Глава 23

ПОСТРОЕНИЕ АППАРАТУРЫ ТОНАЛЬНОГО ТЕЛЕГРАФИРОВАНИЯ

Телеграфные каналы и низкоскоростные каналы передачи данных для соответствующих сетей электросвязи образуются с помощью аппаратуры тонального телеграфирования (ТТ), работающей по каналам тональной частоты первичных сетей связи. При этом дальность связи по каналам ТТ определяется дальностью действия используемого канала ТЧ.

Для построения аппаратуры ТТ в настоящее время применяется, в основном, частотное разделение каналов, а для согласования дискретных сигналов с аналоговым каналом – частотная модуляция, обеспечивающая достаточно высокую помехозащищенность, малую чувствительность к изменению уровня принимаемых сигналов, относительную простоту реализации аппаратуры и синхронную или асинхронную работу оконечных устройств.

Основные проблемы, возникающие в теоретическом и прикладном аспектах при реализации многоканальной аппаратуры ТТ, сводятся к определению:

полосы частот канала ТТ;

номинальных значений несущих (средних) и характеристических (рабочих) частот каждого канала ТТ;

алгоритма формирование линейного спектра частот;

уровней передачи сигналов ТТ;

методов получения и детектирования ЧМ колебаний.

Перечисленные проблемы решаются в последующих параграфах главы.

23.1. Структурная схема аппаратуры ТТ с частотной модуляцией

Основные элементы трактов передачи и приема канала ТТ с ЧМ приведены на рис. 23.1 (одно направление передачи).

В состав передающей части канала ТТ входят генератор несущей частоты f_0,

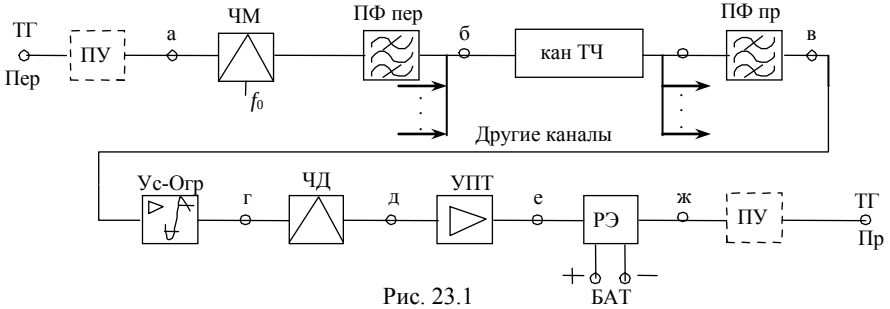

Рис. 23.1

частотный модулятор ЧМ и полосовой фильтр передачи ПФ Пер., а в состав приемной части – полосовой фильтр приема ПФ Пр., усилитель-ограничитель Ус-Огр., частотный детектор ЧД, усилитель постоянного тока УПТ, электронное реле РЭ. Работу обеих частей аппаратуры обеспечивает генераторное оборудование и устройства электропитания (на рисунке не показаны). В случае работы оконечных устройств (телеграфных аппаратов) токами одного направления (однополярными посылками) они подключаются к каналу ТТ через переходное устройство ПУ.

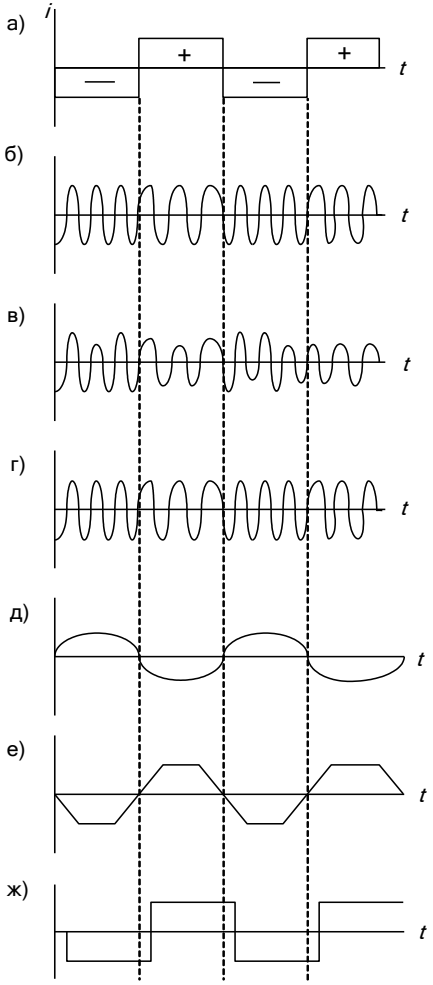

Рис.23.2

Диаграмма работы канала ТТ приведена на рис. 23.2. На вход частотного модулятора ЧМ поступают двухполярные импульсы постоянного тока (рис.23.2,а). В зависимости от полярности посылок частота ге-нератора частот на выходе ЧМ принимает значения $f_н = f_о - \Delta f$ или $f_в = f_о + \Delta f$, то есть в ЧМ осуществляется преобразование дискретных сигналов в частотно-модулированные сигналы переменного тока в отведенном с помощью полосового фильтра диапазоне частот канала ТЧ (рис.23.2,б).

На приемном конце спектр частот сигнала данного канала ТТ выделяется фильтром приема ПФ Пр. Форма сигнала при прохождении по каналу ТЧ искажается – на рис.23.2,в видно, что помехи и переходные процессы в узлах тракта передачи вызвали нежелательную амплитудную модуляцию характеристических частот. В усилителе-ограничителе принятые сигналы усиливаются и ограничиваются по амплитуде сверху и снизу, устраняя амплитудную модуляцию (рис.23.2,г).

В частотном детекторе ЧМ-колебания преобразуются в импульсы постоянного тока

(рис.23.2,д), форма которых улучшается усилителем постоянного тока (рис.23.2,е), что необходимо для нормальной работы электронного реле. РЭ коммутирует в телеграфную цепь приема местную батарею БАТ (источник постоянного тока) в соответствии с принимаемыми сигналами (рис.23.2,ж).

На рис. 23.1 показано одно направление передачи. Аналогичные устройства должны быть и в обратном направлении передачи.

В многоканальной аппаратуре ТТ к каналу ТЧ на его входе и выходе параллельно подключается аналогичное оборудование других каналов, работающих в отведенных для них участках полосы канала ТЧ.

23.2. Определение полосы частот канала ТТ

Важнейшей задачей технико-экономического плана, возникающей при создании аппаратуры ТТ, является задача выбора полосы частот канала ТТ. С одной стороны, полосу частот канала ТТ желательно иметь как можно меньшей, чтобы в ЭППЧ канала ТЧ разместить большее количество каналов ТТ. Но с другой стороны, ширина полосы частот должна быть такой, чтобы обеспечить передачу дискретных сигналов с необходимой скоростью и достоверностью.

Как было показано в главе 22, полоса частот канала ТТ, которая ограничивается полосовым фильтром с полосой пропускания ΔF, для помехоустойчивой передачи дискретных сигналов при ЧМ определяется (без учета полос расфильтровки) формулой $\Delta F_{чм} = (1{,}3\ldots1{,}5)\,mB$, где B – скорость передачи в бодах, $m = \Delta f / F$ – индекс модуляции, Δf – девиация частоты, F – частота следования импульсов. Величина индекса модуляции при этом должна быть в соответствии с рекомендацией МСЭ-Т $m = 1{,}2$.Тогда, например, для скорости передачи $B = 50$ Бод (F=25 Гц), $\Delta F_ф = (78\ldots90)$ Гц, $\Delta f = mF$ =30 Гц.

В многоканальной аппаратуре ТТ между каналами должна быть защитная полоса частот (полоса расфильтровки), которая определяется исходя из возможностей построения фильтров. При использовании фильтров типа LC ширина полосы расфильтровки выбирается для скорости 50 Бод $\Delta F_{рф}$= 40 Гц (по 20 Гц с каждой стороны).

В соответствии с выше изложенным и рекомендациями МСЭ для стандартных скоростей передачи выбираются следующие параметры каналов ТТ:
B = 50 Бод (F = 25 Гц), $\Delta F_ф$= 80 Гц, $\Delta F_{рф}$= 40 Гц, $\Delta F_{чм}$= 120 Гц, Δf = 30 Гц;
B = 100 Бод (F = 25 Гц), $\Delta F_ф$= 160 Гц, $\Delta F_{рф}$= 80 Гц, $\Delta F_{чм}$= 240 Гц, Δf = 60 Гц;
B = 200 Бод (F = 100 Гц), $\Delta F_ф$= 320 Гц, $\Delta F_{рф}$= 160 Гц, $\Delta F_{чм}$= 480Гц, Δf = 120 Гц.

Число каналов, которое можно образовать в ЭППЧ канала ТЧ определяется по формуле $N = \Delta F_{тч} / \Delta F_{чм}$. При скорости 50 Бод $N = 3100 / 120 \approx 25$.

Обычно аппаратура ТТ с ЧМ строится на число каналов ТТ для скоростей: 50 Бод – 24 канала, 100 Бод – 12 каналов и 200 Бод – 6 каналов.

23.3. Определение средних и характеристических частот каналов ТТ

При выборе несущих (средних) частот каналов ТТ многоканальной аппаратуры ТТ учитывается взаимное влияние каналов ТТ за счет продуктов нелинейности, возникающих в устройствах канала ТЧ. В аппаратуре ТТ с ЧМ характеристические частоты $f_н$ и $f_в$ (для передачи положительных и отрицательных импульсов) выбираются по правилу (рис. 23.3,а)

$$f_{нк} = f_{ок} - \Delta f \quad \text{и} \quad f_{вк} = f_{ок} + \Delta f, \tag{23.1}$$

где к – номер канала, $f_{ок}$ – средняя частота *к*-го канала, Δf – девиация частоты.

Для многоканальной аппаратуры ТТ канал ТЧ является групповым устройством с заметно выраженной нелинейностью. Поэтому на выходе канала ТЧ, а, следовательно, и в приемной части аппаратуры ТТ кроме полезных характеристических частот появятся гармоники nf_i , mf_k и комбинации вида $nf_i \pm mf_k$, где f_i и f_k – передаваемые характеристические частоты каналов ТТ, n , m – любые целые числа. Продукты нелинейности, попадая в полосы отдельных каналов ТТ, воспринимаются как помехи и вызывают искажения дискретных сигналов.

Наибольшие амплитуды (поэтому наиболее опасные) имеют нелинейные продукты второго порядка, то есть $2f_i$, $2f_k$, $f_i \pm f_k$. Поэтому при выборе несущих (средних) и характеристических (рабочих) частот исходят из требования, чтобы комбинационные продукты 2-го порядка попадали либо в полосы расфильтровки, либо на средние частоты каналов ТТ, но не попадали на характеристические частоты $f_{нк}$ и $f_{вк}$. Выполнить указанное требование можно лишь в том случае, если средние частоты $f_{ок}$ будут четно-кратными, а характеристические частоты

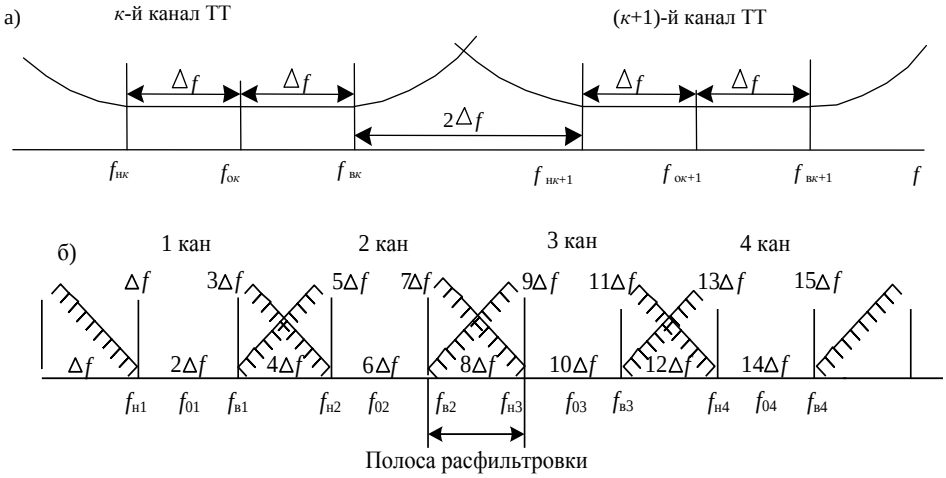

Рис.23.3

нечетно-кратными величине девиации частоты Δf, то есть

$$f_{ок} = 2к\Delta f, \quad f_{нк} = (2к\text{-}1)\Delta f, \; f_{вк} = (2к+1)\,\Delta f \qquad (23.2)$$

Благодаря такому выбору комбинационные продукты от взаимодействия характеристических частот $f_{вк} \pm f_{нк}$ и их вторые гармоники $2f_{вк}$, $2f_{нк}$ будут всегда четно-кратными и попадать либо в полосы расфильтровки, либо на места средних частот. Это иллюстрируется на рис. 23.3,б, где на оси частот характеристические и средние частоты выражены в величинах девиации Δf. Например: 2-я гармоника верхней характеристической частоты второго канала $2f_{в2} = 2{\cdot}7\Delta f = 14\Delta f$ – эта помеха попадает на среднюю частоту 4-го канала f_{04}; комбинация $f_{в2} + f_{н1} = 7\Delta f + \Delta f = 8\Delta f$ – эта помеха попадает в полосу расфильтровки между 2 и 3 каналами и т.д.

23.4. Формирование многоканального спектра частот аппаратуры ТТ

Исходя из выше изложенного, при формировании спектра частот *N*-канальной аппаратуры ТТ соблюдают следующие условия: 1.Полоса частот, ограниченная полосовыми фильтрами для каждого из *N* каналов, должна обеспечивать помехоустойчивую передачу дискретных сигналов с установленными стандартными скоростями передачи 50, 100 и 200 Бод, а также учитывать полосу расфильтровки между каналами. 2.Девиация частоты Δf для определения характеристических частот должна быть выбрана для стандартных скоростей передачи *B* (частоты телеграфирования *F*) так, чтобы обеспечить значение индекса модуляции $m = 1{,}2$, что определит оптимально узкую ширину полосы и достаточную помехозащищенность канала ТТ. 3.Средние частоты каналов должны быть четно-кратными, а характеристические частоты нечетно-кратными величине девиации для уменьшения взаимных нелинейных помех между каналами ТТ. 4.При построении линейного спектра частот необходимо наиболее полно использовать ЭППЧ канала ТЧ с учетом краевых искажений амплитудно-частотной характеристики. Поэтому полосы первого и *N*-го канала должны быть несколько удалены от границ канала ТЧ 0,3 и 3,4 кГц. 5.Линейные спектры аппаратуры ТТ на 50, 100 и 200 Бод должны быть сопряжены так, чтобы вместо полос двух каналов со скоростью 50 Бод можно было образовать один канал на 100 Бод, вместо полос двух каналов со скоростью 100 Бод – один канал на 200 Бод. Такое распределение спектров позволяет образовать так называемую смешанную аппаратуру ТТ, в которой могут быть получены каналы со скоростями 50, 100 и 200 Бод.

В соответствии с перечисленными условиями и с учетом рекомендаций МСЭ-Т формирование линейного спектра частот многоканальной аппаратуры ТТ при одинаковых скоростях передачи по всем каналам производится путем расчета средних частот и выбора величины девиации для скоростей:

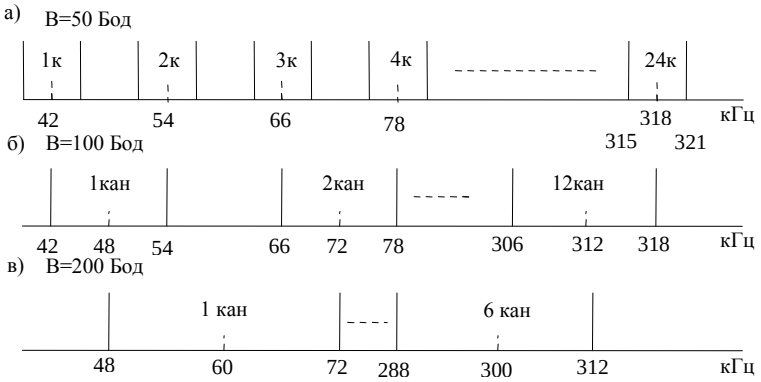

Рис. 23.4

50 Бод – $f_{ок}$ = 300+120к (к = 1…24), Δf = 30Гц;
100 Бод – $f_{ок}$ = 240+240к (к = 1…12), Δf = 60Гц; (23.3)
200 Бод – $f_{ок}$ = 120+480к (к = 1…6), Δf = 120Гц.

Линейные спектры, построенные по приведенным формулам, представлены на рис. 23.4. Разность средних частот соседних каналов ТТ, рассчитанных на скорость 50 Бод равна 120 Гц, 100 Бод – 240 Гц и 200 Бод – 480 Гц, поэтому типы аппаратуры ТТ иногда обозначаются: ТТ-ЧМ-120 – аппаратура с разносом средних частот 120 Гц (В = 50 Бод); ТТ-ЧМ-240 – аппаратура с разносом средних частот 240 Гц (В = 100 Бод); ТТ-ЧМ-480 – аппаратура с разносом средних частот 480 Гц (В = 200 Бод).

На рис. 23.4. можно заметить, что характеристические частоты в каналах с большей скоростью совпадают с местами средней частоты или полосой расфильтровки каналов меньшей скорости, что обеспечивает необходимую защиту последних от влияния первых в смешанной аппаратуре ТТ.

23.5. Схема включения аппаратуры ТТ в канал ТЧ и определение уровней передачи

Аппаратура ТТ подключается к каналу ТЧ по четырехпроводной схеме. Следовательно, канал ТЧ должен иметь четырехпроводный режим окончания (обычно 4ПР. ОК), а по пути прохождения в первичной сети – только четырехпроводные транзиты.

Схема включения *N*-канальной аппаратуры ТТ на оконечном пункте вторичной сети связи показана на рис. 23.5. Сигналы нескольких каналов ТТ с выходов полосовых фильтров передачи ПФ пер объединяются в линейный сигнал, который доводится до нужного уровня в групповом оборудовании передачи ГО пер и подаются на вход тракта передачи канала ТЧ. На противоположном оконечном пункте вторичной сети связи к каналу ТЧ подключается аналогичная аппаратура ТТ, в приемной части которой принятый линейный сигнал проходит че-

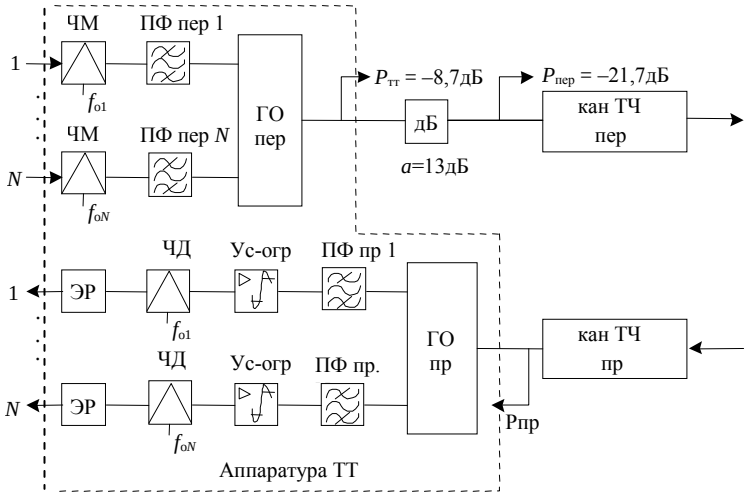

Рис. 23.5

рез ГО пр и распределяется с помощью полосовых фильтров приема по своим каналам, где преобразуются в сигналы постоянного тока.

При выборе мощности сигналов аппаратуры ТТ, подаваемых на вход канала ТЧ, необходимо учитывать два противоречивых фактора. С одной стороны, желательно мощность этих сигналов иметь больше, чтобы обеспечить более высокую помехозащищенность, с другой стороны, эта мощность не должна превышать определенной величины, чтобы не допустить перегрузки как канала ТЧ, так и групповых трактов системы передачи.

В результате многолетнего опыта МСЭ разработаны рекомендации по загрузке каналов и трактов систем передачи с учетом требуемой помехозащищенности и приемлемых затрат. Так, например, допустимая средняя мощность подаваемых на вход канала ТЧ сигналов должна составлять для точки относительного нулевого уровня (ТОНУ): при передаче данных не более 100 или 50 мкВт0; при передаче многоканального сигнала аппаратуры ТТ с ЧМ не более 135 мкВт0 (-8,7дБм0). Отсюда уровень средней мощности сигнала одного канала ТТ, отнесенный к точке канала ТЧ с относительным уровнем p_0, определяется по формуле

$$p_1 = 10\lg\frac{135}{10^{-3}N} + p_0 = -8{,}7 + p_0 - 10\lg N\,, \qquad (23.4)$$

где N – число каналов в аппаратуре ТТ, p_0 – номинальный уровень передачи канала ТЧ (например, в режиме 4ПР $p_0 = -13$дБ). Общий уровень всех каналов ТТ на выходе аппаратуры ТТ

$p_{тт}$ = –8,7дБм0. Следовательно, в точке передачи канала ТЧ с относительным уровнем p_0 = –13дБ этот уровень должен быть

$$P_{пер} = p_{тт} + p_0 =$$
$$= –8,7дБ + (–13дБ) = –21,7дБ.$$

Для согласования уровней на входе канала ТЧ в режиме 4-проводного окончания включается удлинитель с затуханием a = 13 дБ.

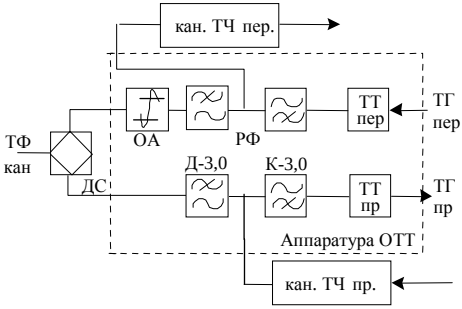

Рис. 23.6

Метод ТТ позволяет использовать для телеграфной передачи лишь часть спектра канала ТЧ, сохраняя при этом телефонную связь в оставшейся части спектра канала. На рис. 23.6 приведена схема включения одноканальной аппаратуры ТТ (ОТТ) в канал ТЧ. Здесь с помощью разделительных фильтров РФ (две пары ФНЧ и ФВЧ ДК-3,0) в тракте передачи и приема для передачи канала ТТ выделяется полоса канала ТЧ выше 3кГц, а спектр 0,3…3,0 кГц остается для телефонной связи. На практике по такой схеме применяется аппаратура ТТ на 1, 2 и 4 канала, но одновременно сужается полоса частот для телефонной связи.

23.6. Реализация частотной модуляции в аппаратуре ТТ

Для получения ЧМ колебаний в настоящее время применяется два способа: непосредственное управление частотой генератора и коммутация частот.

При непосредственном управлении частотой генератора (рис.23.7,а) источником колебаний в канале ТТ является индивидуальный генератор Г с колебательным контуром, элементы которого (L и C) изменяются под воздействием плюсовых и минусовых посылок от источника дискретных сигналов. Достоинством этого способа является элементарно простое осуществление частотной модуляции. Однако стабильность частоты колебаний таких генераторов (применяется лишь параметрическая стабилизация) недостаточна, что не обеспечивает необходимого качества передачи дискретных сигналов – из-за нестабильности частоты возникают искажения сигналов типа "преобладания".

Другим недостатком способа является наличие в генераторах катушек индуктивности на большие номиналы, что существенно влияет на массу и габариты аппаратуры в целом и затрудняет использование элементов микроэлектроники.

Способ коммутации частот основывается на использовании высокостабильных частот $f_н$ и $f_в$, получаемых от многочастотного генератора, стабилизированного кварцем и другими методами. На рис.23.7б выходные элементы источника характеристических частот обозначены $Г_1$ и $Г_2$.

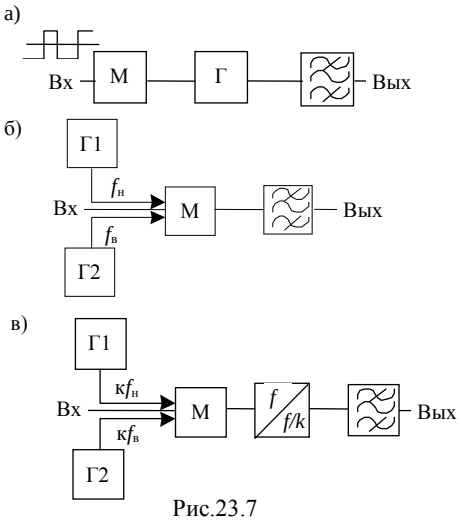

Рис.23.7

В зависимости от полярности приходящих ТГ сигналов частотный модулятор М коммутирует на свой выход колебания одной или другой частоты, которые и представляют собой ЧМ колебания. Коммутация двух частот приводит к скачку фазы ЧМ колебания в пределах от 0 до ±180°. Это вызывает краевые искажения сигналов, которые при скачке фазы не более ± 45° оцениваются по формуле

$$\delta_{\max} = \frac{0{,}35\Delta\varphi}{m}, \qquad (23.5)$$

где $\Delta\varphi$ – скачок фазы, град.; m – индекс модуляции.

Например, при $\Delta\varphi$ = 45° искажения в 50-бодном канале ТТ достигнут 11%, что недопустимо.

Для уменьшения влияния скачка фазы вначале осуществляется коммутация колебаний высоких частот, кратных характеристическим, затем производится деление частот до значений характеристических (рис. 23.7в). Скачок фазы ЧМ колебаний на выходе делителя уменьшается в k раз по сравнению со скачком на его входе. Задаваясь допустимыми искажениями за счет скачка фазы, можно определить наименьшее значение коэффициента деления

$$k_{\min} = \frac{0{,}35 \cdot 180^{\circ}}{m\delta_{\text{доп}}\%}, \qquad (23.6)$$

При m =1,2

$$k_{\min} = \frac{52{,}5}{\delta_{\text{доп}}\%}. \qquad (23.7)$$

Делители частоты наиболее просто реализуются при коэффициенте деления, равном 2^n, где n – любое целое число. Расчеты показывают, что при k = 128 величина искажений ТГ сигналов становится пренебрежимо малой. Этот коэффициент чаще всего и применяется в ЧМ современной аппаратуры ТТ. Способ коммутации в модуляторе М легко реализуется на цифровой микроэлектронике.

23.7. Реализация детектирования ЧМ колебаний в аппаратуре ТТ

Различают аналоговые и цифровые частотные детекторы (АЧД и ЦЧД).

Основными элементами АЧД (рис.23.8) являются два резонансных колебательных контура. Напряжение на выходе ЧД изменяется в соответствии с часто-

той сигнала. Для обеспечения необходимой крутизны частотной характеристики детектора в сравнительно узкой полосе частот необходимо иметь достаточно высокие добротности контуров. В тональном диапазоне частот это приводит к заметным габаритам и массе катушек индуктивности. Наличие катушек индуктивности и жесткие требования к ним затрудняют реализацию АЧД на элементах микроэлектроники.

Схемы ЦЧД значительно сложнее по сравнению со схемами АЧД, но возможность их реализации на цифровых микросхемах делает их более предпочтительными для аппаратуры ТТ. Одна из реализаций ЦЧД приведена на рис.23.9. ЧМ колебания преобразуются в широтно-импульсно-модули-рованный сигнал (ШИМ), а затем с помощью амплитудного детектора АД и порогового устройства ПУ формируются импульсы постоянного тока. Работа ЦЧД задается импульсной последовательностью от генератора Г, которая подается на два делителя. Один делитель (Дел.2) неуправляемый, а другой (Дел.1) запускается в моменты смены частоты ЧМ сигнала от формирователя импульсов запуска Ф. Последовательности импульсов x_1 и x_2 от делителей, сдвинутые по фазе, подаются на логическую схему равнозначности, на выходе которой формируется ШИМ сигнал в зависимости от длительности принятых модулированных по частоте сигналов ($f_н$ и $f_в$). Амплитудный детектор преобразует ШИМ сигнал в положительные и отрицательные посылки постоянного тока, которые сглажи-

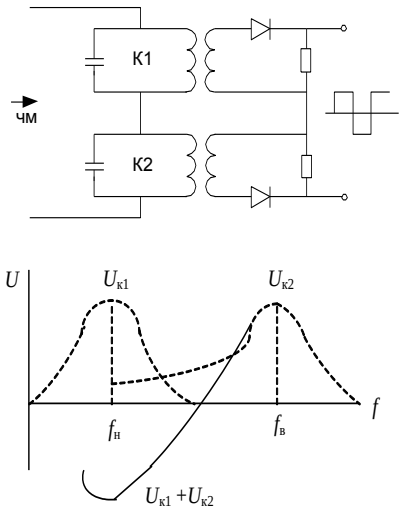

Рис.23.8

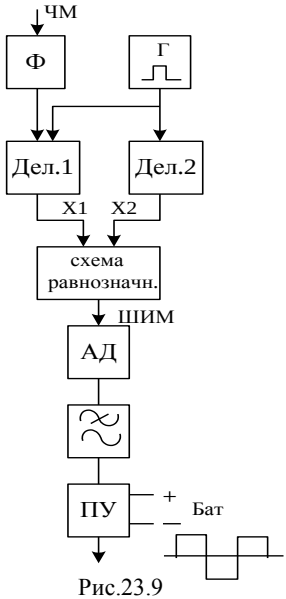

Рис.23.9

ваются ФНЧ и через пороговое устройство коммутируют с помощью электронного реле напряжение телеграфной батареи на приемный телеграфный аппарат.

23.8. Методы формирования линейного сигнала в аппаратуре ТТ

В современной аппаратуре ТТ находят применение индивидуальный, групповой и базовый методы формирования линейного спектра частот.

При *индивидуальном методе* каждый канал ТТ имеет только ему принадлежащее оборудование для формирования ЧМ колебаний, частоты которых определяются формулами (23.3) и фильтры с соответствующими полосами частот пропускания. Количество типов индивидуального оборудования определяется числом каналов аппаратуры ТТ. Этот метод обеспечивает простоту и высокую надежность аппаратуры. Он применяется в аппаратуре ТТ старого парка: полевая П-318, П-318М, П-319; стационарная ТТ-17П, ТТ-48.

При *групповом методе* каналы объединяются в группы по 3, 4, 6 или 12 каналов и в каждой группе формируется в удобном диапазоне частот групповой ЧМ сигнал, а затем групповым преобразованием образуется линейный спектр аппаратуры. В этом случае число разнотипного канального оборудования определяется числом каналов в группе. При групповом методе усложняется схема аппаратуры и несколько снижается ее надежность. Вместе с тем, несмотря на введение групповых элементов, число разнотипных устройств резко сокращается, что упрощает производство аппаратуры, повышает взаимозаменяемость оборудования и сокращает объем ЗИП.

При *базовом методе* под воздействием ТГ посылок в ЧМ каждого канала формируются ЧМ колебания, в которых значения характеристических частот для всех каналов ТТ одинаковы. Такие частоты называются базовыми характеристическими частотами. Выбор одинаковых базовых частот обеспечивает полную унификацию индивидуального оборудования всех каналов. Для формирования линейного спектра частот в каждом канале ТТ применяются индивидуальные преобразователи частоты (например, коммутируемые фильтры-преобразователи), обеспечивающие перенос базового канального сигнала в отведенную для каждого канала полосу частот в линейном спектре аппаратуры ТТ.

В современных типах аппаратуры тонального телеграфирования применяется сочетание базового и группового метода формирования линейного сигнала (полевая аппаратура П-327, стационарная аппаратура ТТ-12, ТТ-144).