцикловый синхросиг-

налы. Установка фазы генераторного оборудования станции производится синхросигналами (цикловым и сверхцикловым), выделяемыми из линейного сигнала, приходящего от оконечной станции.

Посредством устройств необслуживаемых регенерационных пунктов НРП обеспечивается: восстановление линейного цифрового сигнала, передаваемого в обоих направлениях; прием дистанционного питания, управляющего сигнала телеконтроля; организация служебной связи; возможность изменений параметров кабеля и др.

2. ФОРМИРОВАНИЕ ЦИФРОВОГО СИГНАЛА

Цифровой сигнал в первичной системе передачи ИКМ-30 формируется на основе импульсно-кодовой модуляции. Его образование можно разделить на три операции. Сначала первичный сигнал $S(t)$ дискретизируется (квантуется по времени), т.е. превращается в амплитудно-импульсно-модулированный сигнал ($S_{\text{АИМ}}$). Затем этот сигнал квантуется по амплитуде (уровню) и, наконец, квантовый сигнал ($S_{\text{КВ}}$) кодируется при помощи равномерного двоичного кода. В итоге образуется цифровой, или ИКМ-сигнал ($S_{\text{КД}}$), представляющий собой поток двоичных символов. Таким образом, весь процесс аналого-цифрового преобразования сигнала в ЦСП можно представить в следующем виде:



Дискретизация первичного сигнала. Преобразование первичного сигнала в АИМ-сигнал необходимо, чтобы обеспечить возможность временного уплотнения группового тракта системы передачи.

Из рис. 2 видно, что в образовавшиеся интервалы времени между ближайшими импульсами одного канала передают-

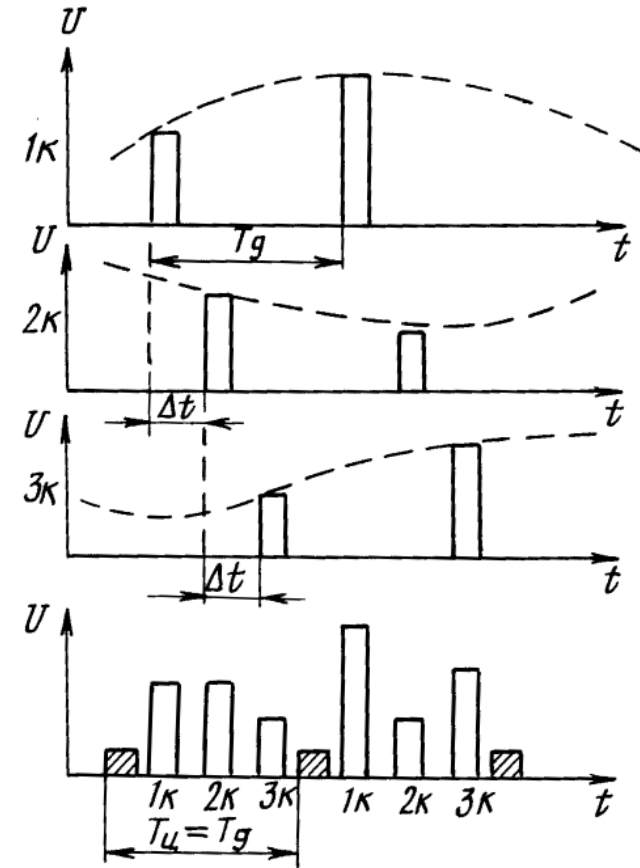


Рис. 2. Принцип временного разделения каналов в ЦСП

ся импульсы других каналов системы. Процесс дискретизации первичного сигнала осуществляется при помощи амплитудно-импульсного модулятора — электронного реле, которое управляется посредством последовательности прямоугольных импульсов. Она характеризуется следующими параметрами: A — высота, или амплитуда импульса; t_u — длительность, или ширина импульса; T_d — период дискретизации, или следования импульса; $t_k = kT_d$ — фаза, или временное положение импульсов; $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ — тактовые

точки на оси времени, или моменты появления импульсов; $f_d = 1/T_d$ — частота дискретизации, или частота следования импульсов; $S = T_d / t_u$ — скважность.

При воздействии первичным сигналом на последовательность импульсов в модуляторе образуется АИМ-сигнал, амплитуда которого изменяется по огибающей, соответствующей кривой изменения первичного сигнала. Различают два вида амплитудно-импульсной модуляции — первого и второго рода (АИМ-I и АИМ-II). При АИМ-I вершины импульсов изменяются в соответствии с огибающей кривой первичного сигнала, при АИМ-II огибающая — горизонтальная

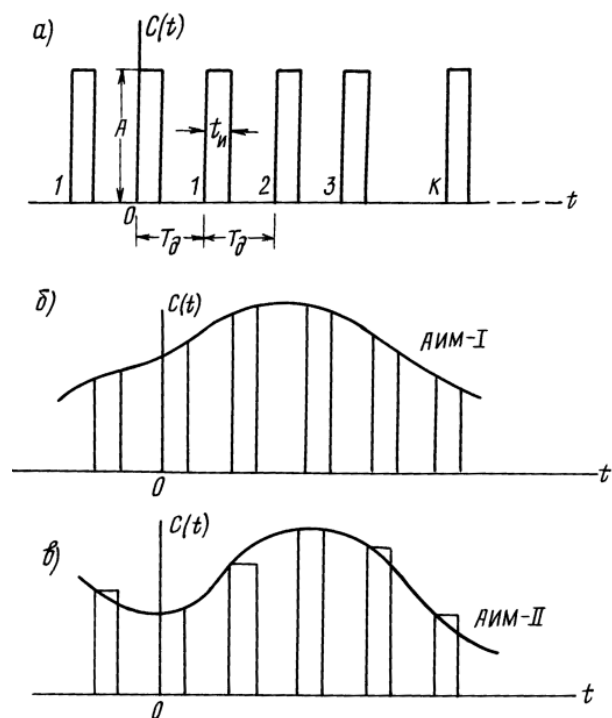


Рис. 3. Формы дискретных сигналов:

a — последовательность управляющих импульсов; *б* — при АИМ-I; *в* — при АИМ-II

линия с ординатой, соответствующей значению сигнала в тактовой точке. Различия между ними хорошо видны на рис. 3, б и в.

Спектр частот АИМ-сигнала показан на рис. 4, а, из которого видно, что в него входят: спектр частот первичного сигнала, частота дискретизации, верхняя и нижняя боковые полосы частот первичного сигнала. Наличие спектра первичного сигнала в нижней части спектра АИМ-сигнала указывает на возможность выделения его на приемной станции СП при помощи фильтра нижних частот (ФНЧ). Период дискретизации T_d , как и частота дискретизации f_d определяют степень соответствия огибающей АИМ-сигнала кривой пер-

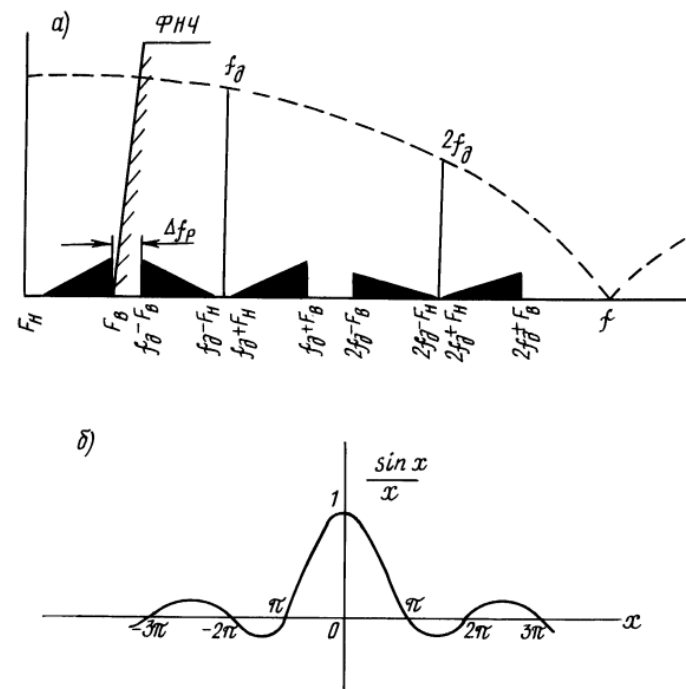


Рис. 4. Спектр частот АИМ-сигнала:

a — спектр частот; *б* — временная зависимость функции отсчета АИМ-сигнала

вичного сигнала, а также величину интервала для уплотнения импульсами других каналов.

В изучаемой ЦСП, как и в других цифровых системах, период дискретизации выбран в соответствии с теоремой Котельникова и определяется соотношением

$$T_d = \frac{1}{f_d} \leq \frac{1}{2F_b},$$

где F_b — верхняя частота спектра передаваемого первичного сигнала.

Частота дискретизации для стандартного телефонного канала тональной частоты (0,3...3,4 кГц) принята равной

8 кГц, а интервал дискретизации $T_d = \frac{1}{8000} = 125$ мкс. При

частоте дискретизации $f_d = 8$ кГц между спектром частот первичного сигнала и нижней боковой полосой (рис. 4, а) образуется достаточно большой частотный интервал

$$\Delta f = (f_d - F_b) - F_b = (8 - 3,4) - 3,4 = 1,2 \text{ кГц.}$$

Поэтому выделение спектра первичного сигнала возможно при помощи простого фильтра ФНЧ.

Поясним работу этого фильтра при восстановлении первичного сигнала из АИМ-сигнала. В соответствии с теоремой Котельников, непрерывный сигнал складывается из суммы бесконечного числа своих дискретных составляющих

$$C(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} C(kT_d) \frac{\sin[2\pi F_b(t - kT_d)]}{2\pi F_b(t - kT_d)}.$$

Правая часть этого выражения является суммой бесконечного числа членов ряда, каждый из которых состоит из двух сомножителей. Первый сомножитель представляет собой значение отсчета (ординаты) сигнала в k -й тактовой

точке, второй — вида $\frac{\sin x}{x}$ характеризует функцию этого отсчета, где $x = (t - kT_d)$.

На рис. 4, б приведен график изменения функции отсчета в зависимости от изменения аргумента x . Из него видно, что функция имеет волнообразный характер с уменьшающейся по мере увеличения x амплитудой. Она характеризует ток на выходе ФНЧ, если на его вход подан короткий по длительности импульс. Путем сложения кривых будет полностью восстановлен первичный сигнал.

Принцип формирования АИМ-сигнала из аналогового сигнала и восстановления последнего при помощи ФНЧ показан на рис. 5.

Квантование АИМ-сигнала по амплитуде (уровню). Эта операция необходима, чтобы уменьшить число значений ординат АИМ-сигнала и упростить таким образом его кодирование.

Процесс квантования АИМ-сигнала по амплитуде заключается в замене каждого его значения ближайшим разрешенным значением в соответствии с дискретной шкалой квантования.

Поясним принцип квантования сигнала при помощи графика, показанного на рис. 6, а. На оси ординат (положительной и отрицательной) показаны разрешенные уровни квантования. Разность между двумя соседними уровнями определяет шаг квантования Δ . Здесь он один и тот же в пределах всей оси. В зависимости от своего значения импульс АИМ-сигнала принимает одно из двух ближайших разрешенных уровней, между которыми он окажется. Если значение импульса оказалось в верхней половине шага, принимается большее разрешенное значение, если в нижней — то меньшее. Амплитудная характеристика квантующего устройства, которое обеспечивает такое квантование, показана на рис. 6, б.

Процесс квантования по амплитуде аналогичен операции округления дробных чисел до ближайшего целого значения, которая используется в математике. Например: $7,5 = 8$, $2,1 = 2$; $84,6 = 85$ и т.п. При квантовании сигнала, как и при округлении чисел, возникают погрешности (погрешности

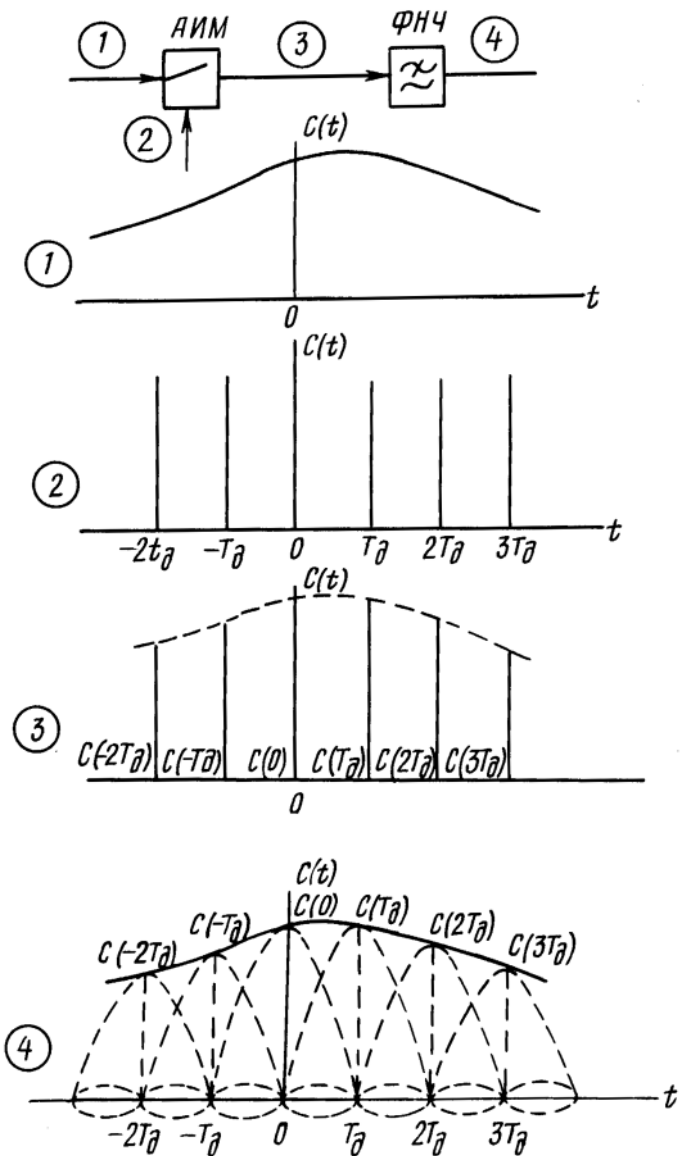


Рис. 5. Принцип формирования АИМ-сигнала и восстановления из него аналогового

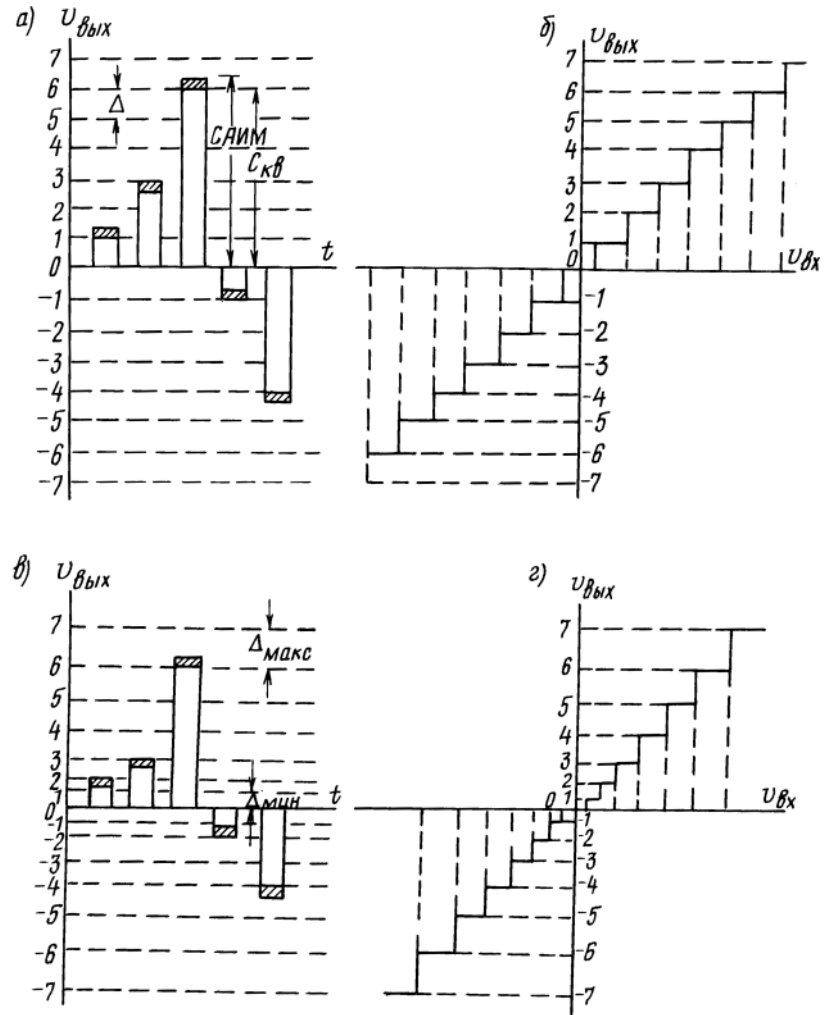


Рис. 6. Принципы квантования АИМ-сигнала:

а и б — линейного; *в и г* — нелинейного

квантования, погрешности округления). Погрешности при квантовании создают неустранимую помеху при передачах, называемую шумом квантования. Напряжение шума квантования определяется соотношением:

$$U_{\text{шкв}} = |U_{\text{АИМ}} - U_{\text{кв}}|,$$

где $U_{\text{АИМ}}$ — напряжение АИМ-сигнала;
 $U_{\text{кв}}$ — напряжение квантованного сигнала.

Значение $U_{\text{кв}}$ на графике соответствует заштрихованной части импульсов.

Очевидно величина $U_{\text{шкв}}$ будет зависеть от шага квантования Δ , а наибольшее ее значение будет при $\Delta/2$.

Средняя мощность шума квантования может быть рассчитана по формуле

$$P_{\text{шкв}} = \frac{\Delta^2}{12}.$$

Мешающее влияние шума квантования оценивается величиной, называемой защищенностью, определяемой соотношением

$$a_{\text{шкв}} = 10 \lg \frac{12P_c}{\Delta^2}.$$

Отсюда видно, что защищенность от шума квантования существенно зависит от величины Δ . Так, при увеличении ее в два раза мощность $P_{\text{шкв}}$ увеличивается в четыре раза, а защищенность $a_{\text{шкв}}$ уменьшается на 6 дБ. С другой стороны, при одном и том же значении Δ защищенность $a_{\text{шкв}}$ будет тем меньше, чем слабее сигнал. В этом состоит существенный недостаток квантования АИМ-сигнала по линейной шкале ($\Delta = \text{const}$).

Условия передачи слабых составляющих сигналов можно улучшить, если принять достаточно малый шаг квантования. Однако в этом случае шкала квантования должна содержать большое число шагов (около 2000). Это потребовало бы при кодировании сигналов использовать 10–11 разрядов в каждой кодовой группе, что в свою очередь вызовет необходимость высокого быстродействия устройств при обработке сигналов и использования широкой полосы частот для ЦСП. Поэтому в них применяется нелинейная шкала квантования, при которой шаг квантования зависит от величины кванту-

емого сигнала. При малом сигнале величина Δ небольшая, а при его увеличении соответственно увеличивается и шаг квантования.

Нелинейное квантование показано при помощи графика рис. 6, в и г. В итоге защищенность сигналов в пределах всего их динамического диапазона изменяется в допустимых пределах. Квантование по этой шкале выполняется с одно-временным сжатием динамического диапазона квантуемого сигнала. Это позволило ограничиться относительно небольшим числом разрешенных значений — 256. Из этого числа 128 значений используются для квантования положительных сигналов и 128 — для отрицательных.

Прежде чем рассмотреть шкалу квантования, применяемую в ЦСП, поясним эффект сжатия динамического диапазона (ДД) сигнала, создаваемый компрессором.

Представим себе, что амплитудная характеристика (АХ) компрессора $U_{\text{вых}} = \varphi(U_{\text{вх}})$ имеет вид, показанный на рис. 7, на котором масштабы шкал одинаковы. Она состоит из трех прямолинейных отрезков, каждый из которых имеет опреде-

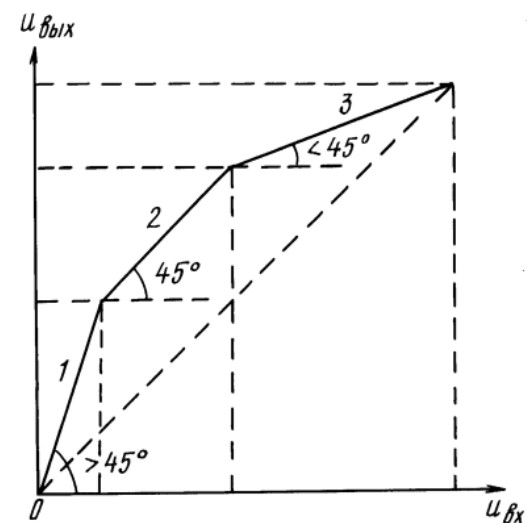


Рис. 7. Амплитудная характеристика компрессора

ленный наклон к горизонтальной оси. Из характеристик видно, что при небольших напряжениях входного сигнала (в пределах отрезка 1 с наклоном под углом, большим 45°) компрессор вносит усиление сигнала ($U_{\text{вых}} > U_{\text{вх}}$); при больших напряжениях (отрезок 3 под углом, меньшим 45°) сигнал на выходе компрессора ослабевает ($U_{\text{вых}} < U_{\text{вх}}$). При входных напряжениях в пределах средней части АХ (отрезок 2 под углом, равным 45°) напряжение сигнала остается тем же, что и на входе ($U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}}$).

Таким образом, эффект сжатия ДД сигналов в компрессоре происходит за счет увеличения амплитуды слабых и уменьшения амплитуды сильных сигналов. Средние же по величине сигналы остаются неизменными.

Аналогичный процесс сжатия ДД сигналов происходит при квантовании в ЦСП. В системе используется характеристика компрессии типа А-87,6/13, приведенная на рис. 8*. В отличие от АХ на рис. 7 она состоит из 8 отрезков — сегментов, а не из 3, чем достигается более плавное изменение шага квантования при изменении уровня АИМ-сигнала.

Кривая компрессии характеризуется соотношением

$$\frac{A}{1 + \ln A} = \frac{2^{n-1}}{n}, \text{ где } n = 8 \text{ — число сегментов кривой,}$$

$A = 87,6$ — параметр компрессии. Первые два сегмента кривой C_0 и C_1 (см. рис. 8 и рис. 9), имеют относительно горизонтальной оси одинаковый наклон и образуют совместно с двумя такими же сегментами отрицательной части характеристики компрессии общий центральный сегмент. С учетом этого вся характеристика компрессии типа А-87,6/13 имеет 13 сегментов разного наклона. В пределах каждого сегмента предусмотрено 16 одинаковых по величине шагов квантования, что указывает на линейность квантования в пределах сегментов. Минимальный шаг квантования Δ имеют сегменты C_0 и C_1 с наибольшим углом наклона. Крутизна последу-

* Вторая часть характеристики, предназначенная для квантования отрицательных значений АИМ-сигналов, на рис. 8 не показана

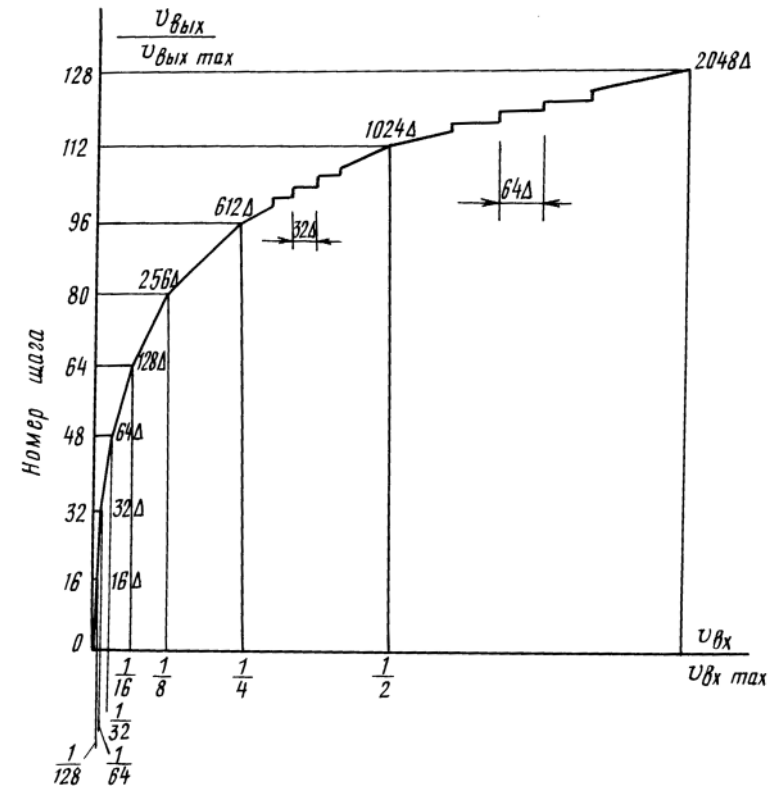


Рис. 8. Стандартная характеристика компрессии А-87,6/13 цифровой системы передачи ИКМ-30

ющих сегментов постепенно уменьшается, поэтому шаг квантования Δ возрастает от сегмента к сегменту. Для C_2 шаг квантования 2Δ , для C_3 — 4Δ , для C_4 — 8Δ , для C_5 — 16Δ , для C_7 — 64Δ . В пределах шкалы квантования шаг изменяется от Δ до 64Δ . На границах сегментов значения уровней (в условных единицах) будут составлять: 16Δ , 32Δ , 64Δ , 128Δ , 256Δ , 512Δ , 1024Δ , 2048Δ . На шкале квантования эти уровни будут соответствовать номерам шагов 16, 32, 48, 64, 80, 96, 112, 128. Квантование по описанной шкале позволяет обеспечить

защищенность от шума квантования речевого сигнала не менее, чем 25 дБ в динамическом диапазоне его 40 дБ.

Для исключения динамических искажений при передачах, вызванных сжатием ДД, на приемной стороне канала предусматривается расширение (эспандирование) ДД сигнала. Амплитудная характеристика эспандера строго обратна характеристике компрессора.

Кодирование сигнала. Кодирование квантованного по уровню сигнала C_{KB} является третьей операцией преобразования первичного сигнала в цифровой. Кодированный сигнал удобен для передачи по линейному тракту. Его можно периодически восстанавливать в процессе передачи по магистрали связи, защищать от помех и относительно просто расшифровывать при приеме.

При кодировании сигнала C_{KB} каждое из 256 его значений заменяется кодовой группой, представляющей собой определенную комбинацию из восьми двоичных символов 0 и 1. Поскольку число разрядов в каждой кодовой группе одно и то же, то для восстановления разрешенного значения сигнала при приеме нужно лишь в каждом разряде кодовой группы отличить импульс от пробела, что осуществить технически достаточно просто.

В процессе кодирования проводится:

- определение и кодирование полярности (знака) отсчета;
- поиск и кодирование номера сегмента, в пределах которого находится значение отсчета;
- поиск и кодирование уровня в пределах сегмента;

Так как отсчет может быть положительным или отрицательным, то его знак кодируется только в одном (старшем) разряде кодовой группы.

Для кодирования положительного знака используется 1, отрицательного – 0.

При кодировании сегмента (определении одного из восьми сегментов шкалы) используются три разряда кодовой группы ($8 = 2^3$). Для кодирования уровня (одного из шестнадцати уровней в сегменте) требуются четыре разряда ($16 = 2^4$).

В итоге каждый отсчет первичного сигнала кодируется при помощи 8-разрядной группы:

P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8
знак	номер сегмента			номер уровня в сегменте			
отсчета							

Отметим, что квантование и кодирование осуществляются в одном и том же устройстве – кодере.

В основе кодирования лежит принцип поразрядного (по-тактового) взвешивания или сравнения отсчетов с эталонными сигналами, вырабатываемыми в кодере. Он аналогичен принципу взвешивания на механических весах, по которому при помощи гирь (эталонов) различного веса определяют вес того или иного предмета. Операции взвешивания в кодере производятся при помощи компаратора.

Если при операции взвешивания отсчет больше эталона, то этот эталон заменяется эталоном большего веса, и в соответствующем разряде кодовой группы фиксируется единица. Если при сравнении отсчет оказался меньше эталона, то этот эталон заменяется эталоном меньшего веса, в разряде кодовой группы фиксируется ноль. В качестве эталонов приняты сигналы, имеющие 11 значений: 1024Δ , 512Δ , 256Δ , 128Δ , 64Δ , 32Δ , 16Δ , 8Δ , 4Δ , 2Δ и Δ . Таким образом, кодирование осуществляется с точностью до одного шага квантования. При декодировании используется еще один эталон – эталон коррекции $\Delta/2$.

Покажем на примере порядок кодирования отсчета сигнала, приняв его условное значение $y = 380\Delta$, где Δ — минимальный шаг квантования. Значение y положительное и поэтому при кодировании используется положительная часть шкалы. Для удобства пояснений построим отдельно шкалу сегментов и шкалу уровней в сегменте (рис. 9), показав на них номера шагов квантования и значения разрешенных уровней.

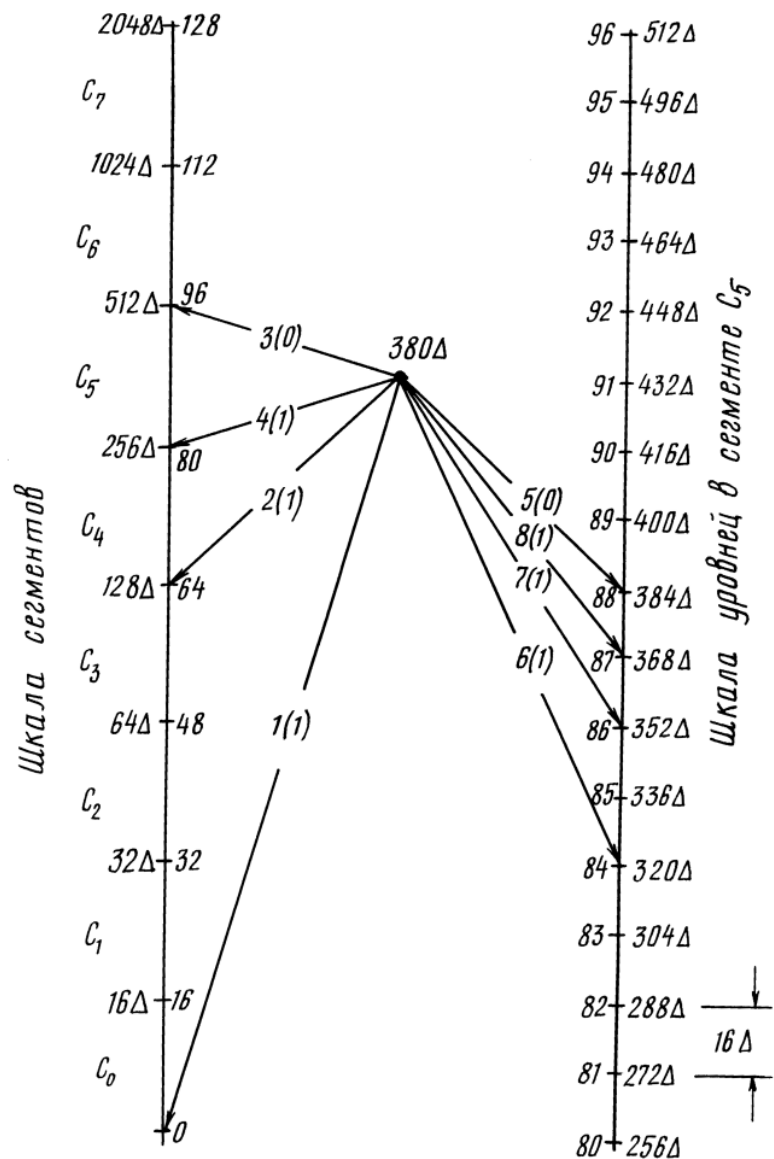


Рис. 9. График для пояснения кодирования отсчета путем потактового сравнения его значения с эталонами

Очевидно, кодируемое значение отсчета находится в пределах сегмента C_5 , а шаг квантования в нем равен 16Δ .

Производим кодирование, определяя вид двоичного символа в каждом из восьми разрядов кодовой группы.

Кодируется знак (полярность) отсчета:

1-й такт. Производится сравнение значения y с нулем. Результат сравнения: $y > 0$; в первом разряде кодовой группы фиксируется 1. Код полярности отсчета 1.

Кодируется сегмент, в пределах которого находится значение отсчета:

2-й такт. Сравнение с эталоном 128Δ на границе между сегментами C_3 и C_4 . Результат: $y > 128\Delta$; во втором разряде фиксируется 1.

3-й такт. Сравнение с эталоном 512Δ (граница между сегментами C_5 и C_6). Результат: $y < 512\Delta$; в третьем разряде фиксируется 0.

4-й такт. Сравнение с эталоном 256Δ (граница между сегментами C_4 и C_5). Результат: $y > 256\Delta$; в четвертом разряде фиксируется 1.

Кодируется значение отсчета в сегменте C_5 :

5-й такт. Сравнение с суммой эталонов $256\Delta + 126\Delta = 384\Delta$ (середина шкалы сегмента). Результат: $y < 384\Delta$; в пятом разряде фиксируется 0.

6-й такт. Сравнение с суммой эталонов $256\Delta + 64\Delta = 320\Delta$. Результат: $y > 320\Delta$; в шестом разряде фиксируется 1.

7-й такт. Сравнение с суммой $256\Delta + 64\Delta + 32\Delta = 352\Delta$. Результат: $y > 352\Delta$; в седьмом разряде фиксируется 1.

8-й такт. Сравнение с суммой $256\Delta + 64\Delta + 32\Delta + 16\Delta = 368\Delta$. Результат: $y > 368\Delta$; в восьмом разряде фиксируется 1.

На этом кодирование заканчивается; образована кодовая группа отсчета: 11010111.

В итоге можно отметить, что в процессе кодирования отсчета при каждом такте сравнения зона поиска эталона

уменьшается в два раза, благодаря чему его значение постепенно приближается к значению отсчета.

После изучения принципа формирования цифрового сигнала каждому студенту необходимо закодировать десятичное число, состоящее из трех последних цифр его шифра.

3. ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА ГРУППОВОГО ЦИФРОВОГО СИГНАЛА

Групповой цифровой сигнал системы передачи ИКМ–30с–4 содержит сигналы:

- информационные телефонные, телеграфные и другие;
- синхронизации, управления и взаимодействия АТС;
- вспомогательные различного назначения.

Весь блок этих сигналов передается за временной интервал между двумя соседними отсчетами и называется циклом передачи. Поэтому длительность и частота повторений цикла передачи равны интервалу и частоте дискретизации

$$T_{ц} = T_{д} = 125 \text{ мкс}, f_{ц} = f_{д} = 8000 \text{ Гц}.$$

Каждый цикл состоит из 32 канальных интервалов: $КИ_0, КИ_1 \dots КИ_{31}$. Из них тридцать канальных интервалов ($КИ_1 \dots КИ_{15}$ и $КИ_{17} \dots КИ_{31}$) используются для организации стандартных телефонных каналов тональной частоты, а два ($КИ_0$ и $КИ_{16}$) – для передачи сигнала сверхцикловой синхронизации (ССЦС) и сигналов управления и взаимодействия (СУВ) между АТС. Длительность канальных интервалов, мкс,

$$T_{ки} = \frac{T_{ц}}{32} = 3,91.$$

Частота повторения канальных интервалов

$$f_{ки} = \frac{1}{T_{ки}} = \frac{1}{3,91 \cdot 10^{-5}} = 2,56 \cdot 10^5 \text{ Гц} = 256 \text{ кГц}.$$

Каждый канальный интервал состоит из восьми разрядных интервалов. Их длительность и частота соответственно:

$$T_p = \frac{T_{ки}}{8} = 488 \text{ нс};$$

$$f_p = \frac{1}{T_p} = \frac{1}{488} = 2048 \text{ кГц}.$$

Первая половина каждого разрядного интервала используется для передачи символа (импульса или пробела), вторая же выполняет роль защитного интервала. Следовательно, длительность импульса или пробела цифрового сигнала составляет $0,5 T_p = 244 \text{ нс}$.

Частота передачи символов называется тактовой частотой f_t . Тактовую частоту $f_t = f_p$ можно определить через количество разрядов в кодовой группе m , частоту дискретизации f_d и число канальных интервалов N :

$$f_t = m f_d N.$$

При $m = 8, f_d = 8 \text{ кГц}$ и $N = 32$ находим $f_t = 2048 \text{ кГц}$.

Тактовая частота численно совпадает со скоростью передачи двоичных символов, выраженной в кбит/с. Она называется скоростью цифрового потока (2048 кбит/с).

Структура цифрового сигнала системы передачи показана на рис. 10.

Как видно из рисунка, каждые 16 циклов образуют сверхцикл длительностью $T_{сц} = 16 T_{ц} = 16 \cdot 125 = 2 \text{ мс}$, сверхциклы следуют друг за другом с частотой

$$f_{сц} = \frac{1}{T_{сц}} = \frac{1}{2} = 500 \text{ Гц}.$$

За каждый сверхцикл передаются сигналы СУВ последовательно в 15-ти циклах (по двум каналам ТЧ в каждом цикле).

В цикле $Ц_1$ сигналы СУВ передаются по каналам 1 и 16, в цикле $Ц_2$ – по каналам 2 и 17, в цикле $Ц_3$ – по каналам 3 и 18 и т.д. Для этого используются разряды P_1, P_2 и P_5, P_6 в канальных интервалах $КИ_{16}$.

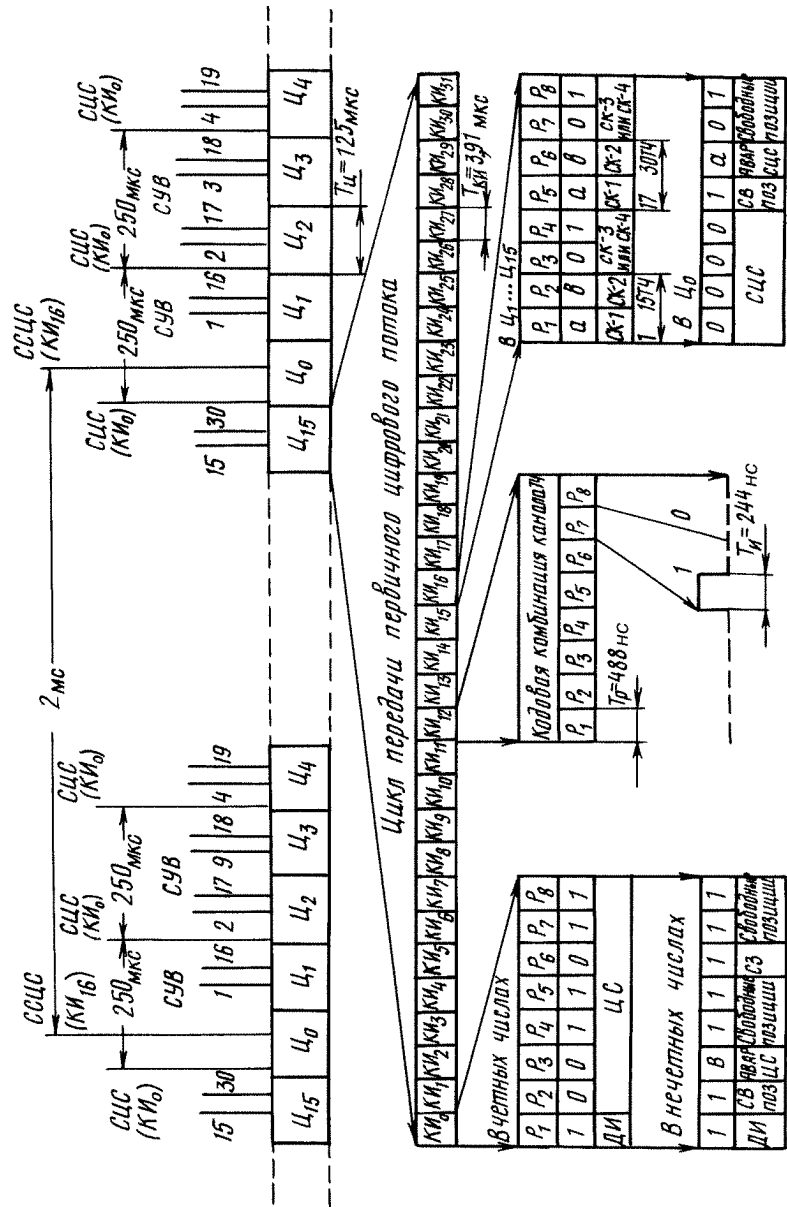


Рис. 10. Временная структура цифрового сигнала передачи ИКМ-30

Необходимая синфазность в работе приемника и передатчика ЦСП обеспечивается посредством сверхцикловой синхронизации. Сигнал ССЦС передается в начале каждого сверхцикла посредством четырехразрядной кодовой группы 0000 в канальном интервале $КИ_{16}$ цикла $Ц_0$. Для этого используются разряды $P_1 \dots P_4$.

Для обеспечения точного совмещения одноименных канальных интервалов передатчика и приемника аппаратуры ЦСП используется цикловая синхронизация. Семиразрядный сигнал цикловой синхронизации 0011011 передается в канальном интервале $КИ_0$ каждого четного цикла $Ц_0, Ц_2, Ц_4 \dots Ц_{14}$ и $Ц_{16}$. Для него отводятся разряды $P_2 \dots P_8$.

4. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА АППАРАТУРЫ

Упрощенная структурная схема оконечной станции ЦСП показана на рис. 11. Рассмотрим работу станции и назначение ее отдельных узлов.

Первичный (телефонный) сигнал от абонента через дифференциальную систему ДС, ограничитель амплитуд (на схеме не показан) поступает на вход фильтра нижних частот ФНЧ. При помощи этого фильтра спектр частот телефонного сигнала ограничивается сверху частотой 3,4 кГц. Далее этот сигнал поступает на индивидуальный модулятор АИМ-1, представляющий собой электронный ключ Кл. Работой ключа управляет канальная импульсная последовательность, подаваемая от генераторного оборудования передачи $ГО_{пер}$. Импульсные последовательности каналов сдвинуты по времени друг относительно друга на величину канального интервала (рис. 11).

Выходы электронных ключей всех каналов запараллелены и включены в общий групповой такт системы. Образовавшийся в нем групповой АИМ-I — сигнал поступает на групповой модулятор АИМ-II, при помощи которого верхушки импульсов сигнала делаются плоскими и горизонтальными. Кроме того, увеличивается ширина импульсов.

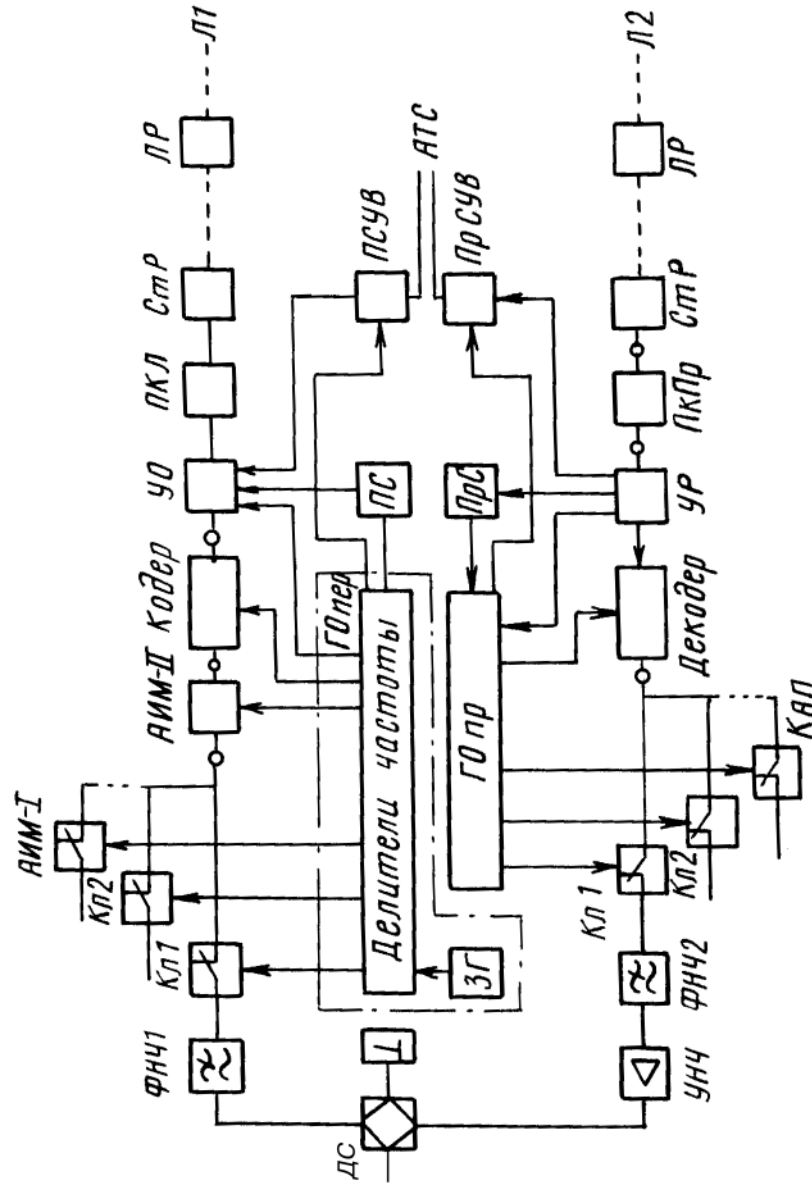


Рис. 11. Структурная схема оконечной станции передачи ИКМ-30

В аппаратуре ЦСП модулятор АИМ-II входит в состав кодера. Затем в кодере производится квантование и кодирование каждого импульса АИМ-II-сигнала. Одновременно с этим осуществляется сжатие динамического диапазона сигнала в соответствии с описанной выше характеристикой компрессии.

На выходе кодера возникает групповой цифровой АИМ-сигнал. Он представляет собой последовательность восьмиразрядных кодовых групп, состоящих из импульсов и пробелов. В этот сигнал через устройства объединения УО вводятся сигналы СУВ цикловой и сверхцикловой синхронизации.

Цифровые сигналы СУВ формируются в передатчике ПСУВ из сигналов управления и взаимодействия, поступающих от АТС. Сигналы цифровой синхронизации образуются в передатчике синхросигналов ПС. На выходе устройства УО возникает групповой однополярный сигнал. Передавать в линию однополярный сигнал нецелесообразно по ряду причин, например из-за невозможности включения в нее трансформаторов. Поэтому однополярный сигнал предварительно преобразуется в биполярный с чередованием полярности импульсов (код ЧПИ).

Преобразование однополярного сигнала в биполярный производится в преобразователе кода передачи ПКП. Полученный биполярный сигнал поступает в станционный регенератор СтР, в котором приводятся в норму все его характеристики, и передается в линию.

В процессе распространения по линии цифровой сигнал искажается (меняются амплитуда и ширина, форма и временное положение импульсов). Для восстановления его характеристик служат линейные регенераторы ЛР.

Управление работой всех узлов передающей части аппаратуры осуществляется посредством импульсных последовательностей, вырабатываемых в генераторном оборудовании передачи ГОпер.

На приемной станции после регенерации в станционном регенераторе СтР цифровой сигнал подвергается обратным относительно передающей станции преобразованиям.

В преобразователе кода приема ПКпр сигнал преобразуется из биполярного в однополярный и поступает в устройство разделения УР. В нем различные по назначению сигналы распределяются по своим цепям. Телефонные сигналы поступают в декодер, синхросигналы — в приемник синхросигналов ПрС, а сигналы управления и взаимодействия — в приемник ПрСУВ.

Равенство скоростей обработки сигналов на приемной и передающей станциях поддерживается при помощи сигнала тактовой частоты. Сигналы тактовой частоты выделяются из цифрового потока, поступающего на приемную станцию, и подаются в генераторное оборудование приема ГОпр, обеспечивая его синхронную работу относительно ГОпер; своего задающего генератора ГОпр не имеет.

Правильное распределение сигналов (синфазность) по телефонным каналам и каналам СУВ обеспечивается посредством синхросигналов в цикловой и сверхцикловой синхронизации.

Телефонный цифровой сигнал поступает в декодер, в котором последовательность кодовых групп преобразуется в последовательность импульсов (отсчетов); восстанавливаются групповой АИМ–II–сигнал, а также его динамический диапазон. С выхода АИМ–II–сигнал подается на общий вход канальных временных селекторов, при помощи которых из него выделяются импульсы — отсчеты канальных сигналов. Из последовательности импульсов, поступающих на фильтр нижних частот ФНЧ₂ канала, в нем восстанавливается первичный (телефонный) сигнал. Последний усиливается усилителем нижних частот УНЧ и, пройдя через дифференциальную систему ДС, поступает к абоненту.

Сигналы СУВ из цифрового сигнала поступают в приемник ПрСУВ, где они преобразуются, а затем передаются на АТС.

Кодер и декодер. В кодере отсчеты передаваемого сигнала преобразуются в соответствующие двоичные кодовые группы.

В изучаемой аппаратуре используются кодеры взвешивающего типа. Принцип кодирования по способу взвешивания (сравнения) подробно описан выше.

Упрощенная структурная схема нелинейного кодера взвешивающего типа представлена на рис. 12, а. На ней показаны основные узлы кодера:

- компаратор K , определяющий знак разности между значениями токов отсчетов J и эталонов $J_{эт}$;

- блок выбора и коммутации эталонных токов в БКЭ;

- компрессирующая логика КЛ (цифровой эспандер), обеспечивающая неравномерное квантование АИМ–сигнала;

- генераторы положительных и отрицательных эталонных токов ГЭТ₁ и ГЭТ₂, формирующие полярность и величину эталонов (число эталонов, вырабатываемых каждым из генераторов, равно 11, их значения равны $\Delta, 2\Delta, 4\Delta, \dots, 1024\Delta$ условных единиц);

- цифровой регистр ЦР, используемый для записи решений компаратора после каждого такта кодирования и формирующий структуры кодовой группы (в зависимости от решения компаратор выбирает полярность ГЭТ и управляет работой компенсирующей логики);

- преобразователь кода ПК, посредством которого считывается состояние выходов $1 \dots 8$ ЦР, и параллельный код преобразуется в последовательный.

Поясним кратко взаимодействие узлов кодера при формировании кодовой группы.

В исходном положении, то есть когда нет отсчета на входе компаратора, все выходы ЦР находятся в состоянии 0, эталонные токи равны нулю. При поступлении на вход 1 компаратора положительного отсчета первый выход ЦР переводится в состояние 1, благодаря чему включается ГЭТ₁. При этом ток эталона на входе 2 компаратора будет равен нулю. Поскольку $J > J_{эт}$, то на выходе 3 компаратора формируется 0

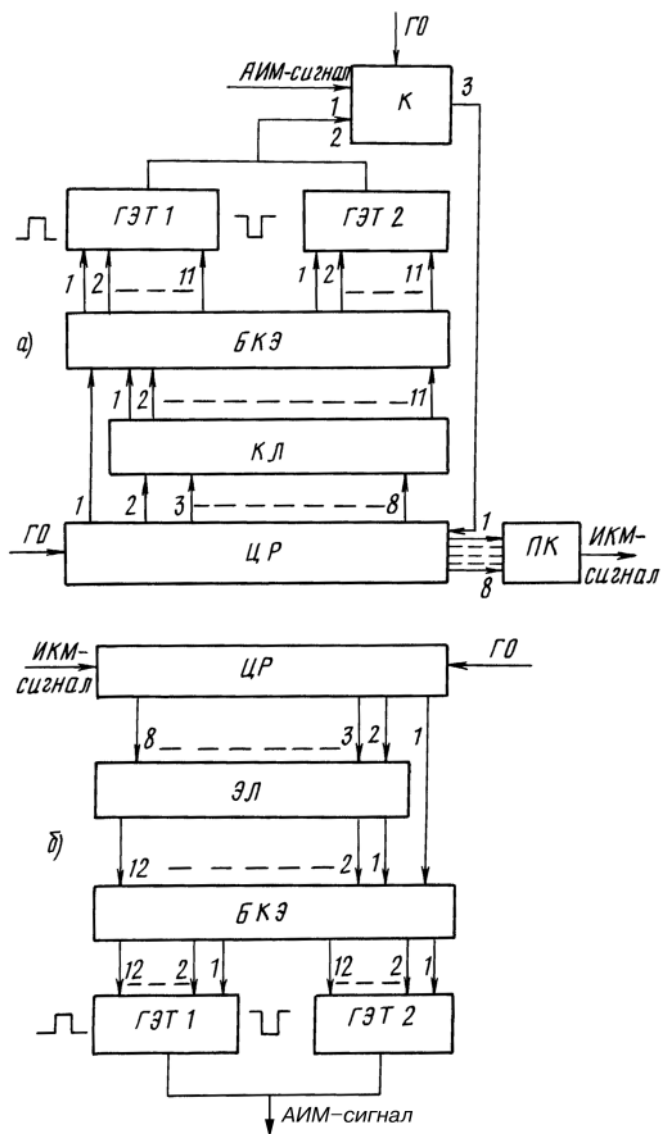


Рис. 12. Структурные схемы:
 а — кодера; б — декодера

(пробел) и состояние 1 на выходе 1 ЦР сохраняется. На этом заканчивается первый этап кодирования.

На втором этапе определяется и кодируется номер сегмента, в пределах которого и находится значение поступившего отсчета. Этот этап включает в себя три такта и начинается с того, что выход 2 ЦР переводится в состояние 1, а на вход 2 компаратора поступает эталонный ток $J_{эт} = 128\Delta$ условных единиц.

При $J > J_{эт}$ на выходе компаратора возникает 0, и состояние 1 на выходе 2 ЦР сохраняется.

При $J < J_{эт}$ на выходе компаратора возникает 1, а состояние 1 на выходе 2 ЦР переходит в состояние 0.

Аналогичным образом кодер работает и при последующих тактах второго этапа кодирования, а также при четырех тактах третьего этапа, когда определяется и кодируется номер уровня отсчета в пределах сегмента. По мере завершения тактов кодирования преобразователь кода считывает состояния 1 ... 8 выходов ЦР, преобразуя параллельный код в последовательный, и в итоге на выходе кодера возникает кодовая группа данного отсчета.

Отсчет передаваемого сигнала восстанавливается из кодовой группы при помощи декодера. Упрощенная структурная схема декодера показана на рис. 12, б. Это нелинейный декодер взвешивающего типа с цифровым эспандированием эталонов. В состав декодера входят цифровой регистр ЦР, блок экспандирующей логики ЭЛ, блок выбора и коммутации эталонных токов БКЭ и генераторы эталонных токов положительной и отрицательной полярностей ГЭТ₁ и ГЭТ₂.

Восьмиразрядная кодовая группа ИКМ-сигнала, поступившая на вход декодера, записывается в ЦР, формируясь на его выходах 1 ... 8 в виде параллельного кода. Первый разряд этой группы определяет полярность включаемого ГЭТ. Последующие 2 ... 8 разряды определяют номер сегмента и уровень квантования на характеристике эспандирования.

В соответствии с принятой кодовой группой включаются эталоны (табл. 1), используемые при кодировании и деко-

дировании отсчетов. Появление соответствующего эталона вызывается каждой единицей в разряде. Суммарный ток, образованный всеми эталонами, определяет значение отчета декодированного сигнала.

Для уменьшения искажений при декодировании используется еще двенадцатый корректирующий эталон, равный половине шага квантования в сегменте.

Используя табл. 1, можно определить значения отсчета по кодовой комбинации. Например, кодовая комбинация отсчета 11001001. Из нее видно, что отсчет должен быть положительным.

Таблица 1

Сегмент	Код сегмента	Шаг квантования в сегменте	Эталонные сигналы, усл. ед.					
			На границе сегмента	Дополнительные				Коррекции
C ₇	111	64Δ	1024Δ	512Δ	256Δ	128Δ	64Δ	32Δ
C ₆	110	32Δ	512Δ	256Δ	128Δ	64Δ	32Δ	16Δ
C ₅	101	16Δ	256Δ	128Δ	64Δ	32Δ	16Δ	8Δ
C ₄	100	8Δ	128Δ	64Δ	32Δ	16Δ	8Δ	4Δ
C ₃	011	4Δ	64Δ	32Δ	16Δ	8Δ	4Δ	2Δ
C ₂	010	2Δ	32Δ	16Δ	8Δ	4Δ	2Δ	1Δ
C ₁	001	1Δ	16Δ	8Δ	4Δ	2Δ	1Δ	0,5Δ
C ₀	000	1Δ	—	8Δ	4Δ	2Δ	1Δ	0,5Δ

По табл. 1 определяем, что кодовую группу 100 имеет сегмент C₄. Значение основного эталона этого сегмента 128Δ. Далее определим дополнительные эталоны, соответствующие кодовой группе 1001: 54Δ и 8Δ. Учитывая эталон коррекции 4Δ, получаем значение отсчета заданной группы 128Δ + 64Δ + 8Δ + 4Δ = 204Δ.

Аналогичным образом определим отсчет, имеющий кодовую группу 01101101. Поскольку в разряде P₁ этой кодовой группы стоит 0, то отсчет будет отрицательный. Значение отсчета будет определяться суммой — (512Δ + 256Δ + 128Δ + 32Δ + 16Δ) = -1234Δ.

Таким образом, процесс декодирования любого отсчета сводится к суммированию эталонов в разрядах кодовой группы, содержащих единицы.

В заключение каждому студенту рекомендуется определить значения для трех-четырёх отсчетов, выбрав для них восьмиразрядные кодовые группы произвольно.

Генераторное оборудование. Генераторное оборудование (рис. 13) в аппаратуре ЦСП служит для формирования последовательностей импульсов, необходимых для управления работой функциональных узлов аппаратуры. Они определяют порядок и скорость обработки сигналов в каналах и групповых трактах системы передачи. Генераторное оборудование содержит задающий генератор тактовой частоты (на передающей станции) или выделитель тактовой частоты (на приемной станции), формирователь тактовой последовательности импульсов, распределители — разрядный, каналный и цикловый.

Задающий генератор вырабатывает высокостабильный гармонический сигнал тактовой частоты f_T , который затем

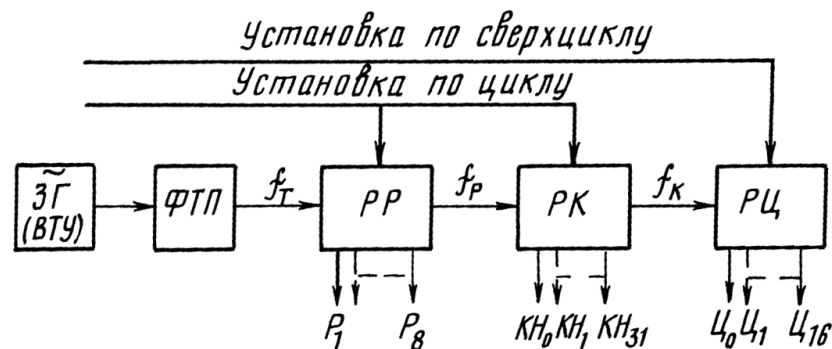


Рис. 13. Структурная схема генераторного оборудования

при помощи формирователя ФТП преобразуется в основную импульсную последовательность тактовой частоты 2048 кГц со скважностью, равной 2. Далее при помощи деления частоты из нее формируются все необходимые для работы аппаратуры последовательности импульсов.

Сначала сигнал тактовой частоты поступает на распределитель разрядный РР, где формируются последовательности импульсов для каждого из восьми разрядов кодовой группы. Частота чередования импульсов в каждой из этих последовательностей составляет

$$f_p = \frac{f_T}{8} = \frac{2048}{8} = 256 \text{ кГц.}$$

Распределитель каналный РК (рис. 13) формирует 32 канальные последовательности импульсов с интервалом, равным каналному интервалу. Частота следования импульсов каждого из них будет

$$f_k = \frac{256}{32} = 8 \text{ кГц.}$$

Импульсы этих последовательностей управляют ключами, формирующими канальные АИМ-сигналы при передаче и выделяющими их при приеме.

При помощи распределителя циклового РЦ формируются 16 цикловых последовательностей с интервалом, равным периоду повторения циклов. Частота следования каждого цикла

$$f_{ц} = \frac{f_k}{16} = 0,5 \text{ кГц.}$$

Импульсы цикловой последовательности требуются для управления работой согласующих устройств и правильного распределения по каналам сигналов СУВ.

На приемной станции задающего генератора нет. Сигнал тактовой частоты выделяется непосредственно из поступающего на станцию цифрового сигнала при помощи выделителя тактовой частоты ВТЧ.

Для подстройки ГО приемной станции по циклам и сверхциклам используются сигналы «Установка по циклу» (УЦ), «Установка по сверхциклу» (УСЦ). По сигналу УЦ работа распределителя РР начинается с первого канального интервала KI_0 . По сигналу УСЦ распределитель РЦ начинает работать с первого цикла $Ц_0$.

Регенератор. Большим достоинством цифровой системы передачи является ее способность регенерировать (восстанавливать) сигнал в процессе его передачи по линии связи. Восстановление цифрового сигнала осуществляется при помощи регенераторов, включаемых в линию через определенные интервалы.

При передаче по линии цифровой сигнал искажается, изменяются его параметры. Это происходит вследствие особенностей электрических характеристик линии связи и наличия в ней помех. Изменяются форма, амплитуда и ширина импульсов, фазовое положение их друг относительно друга.

Так, за счет неравномерности амплитудно-частотной характеристики такта передачи возникают так называемые искажения импульсов I и II рода. Искажения I рода (рис.14, а) создаются за счет ограничения полосы частот передачи сверху, а искажения II рода (рис. 14, б) — за счет ограничения полосы частот снизу. В том и другом случаях происходит затягивание фронтов импульсов подобно тому, как это бывает в интегрирующей и дифференцирующей цепочках. Образовавшиеся при этом выбросы положительной и отрицательной полярностей перекрывают символы соседних разрядов, создавая межсимвольные помехи. При особо неблагоприятных условиях в этих разрядах пробелы могут перейти в импульсы, а импульсы — в пробелы, что приведет к ошибкам при передачах.

Простейшим видом линейного цифрового сигнала является однополярный сигнал. Однако он имеет существенные недостатки. В спектре его частот содержится постоянная составляющая, которая не проходит через трансформаторы. Кроме того, составляющие спектра с повышенной амплиту-

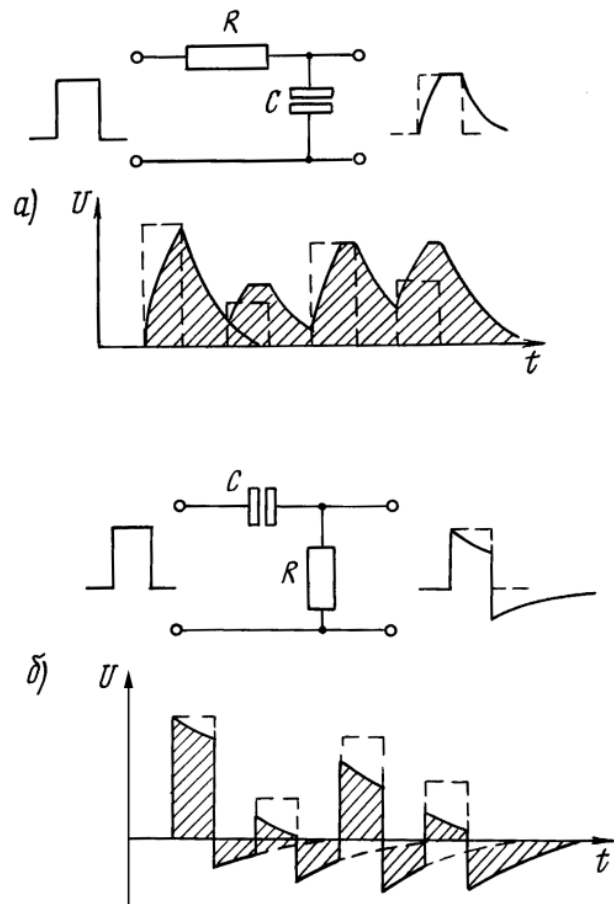


Рис. 14. Искажение формы прямоугольных импульсов при ограничении частотной полосы передачи:

a — сверху; *б* — снизу

дой группируются около тактовой частоты (f_T), т.е. в верхней части спектра частот цифрового сигнала что нежелательно, так как линия связи на этих частотах имеет наибольшее затухание.

Наиболее удобным для передачи по линии связи является двуполярный (трехуровневый) цифровой сигнал. На его основе могут быть образованы различные квазитроичные коды с символами +1; 0; -1. К числу их относится линейный код с чередованием полярностей импульсов ЧПИ. В таком коде полярность первого импульса устанавливается произвольно, а последующих — чередуется независимо от наличия пробелов (нулей) между ними. Такой сигнал имеет существенные преимущества перед однополярным. Он не содержит постоянной составляющей и основная энергия его сосредоточена около полутактовой частоты ($0,5 f_T$). Это позволяет уменьшить межсимвольные помехи в ЦСП и переходные шумы между параллельными цепями и в итоге — увеличить длину регенерационного участка. Существует и модифицированный квазитроичный код МЧПИ (КВП).

Процесс регенерации цифрового сигнала включает в себя следующие операции:

- усиление и корректирование поступающих с линии импульсов;
- выделение из цифрового сигнала тактовой частоты и формирование стробирующих импульсов;
- стробирование откорректированной импульсной последовательности;
- сравнение напряжения стробированных импульсов сигнала с пороговым напряжением;
- формирование цифрового сигнала с номинальными параметрами.

Все эти операции осуществляются в регенераторе, структурная схема и временные диаграммы которого показаны на рис. 15.

Рассмотрим кратко порядок работы регенератора. С выхода оконечной станции в линию поступает цифровой сигнал {1}, представляющий поток импульсов и пробелов, параметры которых удовлетворяют всем необходимым требованиям. Проходя линию связи на регенерационном участке, этот сигнал искажается и вместе с линейными помехами поступает

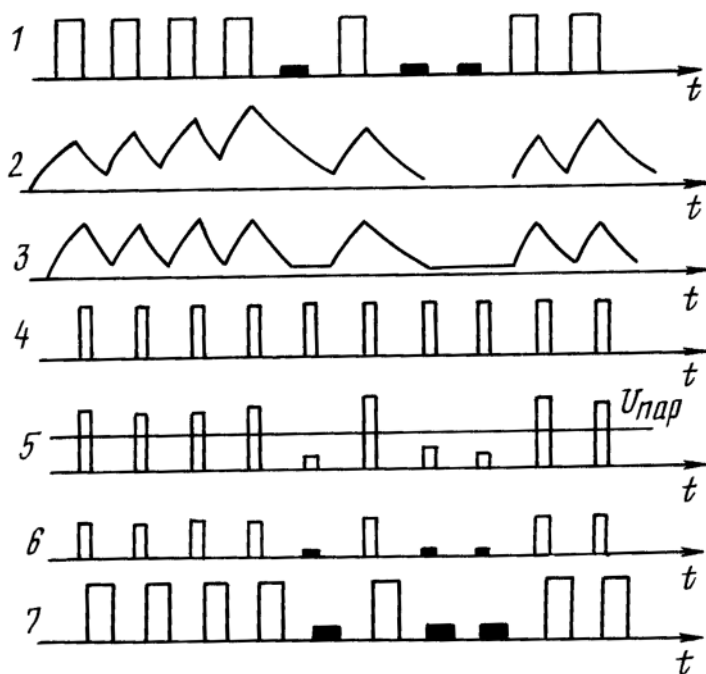
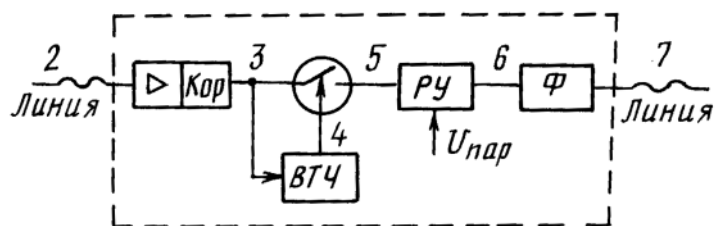


Рис. 15. Структурная схема:

a — регенератора цифрового сигнала; *б* — его временные диаграммы

на вход регенератора (2). Посредством усилителя-корректора в регенераторе он частично исправляется (3) и поступает на электронный ключ (амплитудно-импульсный модулятор).

При помощи ВТЧ из этого сигнала выделяется ток тактовой частоты и из него формируется последовательность узких стробирующих импульсов (4). В АИМ происходит стробирование (квантование по времени) частично исправленного сигнала. На выходе АИМ возникает стробированный сигнал (5). Этот сигнал (его импульсы имеют различную высоту за счет помех) поступает в решающее устройство (РУ). В нем каждый из импульсов сравнивается с пороговым напряжением $U_{пор}$, в результате чего фиксируется наличие или отсутствие его в сигнале.

Если амплитуда стробированного импульса оказывается больше $U_{пор}$, то на выходе ПУ фиксируется импульс (1), если меньше, то — отсутствие импульса (0). Очевидно, помехи в сигнале (6) будут уже отсутствовать. После этого «очищенный» от помех сигнал поступает в формирующее устройство (Ф), где он принимает свой первоначальный вид и все требуемые параметры.

Регенерация двуполярного сигнала осуществляется путем отдельного восстановления положительных и отрицательных импульсов, после чего они объединяются, образуя единый поток двуполярных импульсов.

5. ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАНАЛОВ И ПРОВЕРКА ИХ РАБОТЫ

В этой части лабораторной работы студенты проводят измерения некоторых характеристик заданного преподавателем канала и проверку его работы.

Проверка работы канала ТЧ проводится в процессе ведения переговоров по каналу. Для этого один из студентов располагается у одной стойки, второй — у другой стойки. Включив в каналы переговорные устройства, расположенные на стойках, студенты ведут переговоры между собой и убеждаются в том, что канал находится в рабочем состоянии. После этого переходят к измерению характеристик канала.

К числу измеряемых характеристик канала относятся: остаточное затухание, амплитудно-частотная и амплитудная характеристики, защищенность от шума квантования, шум незанятого канала и внятные переходные влияния.

Измерения всех характеристик заданного канала ТЧ необходимо выполнить для обоих направлений передачи.

Измерение остаточного затухания (ОЗ) — разности между суммой всех усилений и суммой затуханий в канале — проводится на частоте 1020 Гц по схеме, показанной на рис.16, а. Для этого следует:

- собрать схему;
- установить на выходе звукового генератора ГЗ уровень сигнала p_1 , равный 0 дБ на частоте 1020 Гц;
- измерить уровень сигнала p_2 на выходе канала и определить остаточное затухание

$$a_0 = p_1 - p_2,$$

где p_1 и p_2 — уровни сигнала, соответственно на входе и выходе канала, измеренные вольтметрами V_1 и V_2 .

Величина ОЗ зависит от того, между какими токами тракта канала она измеряется, и должна составлять 7 или 3,5 дБ с допустимыми отклонениями от этих значений $\pm 0,5$ дБ.

Измерение амплитудно-частотной характеристики (АЧХ). Под АЧХ канала понимается отклонение остаточного затухания Δa_0 на измеряемых частотах от остаточного затухания a_0 на частоте 1020 Гц

$$\Delta a_0 = p_1 - p_2 - a_0.$$

Измерение АЧХ следует проделать на частотах, указанных в табл. 2 по схеме рис. 16, а. При измерениях уровень сигнала на входе p_1 канала для каждой измеряемой частоты устанавливается равным 0 дБ. Уровень сигнала на выходе канала p_2 вносят в табл. 2 и определяют значения a_0 на всех частотах.

По данным табл. 2 построить графики АЧХ канала для обоих направлений передачи и установить соответствие АЧХ данного канала принятым нормам на частотах, кГц:

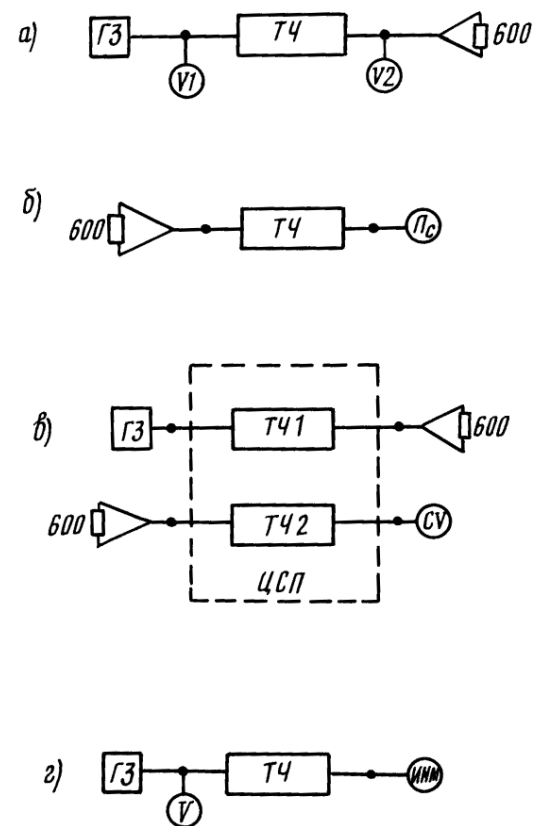


Рис. 16. Схемы измерения характеристик каналов ТЧ

0,3 . . . 0,6	$\Delta a_0 = +0,5 . . . - 0,5$ дБ;
0,6 . . . 2,4	$\Delta a_0 = +0,5 . . . - 0,5$ дБ;
2,4 . . . 3,0	$\Delta a_0 = +0,7 . . . - 0,5$ дБ;
3,0 . . . 3,4	$\Delta a_0 = +1,4 . . . - 0,5$ дБ.

Измерение амплитудной характеристики (АХ). Под АХ понимается приращение остаточного затухания сигнала при изменении его уровня на входе в канал относительно его остаточного затухания при $p_1 = -10$ дБ. Схема измерения АХ остается прежней. Измерение АХ вы-

Таблица 2

Канал ТЧ №

Направление передачи	Измеряемая величина, дБ	Частота, кГц									
		0,3	0,4	0,6	1,0	1,4	2,4	2,8	3,0	3,4	
1	p_2										
	Δa_0										
2	p_2										
	Δa_0										

полняют на частоте 1020 Гц при входных уровнях, указанных в табл. 3. Полученные значения уровней сигнала p_2 вносят в таблицу и определяют значения a_0 и Δa_0 (значение Δa_0 определяется относительно a_0 , полученного при $p_1 = -10$ дБ). После этого необходимо построить графики АЧХ канала для обоих направлений передачи и сравнить их с номинальной АЧХ при p_1 , дБ;

-55 . . . -50	$\Delta a_0 = +3,0 \dots -3,0$ дБ;
-5 . . . -37	$\Delta a_0 = +1,0 \dots -1,0$ дБ;
-37 . . . +3,0	$\Delta a_0 = +0,5 \dots -0,5$ дБ;
+3,0 . . . +5,0	$\Delta a_0 = +2,0 \dots -0,5$ дБ.

Измерение шума незанятого канала (ШНК) проводится при помощи псофометра в отсутствии сигнала по остальным каналам системы передачи. При измерениях вход канала нагружается на сопротивление 600 Ом, а к выходу канала включается псофометр Пс с входным сопротивлением 600 Ом рис. 16, б. Псофометрический уровень ШНК будет составлять, дБ,

$$p_{\text{шнк}} = 20 \lg \frac{V_{\text{ш}}}{0,75},$$

где $v_{\text{ш}}$ — напряжение, измеренное при помощи псофометра.

Таблица 3

Канал ТЧ №

Направление передачи	Измеряемая величина, дБ	p_1 , дБ									
		55	50	45	37	20	10	3	4	5	
1	p_2										
	a_0										
	Δa_0										
2	p_2										
	a_0										
	Δa_0										

Значение $p_{\text{шнк}}$ не должно превышать $-68,5$ дБ.

Измерение внятных переходных влияний (ВПВ) проводится в двух каналах, предшествующих влияющему, и в двух каналах, следующих непосредственно за влияющим. Измерение ВПВ проводится по схеме рис. 16, в. На нем показаны два канала – влияющий ТЧ₁ и подверженный влиянию ТЧ₂.

К входу канала ТЧ₁ включается генератор ГЗ, к выходу – сопротивление 600 Ом.

К входу канала ТЧ₂ включается сопротивление 600 Ом, к выходу – селективный вольтметр СВ.

На выходе генератора необходимо установить уровень $-3,5$ дБ на частоте 1020 Гц. После этого на измеряемой частоте зафиксировать уровень переходной помехи $p_{\text{впв}}$ по вольтметру СВ в двух каналах K_{n-1} и K_{n-2} , предшествующих влияющему K_n и двух следующих за ним каналах K_{n+1} и K_{n+2} . Полученные значения уровней помех внести в табл. 4.

Измеренные в каналах уровни $p_{\text{впв}}$ не должны превышать значений $-66,5$ дБ, что соответствует защищенности от переходной помехи не менее 65 дБ.

Измерение защищенности от шумов квантования (ШКВ). Шум квантования, как и шум нелинейного про-

Таблица 4

Канал ТЧ №

Направление передачи	Уровень $p_{\text{впв}}$ на выходе канале, дБ			
	K_{n+1}	K_{n+2}	K_{n-1}	K_{n-2}
1				
2				

исхождения, возникает в канале при передаче сигнала. Поэтому для определения защищенности от шума квантования необходимо отделить полезный сигнал от шума квантования и измерить их отдельно. Измерение защищенности $a_{\text{шкв}}$ проводится при помощи специального прибора—измерителя шумов квантования (ИШК) или измерителя нелинейных искажений (ИНИ). При использовании ИНИ измерения проводятся по схеме, показанной на рис. 16, з. На этой схеме на вход канала включается звуковой генератор ГЗ, на котором устанавливается сигнал частотой 1020 Гц. Уровень сигнала p_1 при каждом измерении устанавливается в соответствии с табл. 5. К выходу канала включается ИНИ, при помощи которого измеряется коэффициент, нелинейных искажений для каждого значения уровня сигнала на входе канала. По полученным значениям k определяется защищенность, дБ,

$$a_{\text{шкв}} = 201g \frac{1}{k}.$$

Данные измерений и расчетов необходимо внести в табл. 5.

Полученные значения $a_{\text{шкв}}$ сравнить с минимально допустимыми, дБ: 12,6; 22,66; 27,6; 34,1; 26,3.

Таблица 5

Канал ТЧ №

Направление передачи	Измеряемая величина	p_1 , дБ				
		-58,5	-48,5	-43,5	-13,5	-6,5
1	k					
	$a_{\text{шкв}}$, дБ					
2	k					
	$a_{\text{шкв}}$, дБ					

Содержание отчета

В отчет к лабораторной работе должны входить:

- основные технические данные изучаемой аппаратуры ИКМ-30с-4;
- структурная схема оконечной станции с краткими пояснениями назначения основных узлов;
- пояснение выполненного кодирования заданного отсчета;
- результаты измерения характеристик канала ТЧ и выводы по ним.

Контрольные вопросы

1. Какую иерархию систем передачи образуют существующие ЦСП и в чем их особенности?
2. Каковы перспективы применения ЦСП и развития сетей цифровой связи на железнодорожном транспорте?
3. В чем состоит сущность и практическое значение теоремы Котельникова?
4. Как формируется цифровой сигнал на основе импульсно-кодовой модуляции?
5. Для чего требуется дискретизация первичных сигналов и как она осуществляется?
6. Для какой цели квантуются сигналы по уровню и какие существуют виды квантования?

7. Что такое сжатие динамического диапазона сигналов и какую амплитудную характеристику должен иметь сжиматель, чтобы оно происходило?
8. Что такое межсимвольные помехи и чем они вызваны?
9. Что представляет собой временной спектр системы ИКМ–30с–4 и какие основные элементы в него входят?
10. Для чего применяется кодирование сигналов в ЦСП и каким способом оно производится?
11. Для какой цели в передающей и приемный тракты каналов ТЧ включаются фильтры нижних частот?
12. Какие требования предъявляются к линейному цифровому сигналу?
13. Какие виды синхронизации применяются в ЦСП и как она осуществляется?
14. Какими основными параметрами характеризуются цифровые системы передачи?
15. Что собой представляет характеристика компандирования А–87,6/13, в чем ее назначение?
16. Как устроен регенератор и какие основные операции в нем производятся?
17. Сколько двоичных символов содержит кодовая группа цифрового сигнала и какую роль они выполняют?
18. Чем и как обеспечивается высокая помехозащищенность цифрового сигнала?
19. В чем состоят основные особенности, достоинства и недостатки цифровых и аналоговых систем передачи?
20. Какими характеристиками оценивается качество передачи по каналам ТЧ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Целью выполнения лабораторной работы является изучение двуполосной двупроводной аналоговой системы передачи. Объект изучения — двенадцатиканальная кабельная система типа К–12+12.

При выполнении работы студент должен изучить особенность группообразования каналов и формирования спектров частот в системе, структуру и схему оконечной станции, устройство отдельных узлов, конструктивное выполнение аппаратуры. Затем — проверить ее работоспособность и сделать измерения основных характеристик одного канала тональной частоты.

1. НАЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ АППАРАТУРЫ

Система передачи К–12+12 предназначена для организации телефонной связи ведомственного характера. Она является однокабельной двуполосной и работает на симмет-

ричном кабеле, обеспечивая получение 12 стандартных каналов тональной частоты, каждый из которых работает в спектре частот 300...3400 Гц.

Система позволяет выделить параллельно из двенадцати три или шесть каналов на обслуживаемых усилительных пунктах (ОУП). Выделяемые каналы могут использоваться только для связи с одной стороны магистрали (в направлении А или в направлении Б). Канал служебной связи выделяется на всех станциях (как оконечных, так и усилительных). Он предназначен для ведения переговоров между обслуживающим персоналом магистрали связи. Служебный канал может быть использован также как резерв для организации постанционной связи на кабельной магистрали. Первый канал системы предназначен для организации диспетчерской связи со всеми усилительными станциями.

Телефонные каналы могут быть уплотнены аппаратурой тонального телеграфирования, фототелеграфирования и передачи данных. В системе предусмотрена возможность организации канала звукового вещания шириной 12 кГц вместо одной 3-канальной группы.

Система работает по кабелям типов МКС, МКПАБ, ЗКП (ЗКВ), КСПП (КСППБ), ТЗПА. Максимальная дальность связи, обеспечиваемая аппаратурой К-12+12, составляет 1500 км; длина переприемного участка магистрали — 840 км. Номинальная длина усилительного участка для различных типов кабелей может составлять 14...24 км. Номинальное остаточное затухание канала ТЧ при двупроводных окончаниях равно 7 дБ на частоте 800 Гц. Для диспетчерского канала допускается его увеличение до 12,2 дБ.

Система содержит термоэлектрическую плосконаклонную одночастотную автоматическую регулировку уровня (АРУ). Самостоятельные АРУ предусмотрены как в линейной части тракта, так и в пределах трактов первичной группы каналов. В необслуживаемых усилительных пунктах (НУП) использована грунтовая АРУ. Входное сопротивление канала со стороны двупроводных и четырехпроводных его окончаний равно 600 Ом, а входное сопротивление аппаратуры со стороны кабельной линии — 180 или 125 Ом в зависимости от типа кабеля.

Электропитание ОП и ОУП осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В при его колебаниях от +10 до -15% или от источника постоянного тока напряжением 24 В ± 10%. Электропитание необслуживаемых станций дистанционное. Число таких станций в секции ДП зависит от системы ДП. При системе «провод-провод» их 4-5, при системе «провод-земля» — 8 ÷ 10. Ток дистанционного питания 120 мА, наибольшее напряжение 475 В. Система К-12+12 оборудована устройствами телесигнализации (ТС) и телеконтроля (ТК).

Аппаратура системы передачи выполнена на транзисторах и интегральных микросхемах.

Оборудование оконечных и обслуживаемых промежуточных станций размещается на стандартных стойках с габаритами 2600×600×225 мм. На одной стойке размещается оборудование двух оконечных или промежуточных станций, вводное оборудование и устройства передачи ДП. Оборудование НУП на две системы смонтировано в цилиндрическом контейнере диаметром 530 мм, высотой 1330 мм. Особенностью НУП является использование в нем одного усилителя одно-стороннего действия для встречных направлений передачи каждой системы.

В аппаратуре использован блочный принцип построения узлов. Они смонтированы в отдельных съемных блоках. Каждый блок крепится к стойке посредством контактной колодки и направляющих с лицевой стороны стойки.

2. ФОРМИРОВАНИЕ СПЕКТРОВ ЧАСТОТ В СИСТЕМЕ ПЕРЕДАЧИ

В системе К-12+12 как и в других аналогичных системах передачи применен групповой принцип каналообразования и многократное преобразование спектров исходных речевых сигналов.

На рис. 17 показана схема преобразования спектров частоты в системе К-12+12. В соответствии со схемой исходный первичный спектр 300...3400 Гц каждого из 12 каналов перемещается в линейную полосу путем четырехкратных преобразований. При первом (индивидуальном) преобразовании из верхних боковых полос каналов формируются спектры четырех 3-канальных предварительных групп, каждая из которых занимает полосу частот 132,3...143,4 кГц. Для этого использованы несущие частоты 132, 136 и 140 кГц. Очевидно, при этих несущих частотах каналы занимают следующие спектры частот: I канал — 132,3...135,4 кГц; II канал — 136,3...139,4 кГц; III канал — 140,3...143,4 кГц. В дальнейшем для простоты запоминания и написания будем считать спектром 3-канальной подгруппы 132...144 кГц.

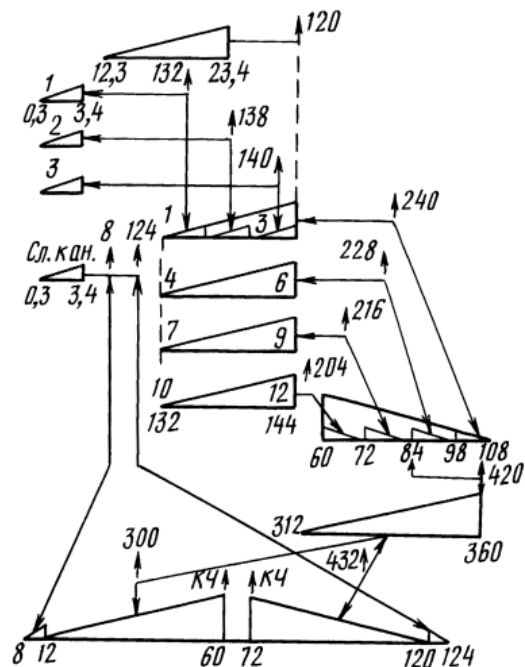


Рис. 17. Схема преобразования спектров в системе передачи К-12+12

При втором (групповом) преобразовании из спектров всех 3-канальных подгрупп образуется общий 12-канальный спектр системы 60...108 кГц. Для этого применены несущие частоты 240, 228, 216 и 204 кГц. Первая 3-канальная подгруппа в указанном спектре занимает полосу 96...108 кГц, вторая — полосу 84...96 кГц, третья — 72...84 кГц и четвертая — 60...72 кГц. Такой способ формирования 12-канального спектра системы выгоден тем, что здесь использованы только три высокодобротных (дорогостоящих) полосовых канальных фильтра, рассчитанных на разные полосы. При этом число номиналов несущих частот невелико, всего 7. Недостатком же способа является использование двукратного преобразования.

Далее в схеме частотных преобразований использованы еще две ступени группового преобразования. Их назначение — обеспечить сопряжение полученного группового спектра с линейными полосами. Для этого сначала спектр 60...108 кГц при помощи несущей частоты 420 кГц перемещается в промежуточную полосу 312...360 кГц, а затем при помощи несущей частоты 300 или 432 кГц — соответственно в нижнюю линейную полосу 12...60 кГц (на станции А) или в верхнюю линейную полосу 72...120 кГц (на станции Б).

Спектр служебного канала 300...3400 Гц перемещается в свою линейную полосу 8...12 кГц или полосу 120...124 кГц путем однократного преобразования посредством несущих частот 8 кГц (на станции А) или 124 кГц (на станции Б).

Описанные преобразования исходных спектров каналов из тонального диапазона в высокочастотный осуществляются на оконечной станции при передаче сигналов. При приеме сигналов, очевидно, производятся обратные преобразования — из высокочастотного диапазона в тональный. Поэтому порядок преобразований будет обратным описанному.

В качестве контрольной частоты линейного тракта используется частота 60 кГц для направления передачи А-Б и частота 72 кГц для направления передачи Б-А. Контрольной частотой тракта первичной 12-канальной группы является частота 84,08 кГц. Вызывные сигналы и сигналы управления передаются на частоте 3825 кГц по вынесенным сигнальным каналам ВСК.

3. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ОКОНЕЧНОЙ СТАНЦИИ

Оборудование оконечной станции (ОК-12+12) содержит устройства каналообразующей части, оборудование сопряжения и линейного тракта.

Структурная схема оборудования каналообразования показана на рис. 18.

Рассмотрим основные элементы оборудования трактов передачи и приема, их назначение и особенности.

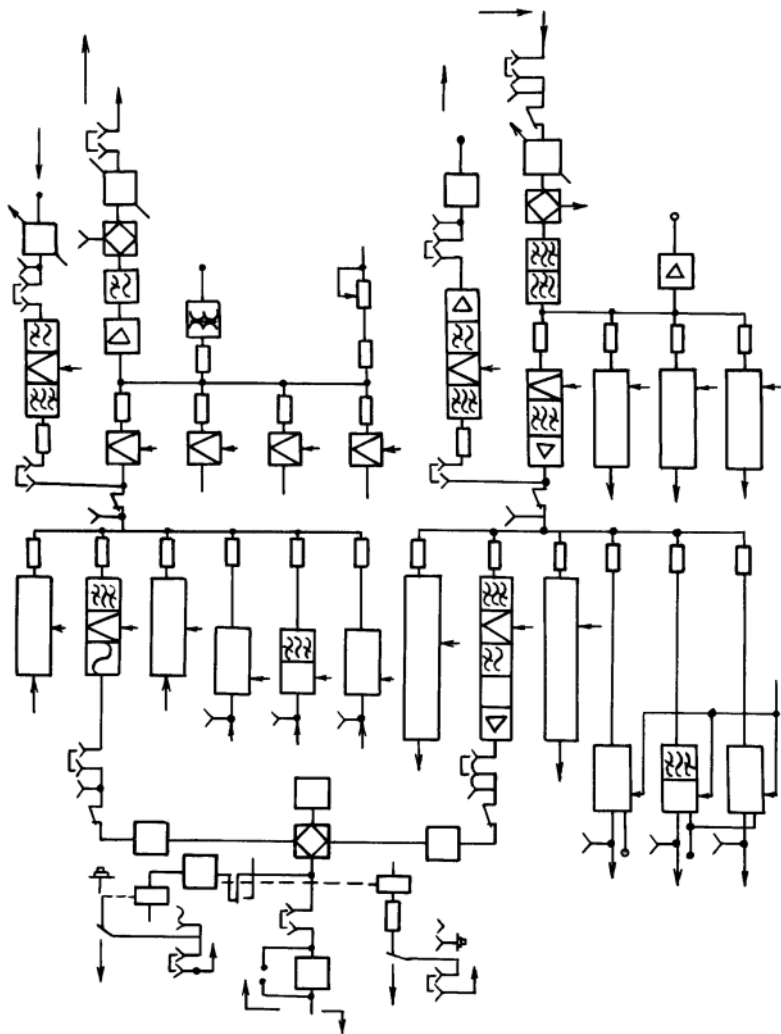


Рис. 18. Структурная схема каналообразующей аппаратуры оконечного пункта ОК-12+12

При передаче токи тональных частот поступают от междугородного коммутатора на двухпроводный вход канала (точка с уровнем 0 дБ) и далее через транзитный удлинитель (ТУ), дифференциальную систему (ДС) и удлинитель — на вход тракта передачи четырехпроводной части канала (в точку с уровнем — 13 дБ).

Затухание транзитного удлинителя равно половине остаточного затухания канала (3,5 дБ). При транзитных (двухпроводных) соединениях каналов в пунктах транзита удлинители на соединяемых каналах выключаются, что позволяет сохранить для составного канала требуемую норму остаточного затухания 7 дБ. Кроме того, наличие транзитного удлинителя позволяет уменьшить разбалансировку дифференциальной системы при изменениях сопротивления нагрузки со стороны линии коммутатора и обеспечить требуемую устойчивость канала.

Первым элементом тракта передачи четырехпроводной части канала является ограничитель больших амплитуд (ОА), обеспечивающий защиту групповой части тракта от перегрузок, появления нелинейных искажений и, как следствие, взаимных помех между каналами. В следующем за ограничителем элементе — индивидуальном преобразователе ИП происходит преобразование канального сигнала тональной частоты в канальный сигнал высокой частоты. Для этого используется одна из трех индивидуальных несущих частот 132, 136 или 140 кГц.

При помощи канального полосового фильтра КФ1, КФ2 или КФ3, включенных к выходу преобразователя, из верхней боковой полосы формируется рабочая полоса канала 132...136, 136...140 или 140...144 кГц.

Каждый телефонный канал имеет свой вынесенный сигнальный канал ВСК, передатчик которого содержит преобразователь частоты и узкополосный фильтр УФ, настроенный на частоту 135,825; 139,825 или 143,825 кГц. Эти частоты образуются при взаимодействии сигнальной частоты 3825 Гц и соответствующей индивидуальной несущей частоты.

Выходы трактов передачи каждого трех телефонных и трех сигнальных каналов запараллеливаются и соединяются с входом группового преобразователя соответствующей предварительной группы ГП–ПГ1, ГП–ПГ2, ГП–ПГ3 или ГП–ПГ4. На каждый групповой преобразователь подается своя групповая несущая частота 240, 228, 216 или 204 кГц. В процессе преобразования спектров 3–канальных подгрупп на выходе каждого преобразователя возникают полосы 60...72, 72... 84, 84...96, 96...108 кГц. Это нижние боковые полосы 3–канальных подгрупп, из которых формируется 12–канальный спектр 60...108 кГц. На выходе преобразователей ГП–ПГ не включены полосовые фильтры для подавления верхних боковых полос. В этом еще одна особенность и достоинство способа формирования спектра 12–канальной группы в системе К–12+12. Верхние боковые полосы подгрупп задерживаются в тракте передачи на следующей ступени группового преобразования.

Общий выход всех четырех преобразователей ГП–ПГ соединяется со входом группового усилителя передачи (60...108 кГц).

В эту же точку группового тракта подается контрольная частота 84,08 кГц. После дополнительного подавления токов частотой выше 108 кГц фильтром нижних частот Д–108 токи 12–канальной группы проходят дифференциальную систему, обеспечивающую возможность выполнения измерений, удлинитель и поступают на вход оборудования сопряжения и линейного тракта (рис. 19). Здесь токи группового сигнала поступают на предварительный усилитель (60...108 кГц), затем — на фильтр нижних частот Д–108 и на вход первого группового преобразователя ГП–1. На этот преобразователь подается групповая несущая частота 420 кГц.

В процессе модуляции в групповом преобразователе возникают токи нижней боковой полосы частот 312...360 кГц (токи верхней боковой полосы подавляются полосовым фильтром). Эта полоса частот является промежуточной. Ее токи поступают во второй групповой преобразователь ГП–2, на

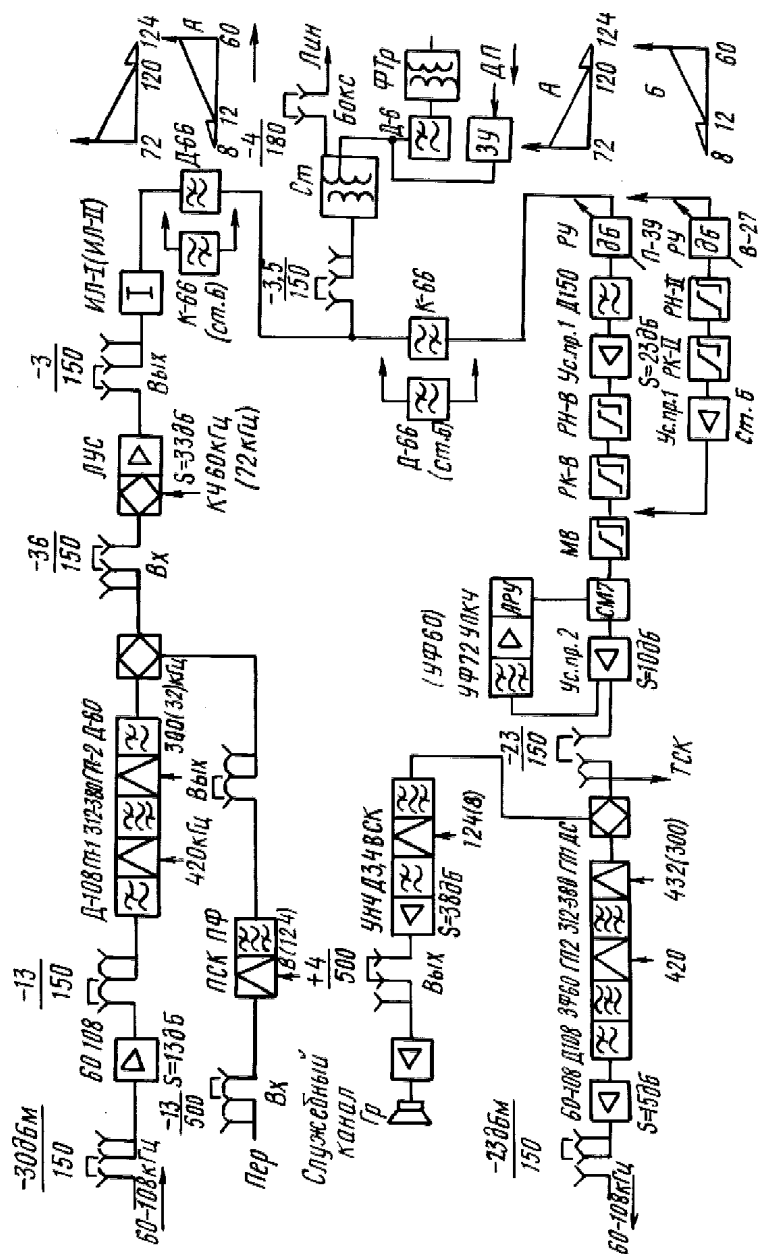


Рис. 19. Структурная схема оборудования сопряжения и линейного тракта аппаратуры оконечного пункта ОК–12+12

который подается несущая частота 300 кГц (станция А) или 432 кГц (станция Б).

На выходе преобразователя включен фильтр нижних частот Д-60, при помощи которого пропускается нижняя боковая полоса частот 12...60 кГц (или 72...120 кГц) и подавляется верхняя боковая полоса. Таким образом, сформирована нижняя линейная полоса системы 12...60 кГц (для станции А) или 72...120 кГц (для станции Б). К этой полосе добавляется спектр сигнального канала 8...12 кГц (или 120...124 кГц), токи которого поступают в тракт передачи через дифференциальную систему ДС. Кроме того, в линейный тракт через дифференциальную систему вводится контрольная частота 60 кГц (или 72 кГц).

Далее токи линейного спектра 8...60 кГц (или 72...124 кГц) усиливаются в линейном усилителе ЛУс и, пройдя искусственную линию ИЛ-Н или ИЛ-В, направляющий фильтр Д-66 (или К-66), согласовывающий трансформатор СТ, поступают в линию.

При приеме поступающие на оконечную станцию линейные токи в спектре 72...124 кГц (или 8...60 кГц) проходят трансформатор СТ, фильтр К-66 (или Д-66), регулятор усилителя РУ, фильтр Д-150, первый усилитель приема $Ус_{пр.1}$, регуляторы наклонной регулировки РН-В и регулятор криволинейной регулировки РК-В, магистральный выравниватель МВ. При помощи регуляторов и магистрального выравнивателя осуществляется ручная корректировка амплитудно-частотной характеристики тракта, примыкающего к станции (обычно в период организации связи и сезонных перепадов температуры грунта). Аналогичные элементы регулировки предусмотрены также на станции Б. На этой станции не включается фильтр Д-150, так как там включен фильтр Д-66.

Далее в тракте приема, кроме ручной регулировки, предусмотрена автоматическая плоско-наклонная регулировка. Плоско-наклонный регулятор ПНР включен в цепь обратной связи второго усилителя $Ус_{пр.2}$. Управление его работой производится при помощи линейной контрольной частоты 72 кГц (или 60 кГц). Эта частота выделяется при помощи узкополосного филь-

тра УФ-72. Ток контрольной частоты усиливается усилителем приемника УПКЧ, выпрямляется и воздействует на устройство АРУ, которое изменяет положение РПН.

С выхода усилителя $Ус_{пр.2}$ линейные токи в спектре частот 72...120 кГц поступают через дифференциальную систему ДС в групповой преобразователь приема ГП-1, а токи в полосе 120...124 кГц — через ту же дифференциальную систему проходят в приемный тракт служебного канала. При помощи несущей частоты 432 кГц (или 300 кГц) токи в спектре 72...120 кГц преобразуются в токи промежуточной полосы 312...360 кГц. Они проходят через полосовой фильтр и поступают на второй групповой преобразователь приема ГП-2. В процессе демодуляции при несущей частоте 420 кГц в нем возникают токи нижней боковой полосы 60...108 кГц. Верхняя же боковая полоса частот подавляется фильтром нижних частот Д-108. В итоге при помощи двукратного преобразования при приеме возникает групповой сигнал в спектре 60...108 кГц.

Остаток тока контрольной частоты 60 кГц подавляется при помощи задерживающего фильтра ЗФ-60.

В тракт приема служебного канала входит полосовой фильтр, пропускающий полосу 120...124 кГц, преобразователь частоты ПСК, фильтр нижних частот Д-3,4 и усилитель нижних частот УНЧ.

Токи группового спектра 60...108 кГц, усиленные усилителем, поступают в оборудование индивидуального преобразования. Здесь через удлинитель, дифференциальную систему ДСКЧ, фильтр приема $\Phi_{пр}$ они подаются на общий вход четырех групповых преобразователей трехканальных подгрупп ГП-ПГ. При помощи дифференциальной системы ДСКЧ выделяется контрольная частота 84,08 кГц. Остаток тока этой частоты подавляется при помощи задерживающего фильтра, имеющегося в составе фильтр $\Phi_{пр}$.

В тракте приема каждой трехканальной подгруппы формируются сигналы в спектре 132...144 кГц. Для этого используются несущие частоты 240, 228, 216 и 204 кГц. На выходе преобразователей ГП-ПГ каждой группы включаются поло-

вые фильтры ПФ и усилители токов в полосе. С выхода усилителей токи каждой группы поступают на общий вход индивидуальных трактов своих каналов. При помощи канальных полосовых фильтров КФ из полосы частот 132...144 кГц выделяются канальные спектры 132...136, 136...140 и 140...144 кГц или точнее 132,3...135,4; 136,3... 139,4 и 140,3... 143,4 кГц. Проходя через индивидуальные преобразователи ИП, токи этих частот преобразуются посредством несущих частот 132, 136 и 140 кГц в токи тональных (нижних) частот 300...3400 Гц. Побочные высокочастотные составляющие, возникающие при демодуляции, подавляются фильтрами нижних частот. Далее токи тональных частот, пройдя через регулятор усиления и усиленные усилителем, поступают к выходу тракта приема четырехпроводной части канала (точка с уровнем +4 дБ), а затем через удлинитель, дифференциальную систему, транзитный удлинитель — к двухпроводному выходу канала (точка с уровнем — 7 дБ).

При посылке вызова с междугородного коммутатора вызывной ток частотой 15...50 Гц поступает в приемник индивидуального вызова ПИВ и вызывает срабатывание реле Р1. Через контакты этого реле включается передатчик выделенного сигнального канала ПерВСК. На выходе передатчика возникает вызывной сигнал 135,825; 139,825 или 143,825 кГц. Этот сигнал так же как и разговорные токи преобразуется и передается по тракту. На приемной станции вызывной сигнал выделяется с помощью узкополосного фильтра и поступает в ПрВСК, срабатывает реле Р2, и через его контакт в линию МК поступает вызывной ток от машинного индуктора.

4. ВКЛЮЧЕНИЕ АППАРАТУРЫ И ПРОВЕРКА ЕЕ РАБОТЫ

После изучения аппаратуры ОК-12+12 необходимо проверить ее работоспособность и перейти к измерению электрических характеристик каналов ТЧ.

Каждая из двух стоек, установленных в лаборатории, содержит оборудование для двух независимых друг от друга

12-канальных систем передачи. Это оборудование может работать как в режиме станции А (передача в полосе частот 12...60 кГц, прием в полосе 72...120 кГц), так и в режиме станции Б (передача в полосе частот 72...120 кГц, прием в полосе 12...60 кГц).

Оконечное оборудование обеих стоек (станции А и Б) одной системы передачи (рис. 20) включены друг с другом через искусственную линию, эквивалентную кабельной физической линии, равной длине усилительного участка (15 км).

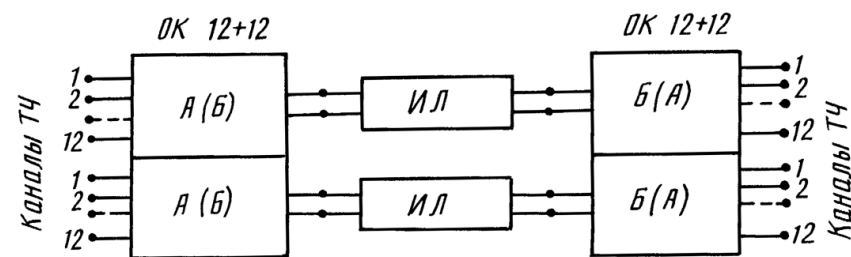


Рис. 20. Схема соединений стоек аппаратуры ОК-12+12

При проверке работоспособности аппаратуры необходимо:

- включить напряжение электропитания на обеих стойках одной системы передачи; для этого ключи на блоках питания в нижней части стойки перевести в верхнее положение;

- проверить уровни контрольных частот при помощи измерительного прибора стойки, включая его поочередно в положения 84.08 и ЛИН-КЧ;

- используя переговорно-вызывные устройства на стойках, осуществить переговоры по каналам между станциями в двух- и четырехпроводном его режимах.

Проверить также прохождение тонального вызова в обе стороны канала. Убедившись в работоспособности системы, можно перейти к измерениям электрических характеристик одного из каналов, указанных преподавателем.

5. ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАНАЛА

К измеряемым характеристикам канала ТЧ относятся:

- остаточное затухание;
- амплитудно-частотная характеристика;

- диаграмма уровней передачи;
- коэффициент нелинейных искажений.

Все характеристики измеряются в обоих направлениях передачи канала. Для удобства выполнения измерений к каждой стойке предусмотрены специальные измерительные панели, на которых расположены необходимые контрольно-измерительные гнезда.

На схемах панелей (рис. 21) приведены преобразователи частоты, используемые в СП на каждой ступени преобразования. Номера и назначение гнезд на панелях следующие:

в передающей части системы:

1. — двухпроводный вход канала (блок ДС);
2. — вход индивидуального преобразователя передачи (блок ИП);
3. — выход индивидуального преобразователя передачи (блок ИП);
4. — вход группового усилителя передачи (блок Ус 60...108);
5. — выход группового усилителя передачи (блок Ус 60...108);
6. — выход линейного усилителя передачи (блок ЛУс);
7. — выход направляющих фильтров (блок ДК-66);

в приемной части системы:

8. — вход направляющих фильтров (блок НФ-66);
9. — вход усилителя приема (блок Ус_{пр});
10. — выход усилителя приема (блок Ус_{пр});
11. — выход группового усилителя приема (блок Ус_{пр} 60...108);
12. — вход индивидуального преобразователя (блок ИП);
13. — выход индивидуального преобразователя (блок ИП);
14. — двухпроводный выход канала (блок ДС).

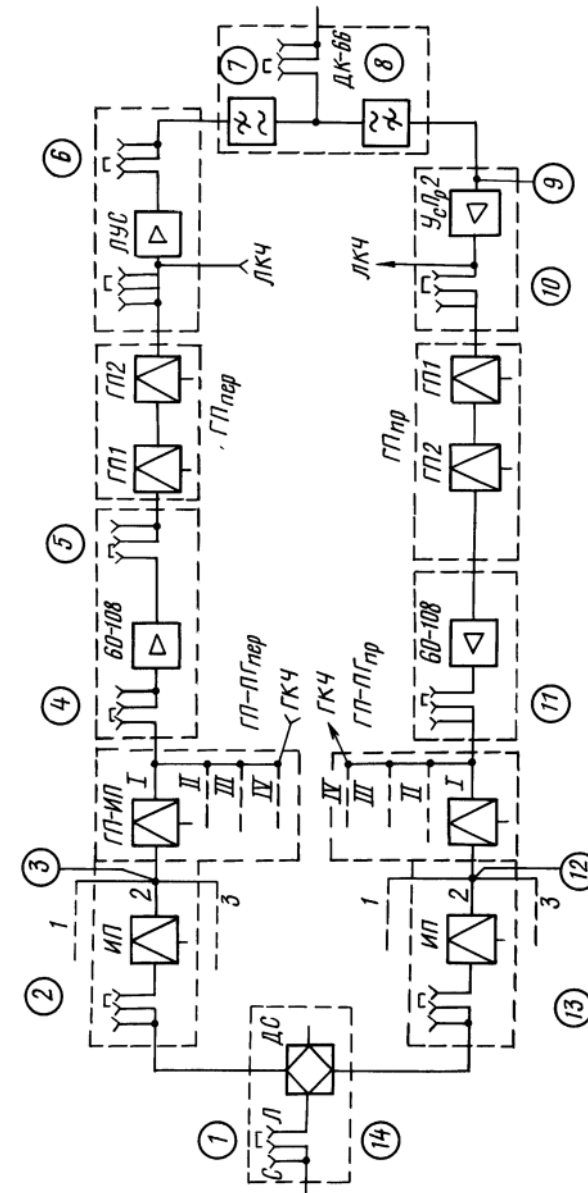


Рис. 21. Схема расположения контрольно-измерительных гнезд на измерительных панелях к аппаратуре К-12+12

Измерение остаточного затухания канала. Остаточным затуханием (ОЗ) канала называется разность между суммой всех затуханий и суммой всех усилений, действующих в канале,

$$a_0 = \sum a - \sum s.$$

Величина a_0 , полученная с отрицательным знаком, будет характеризовать остаточное усиление.

Для измерений нужно собрать схему, показанную на рис. 22. На одной измерительной панели к двупроводному (1) или четырехпроводному (2) входам канала включается звуковой генератор ГЗ и параллельно ему — контрольный вольтметр $V1$. На другой панели к выходу (13 или 14) канала включается нагрузочное сопротивление и параллельно ему вольтметр $V2$.

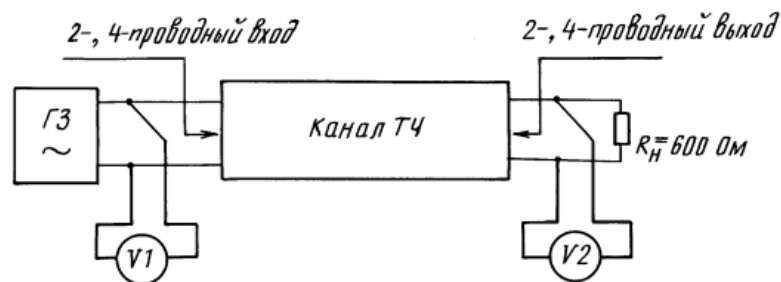


Рис. 22. Схема измерений характеристик канала ТЧ

На генераторе ГЗ необходимо установить сигнал частотой 800 Гц с уровнем $p_1 = -3,5$ дБ при двупроводном или -13 дБ при четырехпроводном входах канала.

При помощи вольтметра $V2$ измерить уровень p_2 на выходе канала и затем рассчитать остаточное затухание канала

$$a_0 = p_1 - p_2.$$

Величина остаточного затухания канала должна составлять при двупроводной схеме канала 7 дБ, при четырехпро-

водной схеме канала 17 дБ. Отклонение ОЗ от этих величин не должно превышать $\pm 1,74$ дБ. В случае превышения этой величины необходимо при помощи регулятора РУ изменить усиление усилителя низкой частоты, включенного в тракт приема канала.

Закончив измерения ОЗ канала в одном направлении передачи, переходят к измерениям его в обратном направлении передачи.

Измерение диаграммы уровней передачи. Диаграмма уровней передачи представляет собой график, на котором показаны уровни сигнала в различных точках тракта канала. Так же, как и при измерении ОЗ от генератора ГЗ подается сигнал частотой 800 Гц на вход канала с уровнем $-3,5$ дБ или -13 дБ в зависимости от схемы канала. При помощи вольтметра $V2$ производят измерения в точках 1, 2, 3, ..., 14 тракта канала. Значения уровней в этих точках необходимо внести в табл. 6.

Таблица 6

Канал ТЧ №
Схема канала ... проводная

Направление передачи	Уровни в точках тракта канала, дБ													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
А-Б														
Б-А														

Измерение амплитудно-частотной характеристики. Амплитудно-частотной характеристикой АЧХ канала названа зависимость остаточного затухания канала от частоты тока. Измерения АЧХ выполняют аналогично измерениям ОЗ, описанным выше, с той лишь разницей, что они проводятся в широком спектре частот. Схема измерений остается неизменной. На генераторе поочередно устанавливают частоты: 300, 400, 500, 800, 1200, 1600, 2000, 2500, 3000, 3200, 3400 Гц.

Уровень сигнала на всех частотах устанавливается одинаковым (–3,5 дБ при двухпроводной схеме или –13 дБ при четырехпроводной схеме канала).

На выходе канала уровень p_2 на каждой измеряемой частоте фиксируется при помощи вольтметра V_2 и вносится в табл. 7.

Таблица 7

Канал ТЧ №
Схема канала ... проводная

Частота, Гц		
Направление А–Б	p_2 , дБ	
	a_0 , дБ	
Направление Б–А	p_2 , дБ	
	a_0 , дБ	

По данным измерений величины p_2 на каждой частоте рассчитывается остаточное затухание канала. После этого по результатам расчетов необходимо построить графики АЧХ канала для обоих направлений передачи. По этим графикам определяются полосы эффективно передаваемых частот канала, которые сравниваются с полосой эффективно передаваемых частот стандартного канала. В полосу эффективно передаваемых частот входят все частоты, остаточное затухание на которых не превышает ОЗ на частоте 800 Гц более, чем на 8,7 дБ (1 Нп).

Измерение амплитудной характеристики и коэффициента нелинейных искажений. Амплитудной характеристикой АХ канала называют зависимость остаточного затухания канала или уровня на выходе канала от уровня на его входе. При помощи АХ оценивают нелинейные свойства канала.

Коэффициент нелинейных искажений k характеризует долю гармонических составляющих в передаваемом сигнале, обусловленных нелинейностью канала.

При измерении этих характеристик к выходу канала параллельно нагрузке R_n и вольтметру V_2 необходимо подключить дополнительно измеритель нелинейных искажений (ИНИ).

Измерения проводят на частоте 800 Гц при различных уровнях p_1 сигнала, подаваемого от генератора в канал. При каждом значении входного уровня p_1 фиксируется уровень p_2 на выходе канала и определяется коэффициент нелинейных искажений k .

Данные измерений вносятся в табл. 8.

Таблица 8

Канал ТЧ №
Схема канала ... проводная

Направление А–Б	p_1 , дБ	-20	-15	-10	-5	-2	0	+2	+4	+5	+7	+8	+9	+10
	p_2 , дБ													
	a_0 , дБ													
	k , %													
Направление Б–А	p_1 , дБ	-20	-15	-10	-5	-2	0	+2	+4	+5	+7	+8	+9	+10
	p_2 , дБ													
	a_0 , дБ													
	k , %													

Величина остаточного затухания a_0 канала рассчитывается по формуле, приведенной выше. По данным измерений и расчетам требуется построить графики, характеризующие зависимости величины k , a_0 , p_2 от уровня p_1 .

По результатам измерений необходимо сделать краткий вывод.

Содержание отчета

- Отчет о выполнении лабораторной работы должен содержать:
- краткие технические данные о системе передачи К–12+12;
 - полную диаграмму преобразования спектров частот в системе и диаграмму преобразования первичного спектра одного канала;

— упрощенную структурную схему СП (см. рис. 21), с указанием на ней спектров частот на выходе всех преобразователей и несущих частот, подаваемых на преобразователи;

— результаты выполненных измерений характеристик (таблицы, графики) канала ТЧ и краткие выводы к ним.

Контрольные вопросы

1. Какими основными техническими данными характеризуется система передачи К-12+12?
2. Чем достигается разделение направлений передачи А-Б и Б-А в системе?
3. Какой принцип формирования 12-канальной группы каналов принят в системе и в чем его достоинства и недостатки?
4. Что такое виртуальная частота канала и как она определяется?
5. Для чего и каким образом организуется служебная связь в системе?
6. Каким способом осуществляется коррекция амплитудно-частотной характеристики затухания линии в системе?
7. Каким образом выполнено сопряжение группового и линейного спектров в системе?
8. Что такое линейный тракт и какие элементы аппаратуры оконечной станции в него входят?
9. В чем заключается основная особенность необслуживаемого усилительного пункта системы?
10. Каким образом организуются в системе передача и прием сигналов тонального вызова?
11. Какие основные характеристики нормируются МСЭ для каналов ТЧ?
12. Что понимается под амплитудно-частотной характеристикой и что такое полоса эффективно передаваемых частот канала ТЧ?
13. За счет каких причин создается неравномерность АЧХ канала?
14. Чем оцениваются нелинейные искажения в канале и какова их допустимая величина?
15. В чем заключается назначение канальных полосовых фильтров передачи и приема и какие требования к ним предъявляются?

ЛИТЕРАТУРА

1. Тюрин В.Л., Сменюта Н.Ф. и др. Многоканальная связь на железнодорожном транспорте. — М.: Транспорт, 1992.
2. Багуц В.П., Тюрин В.Л. Многоканальная телефонная связь на железнодорожном транспорте. — М.: Транспорт, 1988.
3. Шмытинский В.В., Котов В.К. и др. Цифровые системы передачи информации на железнодорожном транспорте. — М.: Транспорт, 1995.
4. Чеботарев Ю.П. Цифровые системы передачи на железнодорожном транспорте. — М.: ВЗИИТ, 1989.
5. Скалин Ю.В., Финкевич А.Д. Основы проектирования систем передачи с импульсно-кодовой модуляцией. — М.: ВЗЭИС, 1984.

Канд. техн. наук, проф. Ю.П. Чеботарев

**МНОГОКАНАЛЬНАЯ СВЯЗЬ
НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

*Методические указания к выполнению
лабораторных работ
(Ч. 1)*

Редактор *Г.Ю. Микрюкова*
Компьютерная верстка *Е.Ю. Русалевой*

ЛР № 020307 от 28.11.91

Тип. зак.	Изд. зак. 229	Тираж 500
Подписано в печать 20.07.01	Гарнитура Times.	Офсет
Усл. печ. л. 4,25	Уч.-изд. л. 4,0	Формат 60×90/ ₁₆

Издательский центр РГОТУПСа,
125808, Москва, ГПС-47, Часовая ул., 22/2
Типография РГОТУПСа, 107078, Москва, Басманный пер., 6