Глава 18

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КАНАЛА ТОНАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ

18.1. Схемы канала ТЧ и виды параметров

Структурная схема канала ТЧ аналоговой системы передачи без преобразовательного и линейного оборудования приведена на рис. 18.1, где показаны основные узлы аппаратуры канального преобразования (индивидуального оборудования) оконечных станций.

В тракте передачи: удлинитель (Уд.) для регулировки (обычно с помощью перепаек) выходного относительного уровня по каждому каналу, модулятор (М) и фильтр канала (ФК) для преобразования входного сигнала в полосу предгрупового (12…24 кГц) или первичного группового (60…108 кГц) тракта. На входе канала ТЧ современных систем передачи включается также ограничитель амплитуд (ОА) для ограничения пиковых значений входного сигнала.

В тракте приема: фильтр канала (ФК) для выделения полосы данного канала из группового сигнала, демодулятор (ДМ) и фильтр нижних частот (ФНЧ) для преобразования в исходный сигнал (0,3…3,4 кГц), регулятор усиления (РУ) для плавной регулировки уровня на выходе усилителя тональной частоты (УТЧ), то есть для установки требуемого остаточного затухания в канале ТЧ.

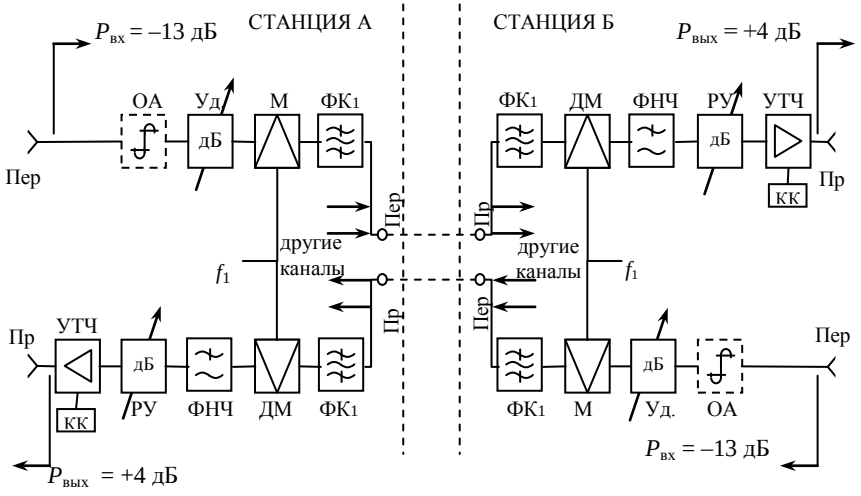

Рис.18.1

Как видно из рис.18.1, канал ТЧ электрически представляет собой четырехполюсник. Обобщенная структурная схема канала ТЧ показана на рис.18.2.

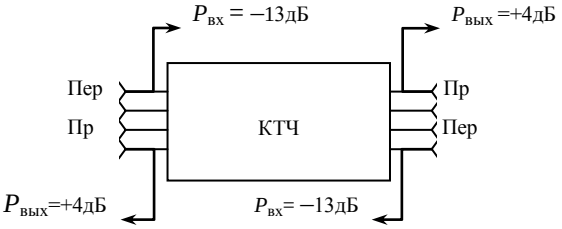

Рис. 18.2

В зависимости от схемы окончания канал ТЧ может быть в одном из четырех режимов.

1. Схема 4-х проводного окончания (режим 4Пр) – это основной режим канала (рис.18.2). Он используется для работы 4-проводных оконечных устройств: аппаратура засекречивания, аппаратура передачи данных, аппаратура тонального телеграфирования и др. Номинальный уровень входного сигнала (гнезда Пер) $p_{вх}$ = - 13 дБ, выходного сигнала (гнезда Пр) $p_{вых}$ = 4 дБ. 2. Схема 4-х проводного транзита (режим 4ПрТр). Для получения этого режима на вход канала (рис.18.2) (гнезда Пер), включается удлинитель с затуханием 17 дБ. В этом случае входной и выходной уровни одинаковы $p_{вх} = p_{вых}$ = 4 дБ. Этот режим предназначен для транзитного соединения каналов ТЧ. 3. Схема 2-х проводного окончания (режим 2ПрОк), образуется с помощью дифференциальной системы (ДС) для организации телефонного канала электросвязи (рис.18.3). Режим 2ПрОк применяется при подключении к каналу ТЧ абонентских телефонных аппаратов непосредственно или через коммутатор (АТС). В этом случае номинальные уровни имеют значения $p_{вх}$ = 0 дБ, $p_{вых}$ = 7 дБ. 4. Схема 2-х проводного транзита (режим 2ПрТр). Режим 2ПрТр (рис.18.4) применяется для временного 2-х проводного транзита (соединение на время разговора) двух телефонных каналов на коммутаторе. В режиме 2-х проводного транзита отключается (шунтируется) транзитный удлинитель (ТУ) с затуханием 3,5 дБ и уровни передачи и приема (гнезда 2Пр) одинаковы: $p_{вх} = p_{вых}$ = -3,5 дБ. Транзитные удлинители могут включаться и выключаться на 2-х проводном входе канала непосредственно в аппаратуре каналообразования или на коммутаторе.

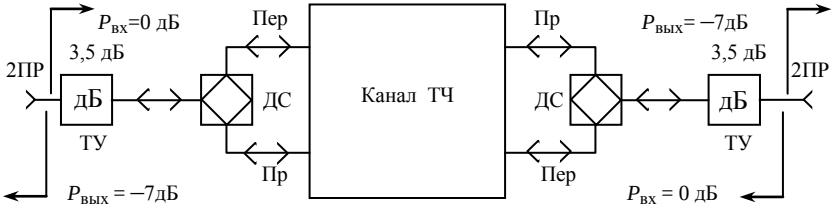

Рис. 18.3

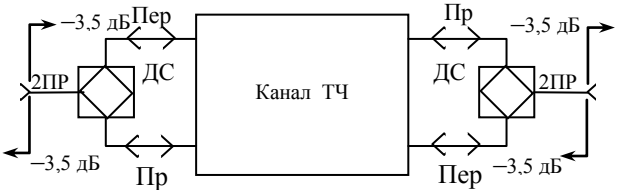

Рис.18.4

В настоящее время электрические параметры канала ТЧ подразделяются на следующие виды (группы): общие параметры, которые не подлежат настройке и контролю в процессе эксплуатации; основные параметры (подлежат настройке и эксплуатационному контролю); дополнительные параметры канала ТЧ, представляемого во вторичные сети для передачи данных, факсимильной передачи, тонального телеграфирования и т.п. (подлежат настройке и эксплуатационному контролю), и для обеспечения норм на эти параметры допускается подбор каналов ТЧ. Имеется также ряд дополнительных параметров, характерных только для телефонных каналов электросвязи.

Ниже рассмотрены физический смысл (определения), методы нормирование, порядок измерения и оценки общих, основных и дополнительных параметров канала ТЧ.

18.2. Общие параметры канала ТЧ

Каналы ТЧ независимо от системы передачи (АСП или ЦСП), используемой среды распространения (проводные, радиосистемы), протяженности и структуры (число транзитов по ТЧ и ГТ), должны обеспечивать общие электрические параметры, приведенные в таблице 18.1.

Эффективно передаваемая полоса частот (ЭППЧ) – это полоса, на границах которой остаточное затухание не более чем на 8,7 дБ (1Нп) больше относительно затухания на частоте 1020 Гц.

Коэффициент отражения (затухание несогласованности) входного (выходного) сопротивлений в полосе эффективно передаваемых частот характеризует его отклонение от номинала. Коэффициенты отражения δ определяются по формулам

$$\delta_{\text{вх}} = \left|\frac{Z_{\text{вх}} - Z_{\text{г}}}{Z_{\text{вх}} + Z_{\text{г}}}\right|, \quad \delta_{\text{вых}} = \left|\frac{Z_{\text{вых}} - Z_{\text{н}}}{Z_{\text{вых}} + Z_{\text{н}}}\right|, \tag{18.1}$$

а затухания несогласованности $a_{\text{н}}$

$$a_{\text{нвх}} = 20\lg\frac{1}{\delta_{\text{вх}}}, \quad a_{\text{нвых}} = 20\lg\frac{1}{\delta_{\text{вых}}}, \tag{18.2}$$

где $Z_{\text{вх}}Z_{\text{вых}}$ – входное, выходное сопротивление, $Z_{\text{г}}Z_{\text{н}}$ – выходное сопротивление генератора (источника) сигнала и сопротивление нагрузки канала на его выходе.

Общие параметры канала ТЧ

Таблица 18.1

№ п/п	Электрический параметр	Нормированные значения
1.	Полоса эффективно передаваемых частот, Гц	300…3400
2.	Номинальные относительные уровни передачи в основном режиме работы (4Пр) на частоте 1020 Гц, дБ	
	на передаче	–13
	на приеме	+ 4
3.	Номинальное значение остаточного затухания канала на частоте 1020 Гц, дБ	–17
	с точностью установки, дБ	± 0,5
4.	Номинальные значение входного и выходного сопротивлений, Ом	600
	при коэффициенте отражения, % (затухании несогласованности, дБ)	
	на передаче	≤15 (≥17)
	на приеме	≤ 10 (≥20)
5.	Число участков транзита по ТЧ в канале ТЧ должно быть не более, шт.:	
	а) на участке канала магистральной сети	5
	б) на участке канала магистральной и внутризоновой сети	7
	в) общее число с учетом магистральной, внутризоновых и местных сетей	11

Общие параметры канала ТЧ почти полностью определяются каналообразующей аппаратурой данной системы передачи. Они обеспечиваются при производстве и заводской настройке и контролируются по необходимости в процессе технического обслуживания или после ремонта. К общим параметрам канала ТЧ относятся также параметры его загрузки, приведенные в гл.8 (§ 8.6).

18.3. Основные электрические параметры канала ТЧ

При помощи основных параметров оценивается качество каналов ТЧ аналоговых и цифровых систем передачи, обусловленное сетевыми требованиями. Эти параметры при соблюдении норм определяют качество канала не менее чем на 95%.

Для всех рассматриваемых ниже электрических параметров приводятся настроечные или установочные нормы, а для некоторых и эксплуатационные или предельные нормы.

Следует иметь в виду, что нормы параметров определяются расчетами при проектировании аппаратуры и систем передачи в целом исходя из современных технических достижений и уточняются методом статистических исследований в сетях связи. Поэтому значения норм по мере накопления опыта эксплуатации и

совершенствования техники постоянно изменяются, приближаясь к величинам сетевых требований, которые обеспечивают наилучшее качество передачи любой информации.

18.3.1. Остаточное затухание и его стабильность

Определение. Существует три определения остаточного затухания.

С точки зрения канала как четырехполюсника *остаточным затуханием* называется его рабочее затухание, измеренное на частоте 1020 Гц при номинальных нагрузках (600 Ом) и определяется по формуле

$$a_r = 10 \lg \frac{P_0}{P_н}, \text{ дБ}, \qquad (18.3)$$

где P_0 – мощность, которую генератор частоты 1020 Гц отдает согласованной нагрузке; $P_н$ – мощность, выделяемая в нагрузке канала.

Физическая сущность названия “остаточное затухание” видна из другого определения: о*статочное затухание* – это разность между суммами всех затуханий и усилений в канале при условии согласованного включения всех его элементов

$$a_r = \sum_i a_i - \sum_j S_j, \qquad (18.4)$$

где a_i – затухание i-го элемента канала,S_j – усиление j-го усилителя в канале. Если первая сумма больше второй, то в канале остаточное затухание, и, наоборот, если вторая сумма больше, то остаточное затухание будет отрицательным, значит, в канале не затухание, а усиление S_r.

Третье определение остаточного затухания наиболее применимо на практике при измерениях. *Остаточным затуханием* канала называется разность между уровнями сигнала частотой 1020 Гц на входе $p_{вх}$ и выходе $p_{вых}$ канала при согласованных включениях генератора и измерителя уровня. Разность $p_{вых}$ и $p_{вх}$ при аналогичных условиях измерения даст значение остаточного усиления

$$a_r = p_{вх} - p_{вых}, \quad S_r = p_{вых} - p_{вх}. \qquad (18.5)$$

Остаточное затухание и особенно его стабильность во времени является одним из основных параметров, обеспечивающих качество передачи любых сигналов электросвязи.

Нормирование. Номинальные значения уровней на входе и выходе и остаточное затухание нормируются для различных режимов работы канала ТЧ на частоте 1020 Гц (табл. 18.2).

Погрешность установки остаточного затухания по сетевым требованиям должна быть не более 0,5 дБ (0,06 Нп).

Допустимая величина среднеквадратического отклонения остаточного затухания (усиления) в канале во времени от его среднего значения на частоте 1020 Гц должна быть:

а) для каналов ТЧ, образованных АСП, находящихся в первичных сетевых трактах с групповой автоматической регулировкой усиления (АРУ):
для простого канала ТЧ протяженностью до 2500 км не более 1,0 дБ;
для простого канала протяженностью L км

$$\Delta a_r \le 1\sqrt{L/2500}, \text{ дБ}; \tag{18.6}$$

для составного канала

$$\Delta a_r \le 1{,}0\sqrt{n}, \text{ дБ} \tag{18.7}$$

б) для каналов, находящихся в первичных сетевых трактах без групповых АРУ: для простого канала протяженностью до 2500 км $\Delta a_r \le$ 1,5 дБ;
для простого канала протяженностью L км

$$\Delta a_r \le 1{,}5\sqrt{L/2500}, \text{ дБ}; \tag{18.8}$$

для составного канала

$$\Delta a_r \le 1{,}5\sqrt{n}, \text{ дБ}, \tag{18.9}$$

где n – число участков транзита по ТЧ (простых каналов).

Режимы канала ТЧ и их параметры

Таблица 18.2

Режим канала	Уровень на входе канала $p_{вх}$, дБ / Нп	Уровень на выходе канала $p_{вых}$, дБ / Нп	Остаточное затухание a_r, дБ / Нп
4ПР ОК	–13,0 / –1,5	+4,0 / +0,5	–17,0 / –2,0
4ПР ТР	+4,0 / +0,5	+4,0 / +0,5	0 / 0
2ПР ОК	0 / 0	–7,0 / –0,8	7,0 / 0,8
2ПР ТР	–3,5 / –0,4	–3,5 / –0,4	0 / 0

Для каналов ТЧ, образованных в ЦСП, параметр стабильности a_r не нормируется. Поэтому в смешанных каналах нормы определяются для АСП.

Разность между средней и номинальной величинами остаточного затухания должна быть не более 0,5 дБ.

Максимальное значение отклонения остаточного затухания за любой час от его номинального значения при наличии на сетевых трактах АРУ должно быть с вероятностью 0,95: а) для простых каналов ТЧ протяженностью до 2500 км

$$\Delta a_{r\max} \le \pm 2{,}5 \text{ дБ}, \tag{18.10}$$

б) для простых каналов ТЧ протяженностью L км

$$\Delta a_{r\max} \le \pm 2{,}5\sqrt{L/2500}, \text{ дБ}, \tag{18.11}$$

в) для составных каналов:

$$\Delta a_{r\max} \le \pm 2{,}5\sqrt{n}, \text{ дБ}, \tag{18.12}$$

Эксплуатационная норма максимального отклонения остаточного затухания при разовых измерениях в простом канале $\Delta a_{rmax} \leq \pm 2{,}5$ дБ, в составном канале $a_{rmax} \leq \pm 3{,}5$ дБ.

Измерение и оценка. Измерение остаточного затухания производится методом разности уровней с использованием известного генератора (см. приложение 1). Схема измерения канала в режиме 4 Пр приведена на рис. 18.5.

Порядок измерений: На вход канала ТЧ в точку номинального относительного уровня (в данном режиме минус 13 дБ) от измерительного генератора (ИГ) с выходным сопротивлением $Z_г$ = 600 Ом подать сигнал частотой 1020 Гц с измерительным уровнем $p_{вх}$ = –23 дБ (во избежание перегрузки групповых трактов на 10 дБ ниже номинального относительного уровня). К выходу канала ТЧ в точке плюс 4 дБ подключить измеритель уровня (ИУ) с входным сопротивлением $Z_{иу}$ = 600 Ом и измерить выходной уровень $p_{вых}$. Остаточное затухание (усиление) вычислить по формулам $a_г = p_{вх} - p_{вых}$, $S_г = p_{вх} - p_{вых}$. При необходимости регулировка остаточного затухания (выходного) уровня осуществляется регулятором усиления (РУ) в тракте приема канала (рис.18.1).

Примечания: 1. Измерение и установку остаточного затухания (усиления) канала в режиме 4Пр можно производить одновременно в обоих направлениях, в режиме 2Пр – поочередно. 2. Измерение в других режимах канала проводится аналогично с учетом номинальных уровней передачи.3. Измерения с использованием номинальных уровней передачи можно проводить только во время настроечных работ или при техническом обслуживании системы передачи. Остаточное затухание считается в норме, если полученное значение равно номинальному (см. табл.18.2) с точностью ±0,5 дБ.

Измерение величины среднеквадратического отклонения остаточного затухания (усиления) от его среднего значения выполняется аналогично описанному выше алгоритму в течение не менее 3 суток с отсчетом показаний через 1 час. В период этих измерений запрещается производить регулировки усиления. Для обработки результатов измерений используется статистический метод оценки. Из полученного количества измерений остаточного затухания a_{ri} (где i=1, 2…m)

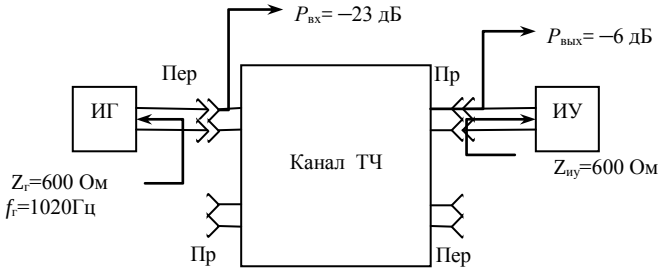

Рис.18.5

определяется среднеарифметическое значение

$$a_{r\text{ср}} \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} a_{ri} \qquad (18.13)$$

и среднеквадратическое отклонение

$$\Delta a_r = \sqrt{\frac{1}{m-1}\sum_{i=1}^{m}(a_{ri} - a_{r\text{ср}})^2}\ , \qquad (18.14)$$

где a_{ri} – результат i-го измерения; m – общее число измерений. Рассчитанные значения среднеквадратического отклонения сравниваются с нормой.

Для определения максимального отклонения остаточного затухания (усиления) от номинального значения отсчеты показаний производятся в течение часа через одну минуту. Вычисляется процент случаев М, при которых максимальное отклонение остаточного затухания от его номинального значения превышает норму

$$\text{M} = (k / m)100\%, \qquad (18.15)$$

где m – общее число измерений; k – число измерений, при которых отклонение остаточного затухания от номинальной величины превышает норму. Канал считается в норме, если не более 5% измерений отклоняется от номинальных значений остаточного затухания (усиления).

18.3.2. Частотная характеристика остаточного затухания

Определение. Частотной характеристикой остаточного затухания называется зависимость его от частоты $a_r = \varphi(f)$. Этот параметр определяет величину амплитудно-частотных искажений сигнала, передаваемого по каналу. Они обусловлены главным образом количеством и качеством канальных полосовых фильтров в аппаратуре канального преобразования оконечных и транзитных пунктов по ТЧ. Поскольку каждый транзит по ТЧ увеличивает количество каскадно включенных в канал полосовых канальных фильтров, то с увеличением числа таких транзитов ухудшается частотная характеристика остаточного затухания. Амплитудно-частотные искажения в канале отрицательно сказываются на качестве передачи сигналов любого вида связи, но особенно существенно влияют на передачу дискретной информации (сигналов передачи данных, тонального телеграфирования и т.п.).

Нормирование. Частотная характеристика остаточного затухания нормируется в эффективно передаваемой полосе частот канала. Поэтому она и определяет эту полосу. *Эффективно передаваемой полосой частот канала ТЧ* называется полоса, в пределах которой при любой дальности связи остаточное затухание превышает свое значение на частоте 1020 Гц не более чем на 8,7 дБ. Нормы на частотную характеристику канала задаются в виде частотной зависимости от-

клонения между остаточным затуханием на данной частоте и остаточным затуханием на частоте 1020 Гц:

$$\Delta a_r(f) = a_{rf} - a_{r1020} \text{ или } \Delta a_r(f) = p_{\text{вых}1020} - p_f \qquad (18.16)$$

Нормы $\Delta a_r(f)$ для каналов разной структуры, образованных в АСП и ЦСП с использованием современной каналообразующей аппаратуры КОА (СИП-300 и САЦО) приведены в таблицах 18.3 и 18.4. Для составных каналов с разнотипной каналообразующей аппаратурой, (в том числе и смешанных каналов) для каждой частоты рассчитывается $\Delta a_r(f)$ ЭППЧ по эмпирической формуле

$$\Delta a_{rf} = \sum_{i=1}^{k} \Delta a_{\text{ср}i} \cdot n_i + 3\sqrt{\sum_{i=1}^{k} \sigma(\Delta a_r)_i \cdot n_i}\ , \qquad (18.17)$$

где $\Delta a_{\text{ср}i}$ и $\sigma(\Delta a_r)_i$ – усредненное отклонение среднего значения остаточного затухания и среднеквадратическое отклонение остаточного затухания на частоте f от значения на частоте 1020 Гц в простом канале для i-го типа КОА (таблица 18.5), n_i – число простых каналов с i-м типом КОА, k – число типов КОА в составном канале.

Снижение Δa_r постоянно в ЭППЧ канала и зависит от его структуры (нижняя строка таблиц 18.3 и 18.4).

Нормы $\Delta a_r(f)$ каналов ТЧ АСП, образованных с помощью аппаратуры СИП-300

Таблица 18.3

Полоса частот, Гц	Число транзитных участков ТЧ											
	Превышение остаточного затухания относительно его значения на частоте 1020 Гц ,дБ											
300…400	1,4	2,3	3	3,7	4,3	5	5,6	6,2	6,8	7,4	8	8,7
400…600	0,8	1,2	1,6	1,9	2,3	2,6	2,8	3,2	3,5	3,7	4,1	4,3
600…2400	0,6	0,9	1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,2
2400…3000	0,8	1,2	1,6	1,9	2,3	2,6	2,8	3,2	3,5	3,7	4,1	4,3
3000…3400	1,4	2,3	3	3,7	4,3	5	5,6	6,2	6,8	7,4	8	8,7
	Снижение остаточного затухания относительно его значения на частоте 1020 Гц,дБ											
300…3400	0,5	0,9	1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,2

Нормы $\Delta a_r(f)$ каналов ТЧ, образованных в ЦСП с помощью аппаратуры САЦО

Таблица 18.4

Полоса частот, Гц	Число транзитных участков ТЧ (простых каналов)											
	Превышение остаточного затухания относительно его значения на частоте 1020 Гц (дБ)											
300…400	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0
400…600	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0
600…2400	0,5	0,9	1,26	1,62	1,97	2,31	2,66	3,0	3,33	3,66	4,0	4,33
2400…3000	0,8	0,9	1,24	1,6	1,95	2,3	2,65	3,0	3,33	3,67	4,0	4,34
3000…3400	1,3	2,33	3,36	4,38	5,40	6,38	7,38	8,37	9,36	10,34	11,32	12,3
	Снижение остаточного затухания относительно его значения на частоте 1020 Гц (дБ)											
300…3400	0,5	0,9	1,0	1,2	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2

Статистические числовые характеристики АЧХ простых каналов ТЧ, образованных с помощью аппаратуры СИП-300, САЦО

Таблица 18.5

Полоса частот, Гц	СИП-300		САЦО	
	$\Delta a_{ср}$, дБ	$\sigma(\Delta a_r)$, дБ	$\Delta a_{ср}$, дБ	$\sigma(\Delta a_r)$, дБ
300…400	0,45	0,31	- 0,03	0,08
400…600	0,18	0,21	-0,08	0,06
600…2400	0.01	0.20	0.3	0.04
2400…3000	0,18	0,21	0,3	0,07
3000…3400	0,45	0,31	0,93	0,11

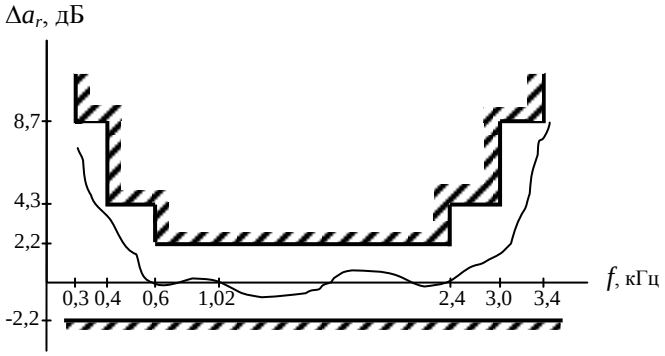

Рис.18.6

При использовании разнотипного каналообразующего оборудования в простом канале ТЧ расчет проводится для оборудования, имеющего худшие параметры. Кроме того, требуется, чтобы в полосе частот 400…3000 Гц разность между двумя значениями остаточного затухания, измеренными на двух любых частотах, отстоящих одна от другой на 200 Гц, не превышала значения 2 дБ.

Для удобства пользования на узлах связи по таблицам строятся графики-шаблоны для различной структуры канала (количества простых каналов). На рис.18.6 приведен такой график-шаблон для канала ТЧ максимальной дальности (12 простых каналов), рекомендованный МСЭ.

Если измеренная характеристика не выходит за пределы заштрихованной части, то канал по данному параметру находится в норме. Ограничение хода кривой частотной характеристики снизу (снижение Δa_r) определяется соображениями сохранения устойчивости канала во всей полосе частот при переводе его в двухпроводное окончание. Ограничение сверху определяется допустимыми амплитудно-частотными искажениями сигналов в пределах ЭППЧ. Суммирование амплитудно-частотных искажений в зависимости от числа простых каналов n производится по формуле

$$\Delta a_{r\,n} = k_1 \cdot n + k_2 \sqrt{n} \qquad (18.18)$$

Коэффициенты k_1 и k_2 могут быть определены аналитически для каждой области частот следующим образом. В технических описаниях аппаратуры, как правило, даются нормы Δa_{r1} на один простой канал и указывается допустимое число таких каналов n_{max} при максимальной дальности. Пользуясь нормами на канал максимальной дальности (например, табл.18.3 при n = 12) и формулой (18.18), для каждой области частот с известными Δa_{r1} и Δa_{rmax} можно составить два уравнения:

$$\Delta a_{r1} = k_1 \cdot 1 + k_2 \sqrt{1}\ ; \qquad (18.19)$$

$$\Delta a_{rmax} = k_1 n_{max} + k_2 \sqrt{n_{max}}\ .$$

Из системы уравнений (18.19) находятся k_1 и k_2, по которым, применяя формулу (18.18), определяются нормы для любого числа $n < n_{max}$.

Измерение и оценка. Измерение частотной характеристики остаточного затухания (усиления) производится по схеме измерения остаточного затухания (рис.18.5) в следующем порядке: 1.Установить номинальное значение остаточного затухания канала ТЧ на частоте 1020 Гц. 2.На вход канала ТЧ от измерительного генератора с $Z_Г$=600 Ом в точку с номинальным относительным уровнем –13 дБ подать сигнал с постоянным измерительным уровнем минус 23 дБ поочередно на частотах 300, 400, 600, 1020, 1600, 2000, 2400, 3000, 3400 Гц. 3.На выходе канала ТЧ в точке с номинальным уровнем +4 дБ с помощью указателя уровня измерить уровень сигналов этих частот. 4.Вычислить отклонения

остаточного затухания Δa_r по формуле (18.16) на каждой частоте и построить характеристику $\Delta a_r(f)$ на графике-шаблоне данной структуры канала.

В обратном направлении измерения производятся аналогично.

Если неравномерность частотной характеристики канала превышает допустимые значения, приведенные в табл.18.3 и 18.4, или выходят за пределы соответствующего графика-шаблона, необходимо произвести ее коррекцию путем перепайки корректирующих контуров КК в цепи обратной связи усилителя тональной частоты тракта приема (рис.18.1).

Примечание. Измерения начинаются и заканчиваются измерениями на частоте 1020 Гц. Расхождения между показаниями выходного уровня в начале и конце измерений должно быть не более 0,5 дБ. Точность установки частоты должна быть в пределах ± 5 Гц.

18.3.3. Шумы в канале

Шумы в канале ТЧ многоканальных систем передачи являются основной причиной, которая отрицательно сказывается на качестве передачи любых видов сигналов. Поэтому требуется обеспечивать необходимую защищенность канала от шума, определяемую превышением уровня сигнала над уровнем шума на выходе канала.

При телефонной передаче мешающее действие отдельных спектральных составляющих шума неодинаково, поэтому оценка шума производится взвешенными единицами измерения, которые получили название псофометрических. *Псофометрическим, или взвешенным, напряжением (мощностью) шума* называется действующее значение напряжения (мощности) чистого тона с частотой 800 Гц, мешающее воздействие которого на телефонную передачу эквивалентно мешающему воздействию шума во всей полосе канала.

Для оценки влияния шума на качество приема сигналов других видов связи необходимо знать среднее значение невзвешенных или интегральных величин. *Невзвешенным (интегральным) напряжением (мощностью) шума на выходе канала называют* действующее значение напряжения (мощности) шума в полосе канала. Взвешенные и невзвешенные значения шума нормируются для точки нулевого относительного уровня (ТОНУ). В связи с этим применяются обозначения, например: 0,5 мВ0 – пять десятых милливольта в точке относительного уровня 0 дБ (невзвешенный); 4nВтп0 – четыре пиковатта псофометрических (взвешенный) в ТОНУ.

Взвешенный и невзвешенный шумы в канале ТЧ взаимосвязаны через коэффициент k = 0,75:

$$u_{\text{псоф}} = k u_{\text{д}}; \qquad P_{\text{псоф}} = k^2 P_{\text{д}}; \qquad (18.20)$$

где $u_{\text{д}}$, $P_{\text{д}}$– действующее (невзвешенное) значение напряжения, мощности шума.

Нормирование. По рекомендации МСЭ-Т норма псофометрической мощности шума на выходе канала в ТОНУ ($p_с$ = 0 дБ) в час наибольшей загрузки системы передачи определена для эталонной (гипотетической) цепи канала (см. гл. 17, рис.17.7) равной $P_ш$ =10000 пВтп0, что соответствует уровню шума $p_{шо}$ = –50 дБ и шумовой защищенности $a_ш = p_с - p_{ш0}$ = 50 дБ. Общая мощность распределяется следующим образом: на шумы линейного тракта 7500 пВт, на шумы оконечных и транзитных пунктов 2500 пВт. С учетом протяженности и структуры эталонной цепи находим: за счет одного километра линии мощность шума равна 7500/2500=3 пВт, на простой канал приходится 2500/3=833 пВт, из них 500 пВт – за счет двух оконечных станций или одного транзитного пункта по ТЧ и 333 пВт – за счет пункта транзита по групповым трактам. Отсюда получаем формулу для определения нормы мощности шума при разной протяженности и структуре канала кабельных аналоговых систем передачи

$$P_ш \le 3L + 500(k+1) + 333m \text{, пВтп0,} \qquad (18.21)$$

где L – протяженность канала, км, k – число транзитов по ТЧ, m – число транзитов по групповым трактам.

Из формулы видно, что на 1 км линейного тракта отводится 3пВт, а остальной шум – за счет преобразовательного оборудования оконечных и транзитных пунктов. Аналогичные нормы имеются для каналов магистральных, внутризоновых и местных сетей связи ЕСЭ. При этом нормы ЕСЭ более жесткие, чем рекомендации МСЭ. Так, исходя из нормы шума для канала ТЧ ЕСЭ максимальной дальности (L=13900 км), определяется норма мощности шума для канала протяженностью L км и любой структуры

$$P_ш \le 1L + 300n_1 + 80(n_2 + n_3) + 100(n_4 + n_5) \text{ ,пВтп0,} \qquad (18.22)$$

где n_1 – число пар канальных преобразователей, n_2 – число пар предгрупповых преобразователей, n_3 – число пар первичных преобразователей, n_4 – число пар вторичных преобразователей, n_5 – число пар третичных преобразователей.
Здесь на 1 км линейного тракта отводится только 1 пВт, а остальной шум – за счет различных преобразователей оконечных и транзитных пунктов.

Для кабельных систем передачи сетей связи РФ норма среднеминутной мощности определяется с учетом разнотипного оборудования по формулам:

а) для канала ТЧ, образованного в кабельной АСП

$$P_{шасп} = \sum_{i=1}^{k} P_{лт\,i} L_i + \sum_{j=1}^{r} P_{ст\,j} \text{ ,пВтп0,} \qquad (18.23)$$

где $P_{лтi}$ – среднее километрическое значение псофометрической мощности шума i-го линейного тракта (табл.18.6); L_i– протяженность i-го линейного тракта; $P_{стj}$ – среднее значение псофометрической мощности станционного шума j-го транзитного пункта по ТЧ и ГТ, пары оконечных станций (табл.18.8); k и r – число линейных трактов и станций (пунктов) соответственно;

б) для смешанных каналов ТЧ

$$P_{ш} \le P_{ш\,асп} + 320 + 160(m-1),\ \text{пВтп0} \qquad (18.24)$$

где m – число участков транзита по ТЧ в ЦСП.

В простых и составных каналах ТЧ, предоставляемых для передачи сигналов неречевой информации (тональный телеграф, данные и т.п.) нормируется среднеминутная невзвешенная мощность шума или ее уровень в ТОНУ:

а) кабельных АСП

$$P_{шасп} = 18 \cdot 10^3 \cdot (L/2500),\ \text{пВт0},$$

$$p_{шасп} = -47{,}5 + 10\lg\cdot(L/2500)\ \text{,дБм0}; \qquad (18.25)$$

б) ЦСП:

$$P_{шцсп} = [320 + 160(m-1)]\cdot 1{,}79\ \text{, пВт0},$$

$$p_{шцсп} = -65{,}4 + 10\lg n\ \text{,дБм0}; \qquad (18.26)$$

в) для смешанных каналов:

$$P_{ш} = [P_{шасп} + 320 + 160(m-1)]1{,}79\ \text{,пВт0}. \qquad (18.27)$$

Анализ шума при разовых измерениях производится по эксплуатационным нормам, приведенным в таблице 18.7 для простых и составных каналов различной протяженности. При «разовых» измерениях в каналах кабельных и воздушных (кроме периодов изморози и гололеда) систем передачи указанные максимальные значения шума не должны ни разу превышаться за 15-минутный сеанс измерений.

Полученные нормы мощности шума для ТОНУ следует пересчитать для точки относительного уровня канала, где будет производиться измерение $p_{вых}$.

$$P_{швых} = P_{ш0} \cdot 10^{0{,}1 p_{вых}}\ \text{,пВтп.} \qquad (18.28)$$

Измерительные приборы позволяют измерять уровень или напряжение шума, поэтому норму мощности шума для сравнения следует пересчитать в эти единицы измерения:

в норму уровня псофометрического шума

$$p_{ш} = 10\lg P_{швых} \cdot 10^{-6},\ \text{дБп}, \qquad (18.29)$$

в норму псофометрического напряжения

$$U_{ш} = \sqrt{P_{швых} \cdot 600 \cdot 10^{-6}}\ ,\ \ \text{мВп}. \qquad (18.30)$$

В формулах (18.28)…(18.30) значение $P_{ш}$ подставляется в пиковаттах.

Для получения невзвешенного (действующего) напряжения следует осуществить пересчет по формуле

$$U_{шд} = U_{ш} / 0{,}75 \qquad (18.31)$$

Среднеминутное значение псофометрической мощности
шума линейных трактов кабельных АСП в полосе канала ТЧ

Таблица 18.6

Тип системы передачи	Максимальная среднечасовая мощность загрузки систем передачи, дБм0	Суммарные шумы, ПВтп0	Примечания
К-3600,	22	1*L*	
К-1920П	22	1*L*	
К-1920У	19,8	2,2*L*	
К-1920	18,7	3*L*	*L* – длина линейного тракта, км
К-1020С	17	3*L*	
ВК-960	16	3*L*	
К-300, -300Р	12	3*L*	
К-120	10	3*L*	
К-60П,П-306	9	3L	
К-24-2, -24Р	7	3*L*	
В-12-2, -12-3	2	3,4*L*	Без учета влияния параллельных цепей
В-3-3	4	4*L*	

Максимальные допустимые среднеминутные значения шума
при разовых измерениях

Таблица 18.7

Единицы Измерений \ Протяжённость, км от до		≤320	321 640	641 1600	1601 2500	2501 5000	5001 10000	10001 20000
$p_ш$	дБмп0	-55	-53	-51	-49	-46	-43	-40
	дБм0	-52,5	-50,5	-48,5	-46,5	-43,5	-40,5	-37,5
$U_ш$	мВп0	2,18	2,75	3,46	4,36	6,15	8,69	12,3
	мВ0	2,9	3,67	4,63	5,82	8,22	11,6	16,4
$P_ш \cdot 10^3$	пВтп0	3,2	5	8	13	25	50	100
	пВт0	5,7	8,95	14,3	23,3	45	90	179

Примечание. Если измеренный уровень шума превышает соответствующее значение на 5 дБ, то принимаются меры для определения причин и их устранения.

Существующие нормы шума на выходе канала, образованного различными аналоговыми системами передачи (воздушными, кабельными, радиорелейными, тропосферными, спутниковыми), а также ЦСП более полно приведены в нормативном документе Министерства информатизации и связи РФ [14].

Средреднеминутные псофометрическаие мощности суммарных

и собственных шумов, вносимых оконечными станциями АСП

Таблица 18.8

Аппаратура	Загрузка (среднеминутная мощность),	Суммарные шумы в канале ТЧ, пВтп0	Собственные шумы в канале ТЧ, пВтп0
1	2	3	4
Две оконечные станции или узловые станции с транзитом по ТЧ, оборудованные унифицированной преобразовательной аппаратурой:			
- без ТГ	—	500	200
- с ТГ	—	600	250
В том числе:			
1.1. Аппаратура индивидуального (канального) преобразования СИП-60	4(ПГ)	300	100
1.2. Аппаратура первичного группового преобразования	8 (ВГ)	100	50
1.3. Аппаратура вторичного группового преобразования	15 (ТГ)	100	50
1.4. Аппаратура третичного группопвого преобразования	–	100	50
2. Две оконечные станции АСП ($N \leq 60$ кан.):			
К-60, V-60, П-480, П-306	9	600	250
К-60П, V-60Е, БК-60-2	11	550	200
К-24-2	8	600	250
К-24-Р	8	400	230
КВ-12	4	600	250
В-12-2, БО-12-3	2,1	700	250
В-12-3	2,1	800	250
В-3-3	3,5	700	550
В том числе:			
2.1. Аппаратура индивидуального (канального) преобразования			
К-60. V-60. П-480	4 (ПГ)	300	100
К-60П, V-60Е, П-306	4 (ПГ)	300	100
К-24-2. К-24-Р	4 (ПГ)	300	100
КВ-12	4 (ПГ)	300	100
В-12-2. БО-12-3	2.1(ПГ)	400	100
В-12-3	2.1(ПГ)	500	100
2.2. Аппаратура первичного группового пре-			
- К-60. V-60. П-480	9 (ВГ)	150	100
	11 (ВГ)	100	50
- К-24-2, К-24-Р	8 (ЛТ)	300	100

продолжение таблицы 18.8

1	2	3	4
-КВ-12	4 (ЛТ)	300	100
- В-12-2, В-12-3, БО-12-3	2,1(ЛТ)	300	100
2.3. Аппаратура вторичного группового преобразования СП:			
- К-60, V-60, П-480	9 (ЛТ)	150	100
- К-60П, V-60Е, БК-60-2, П-306	11 (ЛТ)	100	50

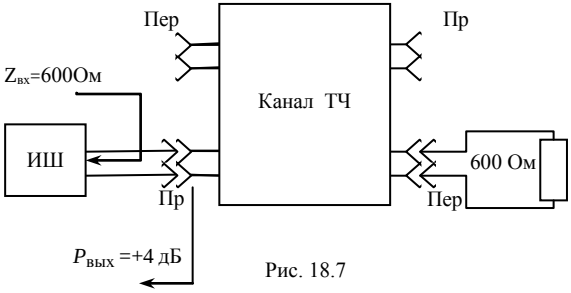

Рис. 18.7

Измерение и оценка. Измерение шума в канале ТЧ производится в обоих направлениях передачи на выходе канала в час наибольшей загрузки по схеме рис. 18.7. Измеритель шума ИШ позволяет измерять как взвешенное (псофометрическое), так и невзвешенное (действующее) значение напряжения или уровня шума.

Порядок измерений: 1. Установить номинальное остаточное затухание канала ТЧ. 2. К входу канала (Пер) на противоположном конце канала подключить нагрузку 600 Ом. 3.К выходу канала (Пр) подключить измеритель шума ИШ и измерить среднее псофометрическое или действующее напряжение шума в течение любого часа наибольшей нагрузки с интервалом между замерами 1 мин. Показания следует отсчитывать за период 5 с. При измерениях фиксировать среднюю величину помехи и не учитывать отдельные резкие отклонения стрелки прибора (за один замер допускается не более 2…3 выбросов). 4.Вычислить среднюю величину напряжения шума за 1 ч по формуле

$$U_{\text{ш ср}} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} U_{\text{ш}\,i}\ , \qquad (18.32)$$

где $U_{\text{ш}i}$ – результат i-го измерения, m – общее число измерений.

5. Сравнить полученное значение с нормой. Измеренная величина шума должна быть не более рассчитанной нормы.

18.3.4. Защищенность от внятных переходных влияний между каналами

Определение. Внятной называется помеха, частота которой в подверженном влиянию канале равна частоте сигнала во влияющем канале. Внятные взаимные влияния (помехи) могут быть между одноименными каналами систем передачи, работающими по параллельным цепям проводных линий, за счет взаимных

влияний между цепями, а также между разными каналами одной и той же системы передачи за счет нелинейных взаимодействий сигналов в трактах.

В телефонных каналах связи внятные переходные помехи проявляются в виде прослушивания посторонних разговоров и тем самым мешают разговору собеседников, нарушают скрытность переговоров. При передаче по каналам дискретной информации переходная помеха ухудшает достоверность ее приема.

Защищенностью от внятной помехи называется разность между уровнями сигнала и внятной переходной помехи на выходе канала

$$a_з = p_с - p_{пп}. \qquad (18.33)$$

*Нормирование. З*ащищенность от внятных переходных помех между одноименными каналами параллельно работающих стационарных систем передачи симметричных кабельных линий протяженностью $L_0 = 2500$ км должен быть не менее 58 дБ для 90% комбинаций каналов и не менее 52 дБ – для всех комбинаций каналов, а между разными каналами параллельно работающих систем или одной системы передачи при L_0 = 2500 км $a_з \geq 70$ дБ для 90% комбинаций каналов и $a_з \geq 65$ дБ для всех комбинаций каналов.

Если параллельный пробег каналов составляет L км, то норма защищенности во всех случаях определяется по формуле

$$a_{з_L} = a_з + 10\lg(L_0 / L); \qquad (18.34)$$

Измерение и оценка. Защищенность от внятных переходных помех измеряется с использованием измерительного генератора и селективного (избирательного) измерителя уровня по схеме рис. 18.8.

Измерение производят в обоих направлениях передачи в часы минимальной нагрузки в следующем порядке: 1. Установить номинальное остаточное затухание (усиление) каналов ТЧ. 2. Вход подверженного влиянию канала и выход

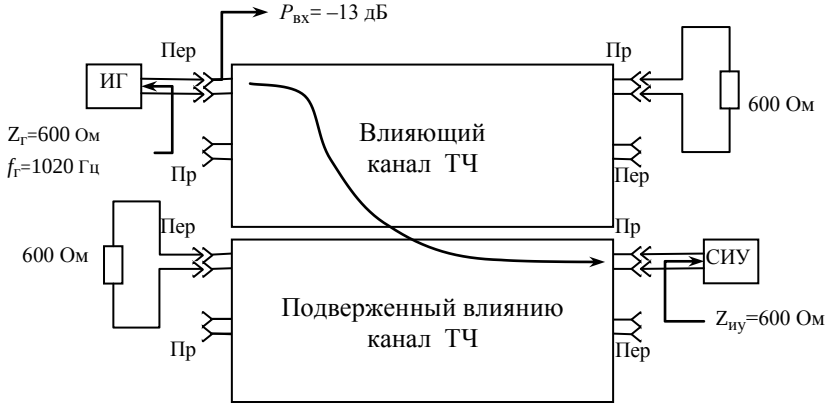

Рис. 18.8

влияющего канала нагрузить на сопротивление 600 Ом. 3. На вход влияющего канала подать от измерительного генератора ИГ ток частотой 1020 Гц с номинальным уровнем (-13 дБ в режиме 4Пр). 4. На выходе канала, подверженного влиянию, (на дальнем конце) в точке номинального измерительного уровня $p_с$ = 4 дБ селективным измерителем уровня СИУ измерить уровень переходной помехи $p_{пп}$ с частотой 1020 Гц. 5. Вычислить защищенность от внятного переходного влияния по формуле (18.33) и полученную величину сравнить с нормой. Защищенность считается в норме, если по величине она не менее нормированного значения.

Аналогично проводится измерение защищенности между этой же парой каналов в обратном направлении. Затем выбирается другая комбинация каналов, и выполняются такие же измерения.

18.3.5. Защищенность от внятных переходных влияний между направлениями передачи канала

Определение. Защищенностью от внятных переходных влияний между прямым и обратным направлениями передачи одного и того же канала ТЧ называется разность уровней сигнала $p_с$ и внятной переходной помехи на выходе канала $p_{пп}$, обусловленной сигналом, передаваемым в обратном направлении этого же канала $a_{зо} = p_с - p_{пп}$. Причинами влияния одного направления канала на обратное являются переходные помехи между цепями линий на ближний конец, между цепями станционного монтажа и в аппаратуре.

При использовании канала ТЧ для телефонной связи переход энергии с передачи на прием своего же канала проявляется в виде местного эффекта, и даже относительно сильное влияние не ухудшает качество телефонной связи.

При использовании канала ТЧ для передачи данных, сигналов тонального телеграфирования и т.п., когда передаваемые в разных направлениях канала сигналы являются независимыми, переход энергии с передачи на прием оказывает влияние на качество приема сигналов этих видов связи. *Нормирование.* Защищенность от внятных переходных влияний между разными направлениями передачи одного и того же канала ТЧ должна быть: а) для простого канала ТЧ, образованного в АСП с помощью каналообразующей аппаратуры СИП-60 с числом участков транзита по групповым трактам $N \le 10$, $a_{зо} \ge 50$ дБ, при $N >$ 10 $a_{з0} \ge 48$ дБ, а для СИП-300 при любом N $a_{зо} \ge 55$ дБ; б) для составного канала ТЧ, образованного в АСП с помощью каналообразующей аппаратуры

СИП-300 $a_{з01} \ge 55 - 10\lg n$;

СИП-60 при $n \le 3$ $a_{з02} \ge 48 - 10\lg n$; (18.35)

СИП-60 при $n \ge 4$ $a_{з02} \ge 44$ дБ;

в) при разнотипном каналообразующем оборудовании (СИП-60, СИП-300 и др.)

$$a_{з0} = 10\lg(10^{-0,1a_{з01}} + 10^{-0,1a_{з02}});\qquad (18.36)$$

г) для простого канала ТЧ, образованного в ЦСП, $a_{з0ц} \geq 60$ дБ;

д) для составного канала ТЧ, образованного в ЦСП

$$a_{з0ц} \geq 60 - 10\lg m;\qquad (18.37)$$

е) для смешанного к Рис.18.9

$$a_{з0} \geq 55 - 10\lg(n+m),\ \text{но не менее 44 дБ.}\qquad (18.38)$$

В приведенных формулах: n – число простых каналов в АСП; m – число простых каналов в ЦСП.

Для аналоговых систем передачи можно использовать и другую методику расчета норм: а) защищенность между направлениями передачи и приема канала однополосных стационарных и полевых 2-х кабельных, а также однокабельных двухполосных систем передачи протяженностью L_0 = 2500км (или в простом канале) должна быть $a_{з0} \geq$ 55 дБ; б) в однополосных однокабельных полевых системах передачи защищенность для дальности L_0 = 1000 км (или в простом канале) должна быть $a_{з0} \geq$ 35дБ. При протяженности канала L км (или n простых каналов в составном) указанные нормы уменьшаются на $10\lg(L/L_0)$, дБ (или на $10\lg n$, дБ).

Измерение и оценка. Измерение защищенности между направлениями передачи и приема в канале ТЧ производится в обоих направлениях передачи 4-х проводного канала ТЧ в часы минимальной загрузки системы передачи в следующем порядке (рис. 18.9): 1.Установить номинальное остаточное затухание канала ТЧ в обоих направлениях. На противоположной станции выход и вход канала нагрузить на сопротивление 600 Ом. 2. На вход канала (в тракт передачи) включить измерительный генератор ИГ ($Z_г$ = 600 Ом) и установить ток частоты 1020 Гц с номинальным уровнем минус 13 дБ. 3. К выходу тракта приема

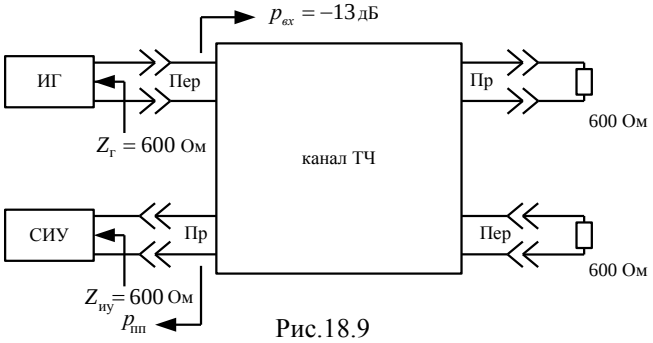

Рис.18.9

подключить селективный измеритель уровня СИУ ($Z_{иу}$ = 600 Ом) и измерить уровень внятной переходной помехи $p_{пп}$, то есть уровень частоты 1020 Гц. 4.Вычислить защищенность между направлениями передачи и приема по формуле $a_{зо} = p_с - p_{пп}$, где $p_с$ – номинальный относительный уровень сигнала равный + 4 дБ. 5. Полученное значение сравнить с нормой. Защищенность считается в норме, если это значение равно или больше нормированного.

Аналогично проводится измерение в обратном направлении (на противоположном конце канала ТЧ).

18.4. Дополнительные электрические параметры канала ТЧ

Оценка возможности использования канала ТЧ для передачи сигналов аппаратуры ТТ, ПД и других нетелефонных сигналов путем измерений и регулировок до норм дополнительных параметров канала ТЧ, рассмотрена ниже.

Для части дополнительных параметров в настоящее время отсутствует опыт оценки в процессе эксплуатации сетей связи и систем передачи, а для некоторых нет достаточно отработанных и серийно выпускаемых измерительных приборов. Однако нормы на эти параметры для сетевых каналов ТЧ определены и используются при разработке современных многоканальных систем передачи. К таким параметрам относятся следующие: величина и частость импульсных помех, глубина и частость кратковременных изменений уровня сигнала, скачкообразное изменение фазы передаваемого сигнала, дрожание фазы, защищенность от помех, возникающих из-за пульсаций источников питания.

18.4.1. Амплитудная характеристика

Определение. Амплитудной характеристикой канала ТЧ называется зависимость остаточного затухания от уровня сигнала на входе канала $a_r = \varphi(p_{вх})$. Эта характеристика нормируется на f = 1020 Гц. Она оценивает линейность канала на пороге его перегрузки. Вид амплитудной характеристики для канала ТЧ с двухпроводным оконечным и четырехпроводным окончаниями приведен на рис. 18.10 и 18.11 соответственно.

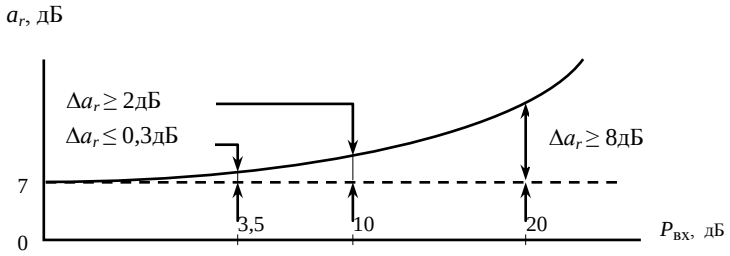

Рис. 18.10

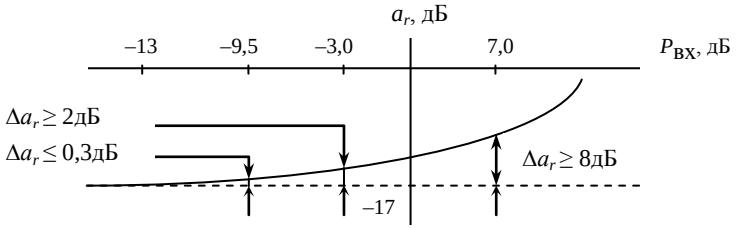

Рис.18.11

Во избежание перегрузки канала ТЧ и групповых устройств в современной аппаратуре многоканальных систем передачи с ЧРК на входе каждого канала ТЧ включается ограничитель амплитуд ОА (см. рис.18.1)

До порога ограничения (порога перегрузки) амплитудная характеристика (АХ) должна быть линейной, то есть остаточное затухание недолжно зависеть от уровня сигнала на входе канала. Отклонение амплитудной характеристики от линейной на этом участке объясняется главным образом нелинейными свойствам функциональных узлов аппаратуры каналообразования (модуляторы-демодуляторы, усилители тональной частоты) и групповых устройств, вызванных нарушением режимов их работы. Это приводит к росту нелинейных искажений в данном канале, а в случаях нарушения режимов работы в групповых устройствах – во всех каналах системы передачи.

В некоторых образцах стационарной и полевой аппаратуры прежних выпусков ограничитель амплитуд включается только в двухпроводном режиме окончания канала ТЧ, а при четырехпроводном окончании ограничитель отсутствует или выключается. В этом случае линейность канала должна сохраняться при большем диапазоне изменения входного уровня сигнала.

Нормирование. Нормы на АХ задаются для простого канала ТЧ с ОА: при повышении уровня на входе канала по отношению к номинальному на 3,5 дБ остаточное затухание должно оставаться постоянным с точностью 0,3 дБ; при повышении уровня на входе канала по отношению к номинальному на 10 дБ и 20 дБ остаточное затухание должно увеличиться (усиление уменьшится) не менее чем на 2 дБ и 8 дБ соответственно ($\Delta a_r \geq 8$дБ). Нормируемые точки изменения остаточного затухания Δa_r в простом канале показаны на графиках рис.18.10 и 18.11. Для канала ТЧ без ОА нормируется только одна точка при повышении уровня сигнала на входе канала относительного на 7 дБ. Остаточное затухание может увеличиться (а усиление уменьшиться) не более чем на 0,43 дБ.

Первая точка приведенных графиков АХ оценивает нелинейность канала ТЧ, а две другие точки характеризуют качество работы ограничителя амплитуд. Проверка работы ОА проводится только в простом канале при проведении технического обслуживания и закрытии связи по системе передачи.

В составном и смешанном канале ТЧ с ОА с n простых каналов АСП нормируется только первая точка: при повышении уровня сигнала на входе канала на 3,5 дБ относительно номинального для каналов АСП и на 3 дБ для смешанных каналов (АСП и ЦСП) остаточное затухание должно быть постоянным (с учетом его нестабильности во времени) с точностью не хуже $0{,}5\sqrt{n}$ дБ.

Для каналов ТЧ, образованных в ЦСП, контролируется порог перегрузки, который для простого канала ТЧ должен быть ≤ 3,14 ± 0,3 дБм0, то есть на вход канала может подаваться уровень $p_{вх}$ с превышением не более чем на 3,14 ± 0,3 дБ относительно номинального.

Измерение и оценка. Амплитудная характеристика измеряется в часы минимальной нагрузки на частоте 1020 Гц одним из двух методов (рис.18.12):

а) Метод разности уровней. Он используется при наличии измерительного генератора ИГ с точностью переключения уровней передачи сигнала не хуже 0,1дБ и измерителя уровней ИУ с точностью измерения не хуже ± 0,01дБ.

Порядок измерения канала в режиме 4Пр: 1. Подать на вход канала номинальный уровень сигнала частотой $f_г$ =1020 Гц ($p_{вх}$ = –13 дБ) и по прибору ИУ отрегулировать нормальное остаточное затухание ($p_{вых}$ = 4 дБ). 2.Увеличить уровень на входе относительно номинального на $\Delta p_{вх}$ = 3,5 дБ ($p'_{вх}$ = -9,5 дБ), измерить на противоположном конце канала $p'_{вых}$, определить $a'_r = p'_{вх} - p_{вых}$ и $\Delta a_r = a'_r - a_r$. Оценить линейность канала: она будет в норме, если $\Delta a_r \le 0{,}3$ дБ для простого канала или $\Delta a_r \le 0{,}5\sqrt{n}$ для составного. 3. Аналогично определить Δa_r при повышении $p_{вх}$ на 10 и 20 дБ относительно номинального и оценить работу ограничителя амплитуд. б) Компенсационный метод. Он применяется , если приборы ИГ и ИУ имеют точность переключения и измерения уровней хуже 0,1 дБ. На схеме рис. 18.12 включаются оба магазина затуханий между приборами и каналом. Измеритель уровня здесь является индикатором. Точность измерений определяют магазины затухания, которые должны обеспечивать изменение затуханий с точностью не хуже 0,01дБ.

Порядок измерения: 1.Установить затухание магазинов $a_{м31}$=30 дБ и $a_{м32}$=0 дБ. 2. Регулировкой выходного уровня ИГ установить на входе канала номи-

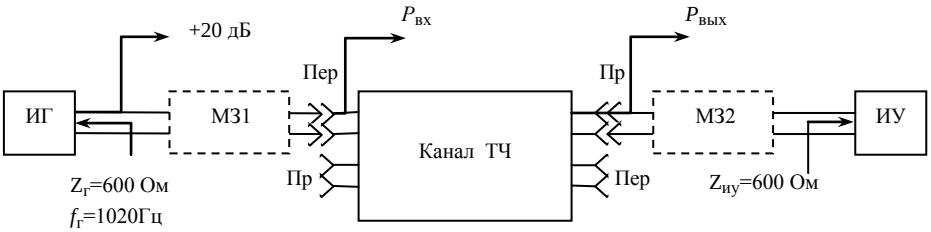

Рис.18.12

нальный измерительный уровень сигнала $p_{вх} = -13$ дБ и отрегулировать номинальное значение остаточного затуханя $a_{г0}(p_{вых} = 4$ дБ). 3. Увеличить уровень сигнала на входе канала на 3,5дБ уменьшением затухания М31 на $\Delta a_{м31}$ = 3,5 дБ, а на противоположном конце введением затухания М32 ($\Delta a_{м32}$) добиться прежнего показания индикатора уровня. Определить отклонение амплитудной ха-
рактеристики от прямой линии как разность изменения затуханий магазинов затухания $\Delta a_г = \Delta a_{м31} - \Delta a_{м32}$ и сравнить с нормой.

Аналогично измеряется $\Delta a_г$ при увеличении $p_{вх}$ на 10 и 20 дБ для оценки качества работы ограничителя амплитуд.

18.4.2. Коэффициент нелинейных искажений

Для оценки нелинейных искажений на линейном участке амплитудной характеристики (до порога перегрузки) используется коэффициент нелинейных искажений (или коэффициент гармоник).

Определение. Коэффициентом нелинейных искажений называется отношение суммы квадратов амплитуд гармоник передаваемого сигнала в степени ½ , начиная со второй гармоники, к амплитуде первой гармоники этого сигнала на выходе канала, умноженное на 100%

$$k_н = \frac{(\sum_{n=2}^{\infty} U_{nг}^2)^{1/2}}{U_{1г}} \cdot 100\%, \qquad (18.39)$$

где $U_{nг}$ – амплитуды гармоник (начиная со второй) передаваемого сигнала на выходе канала, $U_{1г} = U_{вых}$ – амплитуда передаваемого измерительного (синусоидального) сигнала на выходе канала.

Нормирование. Нормы задаются на общий коэффициент гармоник $k_н$ и отдельно на коэффициент 3-й гармоники $k_{3г} = (U_{3г} / U_{1г})\cdot 100\%$. Величина коэффициента третьей гармоники нормируется исходя из особого влияния ее на работу

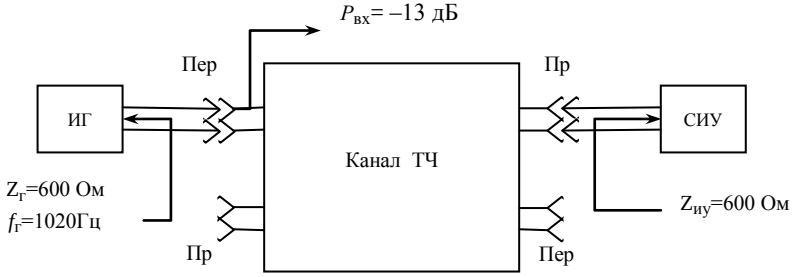

Рис.18.13

аппаратуры тонального телеграфирования.

Вместо коэффициентов нелинейности (коэффициентов гармоник) используются также затухания нелинейности

$$a_н = 20\lg(1/k_н) \text{ и } a_{3г} = 20\lg(1/k_{3г}). \qquad (18.40)$$

Независимо от числа простых каналов в составном коэффициент нелинейности должен быть не более 1,5%($a_н \geq 35$ дБ), коэффициент третьей гармоники – не более 1% ($a_{3г} \geq 40$ дБ).

*Измерение и оценка коэ*ффициентов гармоник производится по схеме рис.18.13 в обоих направлениях передачи с использованием анализатора спектра или селективного (избирательного) измерителя уровня (СИУ). Измерительный генератор (ИГ) должен быть с коэффициентом нелинейности не более 0,1…0,2%. Если используется генератор с худшим коэффициентом нелинейности, то на выходе его включается фильтр нижних частот с частотой среза 1020 Гц, подавляющий вторую и третью гармоники измерительного генератора до величин не менее 46 дБ.

Измерения проводятся в часы наименьшей нагрузки в следующем порядке: 1. Установить номинальное остаточное затухание (усиление) канала ТЧ. 2. На вход канала согласованно включить измерительный генератор ($f_г$ = 1020 Гц) с уровнем -13 дБ.3. К выходу канала согласованно подключить анализатор напряжений или СИУ и измерить напряжение гармоник $U_{2г}$, $U_{3г}$, а также напряжение измерительного сигнала (первой гармоники $U_{1г}$) или уровни этих напряжений. При измерении уровней их следует пересчитать в напряжения. Вычислить коэффициенты или затухания нелинейности, оценить линейность канала. Полученные значения коэффициентов должны быть не более, а затуханий не менее нормированных величин.

18.4.3. Фазовая характеристика

*Определение. Ф*азовой характеристикой канала ТЧ называется зависимость его рабочей фазы от частоты $b = \varphi(f)$. Примерный вид фазовой характеристики приведен на рис.18.14,а. На практике пользуются понятием группового времени прохождения (ГВП), которое определяется как производная от фазовой характеристики по частоте $t_{гр} = db/d\omega$, где $\omega = 2\pi f$. Зависимость группового времени прохождения от частоты в полосе частот канала от f_1 до f_2 приведена на рис. 18.14, б. В средней части канала фазовая характеристика близка к линейной, а по краям полосы наблюдается увеличение ее крутизны, что и отражается на характеристике ГВП. Не-линейность и частично общий наклон фазовой характеристики в канале ТЧ определяется в основном фильтрами аппаратуры канального преобразова-ния и зависит от их количества в трак-те, то есть от числа транзитов по ТЧ.

В ЭППЧ канала учитывают влияние среднего значения ГВП $t_{0гр}$ и отклонение ГВП от среднего значения $\Delta t_{гр}$. При большой величине $t_{0гр}$ затрудняется ведение беглого разговора, нарушается контакт между разговаривающими по каналу. При этом большое $t_{0гр}$ практически не сказывается на искажении сигнала, так как все его составляющие приходят к прием-ному концу с одинаковой задержкой. Отклонение группового времени $\Delta t_{гр}$ не оказывает заметного влияния на качество телефонной связи, но значительно влияет на передачу по каналу дискретных сигналов, искажая их форму из-за различной скорости прохождения частотных составляющих таких сигналов.

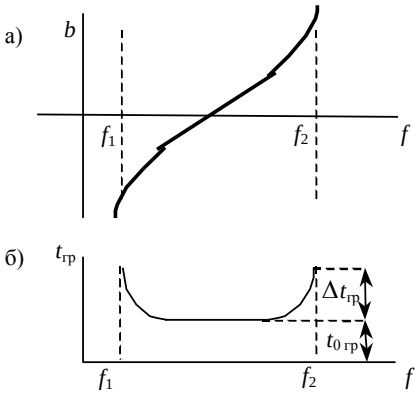

Рис.18.14

Нормирование. В ЭППЧ канала тональной частоты нормируется неравномерность ГВП (относительное групповое время) – отклонение величины группового времени прохождения частотных составляющих сигнала от его значения, измеренного на частоте 1900 Гц

$$\Delta t_{гр} = \Delta t_{грf} - t_{гр\ 1900}. \qquad (18.41)$$

Отклонение величины группового времени в основной части полосы канала (0,4…3,2 кГц) от значения на частоте 1900 Гц в простом канале должно находиться в пределах $\Delta t_{гр} \leq 2$ мс, а разность значений группового времени на частотах 0,6 и 3,2 кГц не должна быть более 0,3 мс. При n простых каналов в составном канале значения $\Delta t_{гр}$ увеличивается, причем для облегчения условий корректирования фазовых искажений в каналах ТЧ нормируется разброс частотных характеристик $\Delta t_{гр}$. В таблицах 9 и 10 приведены значения $\Delta t_{гр}$ для простых и составных каналов, образованных в АСП и ЦСП с помощью однотипного каналообразующего оборудования (КОА). По этим таблицам строятся графики-шаблоны для различных структур каналов ТЧ. На рис.18.15 приведен шаблон для простого канала АСП с СИП-300. Измеренная характеристика $\Delta t_{гр}(f)$ должна находиться в заштрихованной области. Для составных каналов ТЧ (в том числе смешанных), образованных в АСП и ЦСП с помощью разнотипного КОА, отклонение $\Delta t_{грf}$ на каждой частоте определяется по эмпирической формуле

$$\Delta t_{грf} = \sum_{i=1}^{k} \tau_i n_i + 3\sqrt{\sum_{i=1}^{k} \sigma_i^2(\tau) \cdot n_i}\ , \qquad (18.42)$$

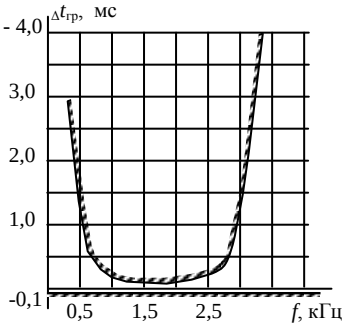

Рис.18.15

где n_i– общее число участков транзита по ТЧ в составном канале с КОА i-го типа; τ_i, $\sigma_i(\tau)$ – среднее значение отклонения и среднеквадратическое отклонение относительного ГВП на данной частоте для одного участка транзита по ТЧ с КОА i-го типа (табл.18.11); k – число типов КОА в составном канале.

В каналах ТЧ большой протяженности нормируется также среднее время прохождения $t_{0гр}$. Это значение должно быть не более 90 мс для канала проводных или радиорелейных систем передачи, а с учетом космического (спутникового) участка – не более 390 мс, из которых 300 мс отводится на космический участок канала.

Частотная характеристика $\Delta t_{гр}$ каналов ТЧ,
образованных с помощью аппаратуры СИП-300

Таблица 18.9

Частота,	Число транзитных участков ТЧ:											
	Превышение ГВП относительно ГВП на частоте 1900 Гц (мс)											
300	2,8	5,5	8,0	10,0	12,5	15,0	17,0	19,5	22,0	24,0	26,5	29,0
400	1,8	3,4	5,0	6,5	8,0	9,5	11,5	13,0	14,5	15,5	17,5	19,0
500	1,3	2,5	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,5	12,5	13,5
600	1,1	1,9	2,8	3,6	4,4,	5,5,	6,0	7,0	8,0	8,5	9,5	10,0
800	0,70	1,3	1,8	2.3	2,9	3,4	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
1000	0,35	0,60	0,90	1,2	1,4	1,7	1,9	2,2	2,5	2,7	3,0	3,2
1400	0,15	0,25	0,35	0,45	0,50	0,60	0,70	0,75	0,85	0,9	1,0	1,1
1600	0,1	0,13	0,17	0,21	0,24	0,27	0,31	0,34	0,37	0,4	0,42	0,45
2200	0,1	0,15	0,21	0,26	0,31	0,36	0,42	0,47	0,52	0,57	0,62	0,67
2400	0,15	0,26	0,37	0,47	0,57	0,68	0,78	0,88	1,0	1,1	1,2	1,3
2600	0,45	0,85	1,2	1,6	2,0	2,4	2,7	3,1	3,5	3,8	4,2	4,5
3000	0,75	1,4	2,1	2,7	3,4	4,0	4,6	5,5	6,0	6,5	7,5	8,0
3200	1,4	2,7	4,0	5,5	6,5	8,0	9,0	10,5	11,5	12,5	14,0	15,0
3300	2,0	4,0	6,0	7,5	9,5	11,5	13,0	15,0	16,5	18,5	20,0	22,0
3400	4,0	7,0	10,0	13,5	16,5	19,5	22,5	25,5	28,5	32,0	35,0	.38,0
	Снижение ГВП относительно ГВП на частоте 1900 Гц (мс)											
300 – 3400	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Частотная характеристика $\Delta t_{гр}$ каналов ТЧ, образованных с помощью аппаратуры САЦО

Таблица 18.10

Частота,	Число транзитных участков ТЧ:											
	Превышение ГВП относительно его значения на частоте 1900 Гц											
300	0,3	0,4	0,6	0,75	0,95	1,1	1,3	1,5	1,7	1,8	2,0	2,2
400	0,15	0,25	0,31	0,40	0,50	0,56	0,65	0,75	0,80	0,90	1,0	1,1
500	0,10	0,13	0,18	0,22	0,26	0,30	0,34	0,38	0,41	0,45	0,49	0,52
600	0,10	0,10	0,12	0,14	0,16	0,17	0,19	0,20	0,22	0,23	0,24	0,26
800	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
1000	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
1400	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
1600	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
2200	0,10	0,15	0,21	0,27	0,32	0,37	0,42	0,47	0,52	0,57	0,62	0,67
2400	0,15	0,21	0,30	0,40	0,47	0,55	0,63	0,71	0,80	0,90	0,95	1,1
2800	0,30	0,40	0,55	0,75	0,87	1,1	2,2	1,4	1,5	1,7	1,8	2,0
3000	0,30	0,55	0,75	1,0	1,2	1,4	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7
3200	0,40	0,7	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	4.0
3300	0,50	0,9	1,3	1,7	2,1	2,5	2,8	3,2	3,6	4,0	4,4	4,8
3400	0,60	1,1	1,6	2,1	2,6	3,1	3,6	4,1	4,6	5,5	6,0	6,5
	Снижение ГВП относительно его значения на частоте 1900 Гц (мс)											
300– 3400	0,1	0,2	0,3	0.3	0,35	0,4	0,45	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65

Статистические параметры ГВП каналов ТЧ,
образованных с помощью оборудования СИП-300, САЦО

Таблица 18.11

Частота Гц	СИП-300		САЦО	
	τ, мс	σ(τ)мс	τ , мс	σ (τ)мс
1	2	3	4	5
300	2,25	0,16	0,16	0,02
400	1,47	0,09	0,07	0,02
500	1,04	0,06	0,03	0,02
600	0,78	0,04	0,004	0,02
800	0,45	0,03	-0,02	0,02
1000	0,25	6,02	-0,03	6,02

1	2	3	4	5
1400	0,06	0,03	-0,03	0,02
1600	0,02	0,02	-0,03	0,02
2200	0,04	0,02	0,04	0,02
2400	0,09	0,02	0,07	0,02
2800	0,35	0,03	0,14	0,02
3000	0,62	0,03	0,2	0,02
3200	1,18	0,07	0,3	0,02
3300	1,74	0,08	0,37	0,02
3400	2,94	0,23	0,48	0,03

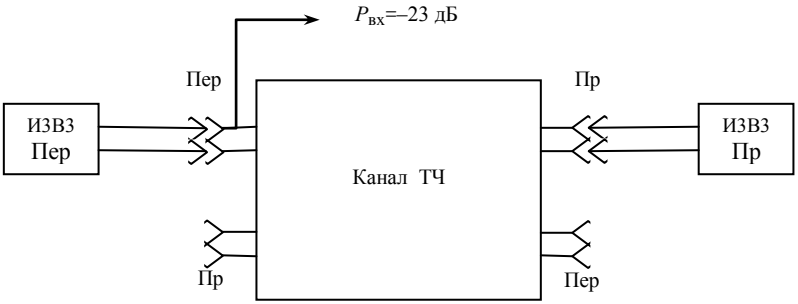

Рис.18.16

Измерение и оценка. Измерение неравномерности ГВП сигнала производится прибором П-323-ИЗВЗ в следующем порядке (рис.18.16): 1. Установить номинальное остаточное затухание (усиление) в канале ТЧ. 2. Подключить к четырехпроводнрму тракту канала на передаче и приеме (точки номинальных относительных уровней минус 13 дБ и плюс 4 дБ) передающую и приемную части прибора П-323-ИЗВЗ. Измерения производить с измерительным уровнем на передаче минус 23дБ. 3. Полученную характеристику неравномерности группового времени прохождения сравнить с нормой. Отклонение группового времени прохождения относительно его значения на частоте 1900 Гц не должно выходить за пределы нормированного разброса.

18.4.4. Изменение частоты сигнала

Определение. Расхождение частоты принятого сигнала от переданного в ту или иную сторону называется изменением частоты сигнала.

Как следует из принципов построения многоканальных систем передачи, исходный (входящий) сигнал каждого канала многократно преобразуется (переносится в различные области частот) перед передачей в линию, а на противоположной станции претерпевает обратные преобразования к исходному. Все преобразования осуществляются в модуляторах (демодуляторах) под воздействием несущих частот, вырабатываемых генераторным оборудованием каналообразующей аппаратуры, которое обладает некоторой нестабильностью. Поскольку все канальные сигналы многоканальной системы передачи с частотным разделением каналов являются однополосными, то несовпадение несущих частот каналообразующей аппаратуры, расположенной по концам канала и в пунктах транзита, приводит к изменению (сдвигу) частот сигнала в канале.

Искажения речевого сигнала, обусловленные изменением (сдвигом) спектра частот, сказываются в основном на звучание гласных звуков, что ведет к изменению тембра речи, ухудшению восприятия речи. Однако такие искажения будут заметны лишь при значительном расхождении несущих частот (порядка нескольких десятков герц). Вместе с тем даже небольшое изменение частоты

(порядка единиц герц) оказывает сильное влияние на качество работы аппаратуры тонального телеграфирования и других оконечных устройств, использующих частотную модуляцию (ЧМ), так как из-за сдвига частоты сигнала в канале появляются заметные искажения передаваемых импульсов типа преобладания, ведущие к изменению их длительности импульсов и искажению телеграфных сигналов.

Нормирование величины изменения частоты сигнала, передаваемого по каналу ТЧ, осуществляется с учетом требований качественной работы по нему систем передачи дискретной информации (аппаратуры ТТ) с ЧМ.

В простом канале допускается изменение частоты не более ± 1Гц.

В составном канале, образованном АСП с *n* простых каналов, допустимое изменение частоты должно быть не более ±5 Гц и определяется по формуле

$$\Delta f \le \pm 1{,}0\sqrt{1+k+m}\text{, Гц,} \qquad (18.43)$$

где *k, m* – число транзитов по ТЧ и ГТ соответственно. Для каналов ТЧ, образованных ЦСП, параметр не нормируется, поэтому для смешанных каналов ТЧ норма определяется каналами в аналоговых системах передачи.

Измерение и оценка. Изменение частоты передаваемого сигнала измеряется в четырехпроводном окончании канала ТЧ в обоих направлениях передачи с использованием электронно-счетного частотомера или специального прибора, имеющие погрешность не более 0,1 Гц.

Измерение проводится в следующем порядке (рис.18.17): 1. Выход канала нагрузить на $Z_н$ = 600 Ом. 2. На вход тракта передачи канала ТЧ от измерительного генератора подать сигнал $f_г$ = 1020 Гц с измерительным уровнем минус 23дБ, то есть на 10 дБ ниже номинального. 3. На входе и выходе канала включить измерители частоты (ИЧ) высокоомным (ВО) входом. 4. Расхождение частот определить по разности показаний частотомеров и сравнить с нормой.

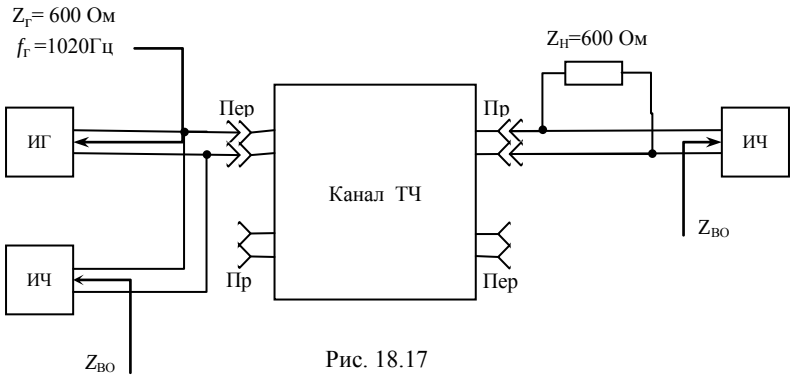

Рис. 18.17

18.4.5. Защищенность от помех за счет источников питания

Определение. Помехи в канале ТЧ за счет источников питания появляются вследствие паразитной модуляции сигнала в канале из-за пульсаций в цепях питания аппаратуры. Поскольку напряжение для питания активных узлов аппаратуры получаются, как правило, путем выпрямления переменного тока промышленной частоты 50Гц (реже частоты 400 Гц), то в канале ТЧ появляются колебания с частотами, отстоящими от сигнала на $\pm 50k$ (где k =1…8), которые называются продуктами паразитной модуляции.

Защищенностью называется разность между уровнем сигнала и уровнем продуктов паразитной модуляции на выходе канала $a_{пм} = p_с - p_{пм}$. Помехи от продуктов паразитной модуляции оказывают значительное влияние на качество каналов передачи дискретных сигналов.

Нормирование. В каналах ТЧ норма задается на защищенность от помех вида $f_с \pm 50 \cdot k$ (k = 1…8) при электропитании аппаратуры переменным током частотой 50 Гц: а) для каналов ТЧ, образованных в АСП, протяженностью L≤1500 км при k=2 не менее 51 дБ, при $k \neq 2$ не менее 45 дБ, протяженностью L>1500 км – 45 и 40 дБ соответственно; б) для каналов ТЧ, образованных в ЦСП, нормы определяются по формулам:

с аппаратурой САЦО, САЦК-1

$$a_{пм} \geq 51 - 10\lg m, \qquad (18.44)$$

с аппаратурой САЦК-2

$$a_{пм} \geq 63 - 10\lg m, \qquad (18.45)$$

где m – число транзитных участков по ТЧ в ЦСП; в) для смешанных каналов ТЧ норма проверяется отдельно для участков в АСП и ЦСП.

Измерение и оценка. Измерение производится в обоих направлениях передачи с использованием измерительных приборов с собственной защищенностью от продуктов паразитной модуляции частотами питающих напряжений не менее 78 дБ по схеме рис.18.18 в следующем порядке:1. Установить номинальное остаточное затухание (усиление) канала. 2. На вход тракта передачи от измерительного генератора ИГ подать ток частотой 1020 Гц. 3. К выходу канала подключить анализатор спектра или селективный измеритель уровня. 4. Измерить $U_с$ или уровень $p_с$ сигнала $f_с$ =1020 Гц и напряжение $U_{пм}$ или уровень $p_{пм}$ продуктов паразитной модуляции на частотах $f_{пм}$ = (1020±50k) Гц (берутся максимальные значения из измеренных при разных k). 5. Определить защищенность канала ТЧ от продуктов паразитной модуляции

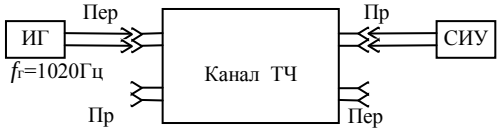

Рис. 18.18

$$a_{пм}=20lg(U_с/U_{пм}), \text{ дБ}, \qquad (18.46)$$

$$a_{пм} = p_с - p_{пм}$$

Полученную величину сравнить с нормой.

18.4.6. Уровень селективных помех от источников питания и остатков несущих частот

Определение. Селективные помехи в полосе канала ТЧ представляют собой помехи синусоидальной формы, обусловленные в основном остатками сигналов несущих и контрольных частот, источниками питания, сигналами частот вызова, дискретизации и ее гармоник.

Остатки несущих частот возникают из-за неточности балансировки модуляторов преобразовательного оборудования, остатки токов контрольных частот линейных и групповых систем АРУ, а также вызова и дискретизации попадают в каналы передачи из-за недостаточного подавления соответствующими фильтрами. В связи с этим каждый тип возможных селективных помех строго нормируется.

Нормирование. Уровень селективных помех на выходе канала (в ТОНУ) в простом и составном каналах ТЧ, образованных АСП, должен быть:

от источников питания на любой из частот 50, 100, 150, 200, 250 Гц не более минус 50дБм0, а суммарное значение – не более минус 40 дБм0;

от источников несущих частот: 4 кГц для СИП-300 не более минус 67 дБм0,СИП-60 не более минус 52 дБм0; 8 кГц для СИП-300 не более минус 52 дБм0; 12 и 16 кГц для любого СИП не более минус 43 дБм0; от частот вызова для каждой частоты не более минус 50 дБм0.

Вне полосы канала ТЧ для аппаратуры с выделенным сигнальным каналом для каждой из частот 3850 и 3825 Гц уровень помех должен быть не более минус 38 дБм0.

В каналах ТЧ, образованных ЦСП, уровень селективных помех от частоты дискретизации или ее гармоник определяется из соотношения:

(18.47)

где m – число транзитных участков по ТЧ в ЦСП.

Измерение уровня селективных помех производится в обоих направлениях передачи.

Порядок измерения: 1. Установить в канале номинальное значение уровня приема плюс 4 дБ. 2. Произвести измерение уровня путем плавного просмотра ЭППЧ канала либо с помощью анализатора спектра, либо избирательным измерителем уровня с Z =600 Ом.

Примечание: избирательность прибора должна быть не менее 40 дБ при расстройке на ±30 Гц и более.

Суммарный уровень помех от источников питания измеряется с помощью измерителя шума с внешним фильтром нижних частот, имеющего полосу пропускания до 300 Гц.

Измеренные уровни $p_{изм}$ пересчитать к точке относительного нулевого уровня $p_0 = p_{изм} - 4$ дБ и сравнить с нормой.

18.4.7. Импульсные помехи

Определение. Импульсной помехой называется реакция канала на мешающее воздействие кратковременной ЭДС, амплитуда которой на выходе канала соизмерима или больше амплитуды сигнала, а интервалы следования сигналов импульсной помехи значительно превышают длительность переходного процесса в канале.

Причинами возникновения импульсных помех в каналах являются кратковременные нарушения контактов в цепях системы передачи, главным образом в линейных трактах, а также в станционных цепях и коммутационных устройствах. Статистика показывает, что импульсными помехами определяется 10-20% ошибок при передаче дискретных сигналов по каналу.

Нормирование. Для импульсных помех нормы ЕСЭ определяются в канале ТЧ протяженностью L км. Относительное время действия импульсных помех за часовой отрезок времени для каналов ТЧ: а) образованных в АСП по кабельным и радиорелейным линиям в точке с относительным уровнем +4дБ должно быть не более $1{,}2 \cdot 10^{-6} L/12500$; б) образованных в ЦСП по кабельным линиям – не более $1{,}6 \cdot 10^{-6}\ L/12500$; в) для смешанных каналов ТЧ, образованных в кабельных системах передачи - не более $1{,}2 \cdot 10^{-5} L/12500$.

Измерение. Для измерения используются приборы, обеспечивающие регистрацию времени действия импульсных помех за часовые отрезки времени в течение трех циклов в часы наибольшей загрузки по 10 часов. Измеряется суммарная длительность регистрируемых импульсных помех $t_{ип}$ и определяется относительное время: отношение $t_{ип}$ к времени измерения $t_{изм}$. Полученная величина сравнивается с нормой. Для измерений используют специальный прибор П-323-СИПП или ИАПП.

Измерения проводятся в следующей последовательности: 1. Проверить и установить номинальное значение остаточного затухания (уровня приема). 2. Измерить импульсные помехи и кратковременные прерывания в соответствии с инструкцией к прибору. При “разовых” измерениях суммарное время импульсных помех и кратковременных прерываний проверяется сеансом 15 мин. Если норма не удовлетворяется, то проводится полный цикл измерений часовыми сеансами.

18.4.8. Кратковременные изменения уровня сигнала

Определение. Остаточное затухание (усиление) канала ТЧ изменяется во времени под воздействием различных причин как “медленно”, так и “быстро”. Медленные изменения, вызывающие с равной вероятностью как увеличение, так и уменьшение остаточного затухания (усиления), называются нестабильностью остаточного затухания (усиления) и нормируются в соответствии с подразделом 18.3.1.

“Быстрые” изменения, которые имеют длительность от 0,5 до 300 мс, называются кратковременными изменениями уровня сигнала.

Основными причинами кратковременных изменений уровня сигнала являются: неисправности в устройствах АРУ; ошибочные действия технического персонала; нарушения контактов в местах соединений; переключения генераторного оборудования; переключения источников питания.

Кратковременные изменения уровня сигнала различают неглубокие и глубокие. Неглубокие изменения уровня могут быть как в сторону повышения, так и в сторону понижения на величину 2…6 дБ относительно среднего значения. Сами по себе они не вызывают ошибок в передаче дискретных сигналов, но в сочетании с другими мешающими факторами они ухудшают достоверность передачи. Глубоким понижением уровня сигнала считается кратковременное уменьшение его на величину 6…18 дБ. Такое понижение уровня оказывает сильное влияние на качество передачи данных и работы каналов тонального телеграфирования. Глубокие кратковременные (от 0,5 до 300 мс) понижения уровня на величину более 18 дБ (2 Нп) называются кратковременными прерываниями сигнала и являются одной из основных причин появления ошибок при передаче данных. Перерывы продолжительностью более 300 мс считаются повреждениями.

Нормирование. В ЕСЭ для канала ТЧ протяженностью 12500 км нормируется средняя частость появления кратковременных изменений уровня сигнала длительностью от 0,5 до 300 мс. Допускается появление не более одного изменения: за 1 час в сторону повышения от 2 до 6 дБ; за 6 мин в сторону понижения от 2 до 6 дБ; за 1 час в сторону понижения от 6 до 18 дБ.

Нормируются также кратковременные прерывания, то есть понижение уровня сигнала более чем на 18 дБ, при этом относительное время, в течение которого уровень сигнала снижен более чем на 18 дБ за часовой отрезок времени должно быть не более: а) для каналов ТЧ, образованных в АСП по кабельным и радиорелейным линиям, и смешанных каналов, образованных в кабельных СП $4{,}8 \cdot 10^{-5}\ L/12500\ \%$; б) для каналов ТЧ, образованных ЦСП по кабельным линиям $6{,}4 \cdot 10^{-6} \cdot L/12500\ \%$; в) для составных каналов ТЧ, образованных в кабельных и спутниковых СП $(2{,}88 \cdot 10^{-5} \cdot L_{\text{наз}}/7500 + 1{,}9 \cdot 10^{-5})\%$, где $L_{\text{наз}}$ – протяженность наземного участка канала ТЧ.

Измерение относительного времени кратковременных прерываний в канале (понижение уровня сигнала более чем на 18 дБ) производится с помощью прибора П-323 СИПП при передаче по каналу измерительного сигнала частотой 2700 Гц с уровнем на 10 дБ ниже номинального. Применяется также методика измерения суммарного относительного времени действия импульсных помех и кратковременных прерываний уровня сигнала с использованием прибора ИАПП-2 в соответствии с его инструкцией.

18.4.9. Скачкообразное изменение фазы передаваемого сигнала

*Определение.*Скачки фазы сигнала в канале возникают за счет переключения генераторного оборудования в оконечных и транзитных пунктах. Это приводит к дополнительным ошибкам в системах передачи дискретных сигналов: каждый скачок *фазы сигнала вызывает в пер*едаваемой дискретной информации возникновение не *только* единичные ошибки, но и “пачки*”* ошибо*к.*

Нормирование. В канале ТЧ нормируется величина скачков и интервал времени между появлениями скачков величиной 15° и более. Величина скачков фазы передаваемого сигнала должна быть в простом канале не более 15°, а в составном, образованном АСП, и в смешанном (АСП+ЦСП) $\Delta\varphi \le 1{,}4\sqrt{n+N}$, где n и N – число участков транзита по ТЧ и групповым трактам.

Минимальный интервал появления скачков фазы должен быть не менее 1,5 часа в сетевом канале ТЧ с предельным значением групповых транзитов равным 49. При числе транзитов N указанная норма умножается на 49/N.

Измерения скачков фазы в каналах ТЧ проводятся специализированными автоматизированными приборами ИАПП-2 в течение 15 сеансов по 15 мин каждый в периоды часов наибольшей загрузки.

18.4.10. Дрожание фазы

Дрожание фазы – это относительно быстрые периодические колебания фазы принимаемых сигналов, являющиеся, в основном, результатом паразитной фазовой модуляции несущих частот генераторного оборудования.

Дрожание фазы наблюдается в аналоговых каналах и трактах и отрицательно сказывается на качестве передачи дискретной информации. В настоящее время на сетях связи проводятся исследования этого явления, однако, нормы на параметры дрожания фазы пока еще не установлены.

18.5. Дополнительные параметры телефонного канала электросвязи

18.5.1. Устойчивость канала

При включении на концах канала дифференциальной системы (см. рис.18.3 и 18.4) образуется петля обратной связи, и, следовательно, появляется потенциальная возможность самовозбуждения (генерации) канала, возникновение которого наиболее вероятно при холостом ходе, когда к каналу не подключены абонентские линии (телефонные аппараты).

Определение. Устойчивость канала характеризует величина уменьшения остаточного затухания относительно номинального, которую можно изменить путем увеличения усиления в каждом направлении передачи канала до возникновения в нем генерации. Численно устойчивость канала σ определяется выражением

$$\sigma = \frac{a_{r1} + a_{r2}}{2} - \frac{a_{s1} + a_{s2}}{2}, \qquad (18.48)$$

где $a_{r1,2}$ – номинальное остаточное затухание в обоих направлениях канала; $a_{s1,2}$– остаточные затухания канала на пороге генерации.

Нормирование. Величина устойчивости нормируется при холостом ходе канала на частоте 1020Гц. В простом телефонном канале устойчивость должна соответствовать величине $\sigma_{xx} \geq 5{,}2$ дБ.

Измерение. Устойчивость канала измеряется по методике измерения остаточного затухания в режиме 2ПрОк.

Порядок измерений: 1. Отрегулировать остаточное затухание канала в обоих направлениях передачи a_{r1} и a_{r2} и отключить ИГ и ИУ. 2. Подключить на обоих концах канала высокоомные телефоны или указатели уровня с высокоомным входом и определить момент самовозбуждения путем плавного повышения усиления в обоих направлениях. 3. Уменьшать усиление до момента прекращения генерации и измерить остаточное затухание на пороге генерации в обоих направлениях a_{s1} и a_{s2}. 4. Определить величину устойчивости по формуле (18.48) и оценить результат.

18.5.2. Электрическое эхо в канале

Определение. *Электрическое* эхо – это явление, при котором речевой сигнал, передаваемый в прямом направлении (от А к Б), попадает в обратный тракт (от Б к А) из-за недостаточной сбалансированности дифференциальной системы ДС2 и поступает к говорящему абоненту с задержкой во времени в виде эха (рис.18.19). Эти эхо-сигналы говорящий воспринимает как разговор собеседника, что перебивает говорящего. В свою очередь на станции А часть энергии возвращенного эхо-сигнала проникает через ДС1 в тракт А→Б, приходит к слушающему абоненту и будет воспринята им в виде эха, которое снижает внятность приема речи. Явление эха проявляется тем заметнее, чем больше мощность эхо-сигнала и чем больше интервал времени между моментами передачи сигнала и поступления эхо-сигнала, то есть чем больше протяженность канала.

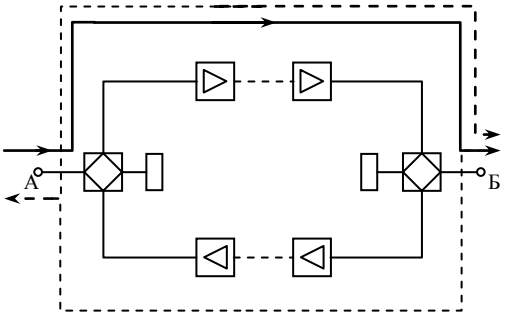

Рис. 18.19

Экспериментальными исследованиями установлена зависимость между временем распространения эхо-сигнала $t_э$ и минимально необходимой величиной затухания эха $a_э$ на пути токов эха, (рис.18.20) при котором влияние эха заметно не сказывается на качестве разговора по ка-

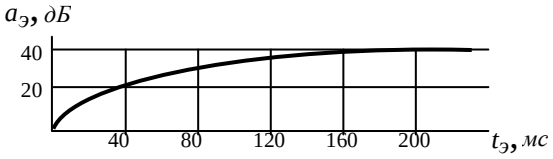

Рис. 18.20

налу. Затухание эха определяется формулой

$$a_э = 2a_г + a_е \qquad (18.49)$$

где $\alpha_г$ – остаточное затухание канала, $a_е$ – среднестатистическое балансное затухание канальных ДС.

Нормирование. Учитывая, что номинальная величина остаточного затухания канала при двухпроводном оконечном режиме работы составляет 7 дБ, а в качестве среднего балансного затухания берется величина $a_е$ = 5…6 дБ, получим $a_э$ = 19…20 дБ. Время распространения тока эха определяется удвоенным средним значением группового времени прохождения сигнала в канале $t_э = 2t_{0\,гр}$. Из графика рис.18.20 следует, что при $a_э$ = 19 дБ допустимое время распространения эха составляет $t_э \approx$ 40 мс, то есть $t_{0\,гр} \leq 30$ мс. Поэтому нормой средней величины ГВП для кабельных и радиорелейных линий определено $t_{0\,гр} \leq 90$ мс.

При больших дальностях связи в телефонные каналы включают специальные устройства, называемые эхозаградителями, принцип работы которых основан на запирании обратного тракта канала в момент передачи речевого сигнала. Проблема мешающего воздействия эха особенно остро стоит в каналах связи, для которых характерны большие величины группового времени прохождения, например, с участием спутникового тракта.

Оценка влияния эхо-сигнала на качество разговора по каналу осуществляется путем измерения остаточного затухания и группового времени прохождения, вычисления по формуле (18.49) значения затухания эха $a_э$, по графику рис.18.20 определения времени распространения эха $t_э$ и сравнением его с групповым временем прохождения $t_{0гр}$. В каналах, имеющих $t_э < 2t_{0гр}$ с влиянием эха можно не считаться.