

75 к.

А. И. МАЛЫШЕВ, Ю. П. ШКАРИН

А. И. МАЛЫШЕВ,
Ю. П. ШКАРИН

**СПЕЦИАЛЬНЫЕ
ИЗМЕРЕНИЯ
ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ
КАНАЛОВ
ПО ЛИНИЯМ
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**



А. И. МАЛЫШЕВ, Ю. П. ШКАРИН

**СПЕЦИАЛЬНЫЕ
ИЗМЕРЕНИЯ
ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ
КАНАЛОВ
ПО ЛИНИЯМ
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

ВТОРОЕ ИЗДАНИЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

Допущено Министерством энер-
гетики и электрификации СССР
в качестве учебника для энерге-
тических техникумов



МОСКВА · «ЭНЕРГИЯ» · 1979

Малышев А. И., Шкарин Ю. П.
М 20 Специальные измерения высокочастотных каналов по линиям электропередачи: Учебник для техникумов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергия, 1979. — 304 с., ил.

В пер.: 75 к.

В книге описаны измерительные приборы, методы измерений параметров электрических сигналов, двух- и четырехполюсников, характеристик высокочастотного тракта, аппаратуры уплотнения и каналов связи.

Первое издание вышло в 1970 г. Второе издание дополнено новыми типами измерительных устройств, методами измерений каналов передачи дискретной информации.

Книга рассчитана на учащихся энергетических техникумов. Может быть полезна квалифицированным монтажникам, связанным с эксплуатацией и наладкой каналов высокочастотной связи по воздушным линиям электропередачи.

М 30311-075
051(01)-79 40-79. 2402040000

ББК 31.27-05
6П2.13

© Издательство «Энергия», 1979 г.

Предисловие

Надежность работы высокочастотных каналов связи по воздушным линиям электропередачи в значительной степени определяется качеством выполнения наладочных работ при вводе каналов в эксплуатацию, а также техническим уровнем проведения планово-профилактических работ. Персонал, осуществляющий ввод в эксплуатацию и эксплуатационное обслуживание высокочастотных каналов связи, должен в совершенстве владеть методами проведения специальных измерений.

Первое издание учебника по этим вопросам, в котором авторы стремились в систематизированном виде изложить специфические особенности методики и практики проведения специальных измерений высокочастотных трактов и каналов связи по линиям электропередачи, вышло в 1970 г. За годы, прошедшие с момента выхода первого издания учебника, в энергосистемах стали внедряться каналы передачи данных для АСУ, появились новые способы организации высокочастотных трактов по ВЛ, были разработаны новые и уточнены старые методы измерений некоторых параметров высокочастотных трактов и каналов связи по ВЛ. В связи с этим появилась необходимость выпуска второго, переработанного и дополненного издания учебника.

Во втором издании существенно переработаны § 1-2, 2-1, 2-4, 2-5, 4-5, 4-6, 6-2, 6-3, 6-5, 6-6, 7-5, 7-10, 11-2, 11-3. При этом в § 6-2 и 6-3 учтены рекомендации Международной электротехнической комиссии по объему и методам проверки устройств обработки и присоединения к ВЛ.

Настоящий учебник написан применительно к программе курса «Специальные измерения» для средних специальных учебных заведений по специальности 0707 «Высокочастотная связь и телемеханика по линиям электропередачи». Учебник составлен с учетом знаний учащимися специальных предметов — «Теоретические основы электротехники», «Электрические измерения» и «Высокочастотная связь по линиям электропередачи».

Книга разбита на три части. В первой части рассматриваются общие вопросы проведения измерений параметров электрических сигналов, двухполюсников и четырехполюсников и описываются измерительные приборы, используемые при этих измерениях. Во второй

части приводятся методы измерений параметров высокочастотного тракта и различных элементов, входящих в его схему. Наконец, в третьей части описываются методы измерения параметров аппаратуры уплотнения и высокочастотных каналов телефонной связи и телемеханики.

По сравнению с первым изданием в настоящем, втором издании дополнительно рассмотрены вопросы, связанные с измерением параметров дискретных сигналов и каналов передачи данных, проведением автоматических эксплуатационно-контрольных измерений каналов связи и новых видов высокочастотных трактов по ВЛ. Переработан и расширен материал, касающийся описания измерительных приборов, измерения параметров устройств обработки и присоединения к ВЛ, при этом учтены рекомендации Международной электротехнической комиссии, измерения параметров трактов с обходами, высокочастотных помех, каналов телефонной связи и телемеханики.

Высокочастотная связь по линиям электропередачи является одним из направлений техники дальней связи. Поэтому в методах производства измерений и в измерительных приборах, применяемых в специальных измерениях каналов высокочастотной связи по ВЛ, есть много общего с методами и приборами, применяемыми в дальней связи по проводным линиям. Исходя из этого, авторы считали, что общие положения, касающиеся методов измерения параметров активных и пассивных четырехполюсников и применяемых при этом приборов могут быть более углубленно изучены в специальной литературе. Список рекомендуемой литературы приведен в конце книги.

В настоящей книге первая, третья части и приложения написаны А. И. Малышевым, вторая часть — Ю. П. Шкариным.

Авторы выражают благодарность рецензентам В. А. Морусову и В. Т. Лаврушину за ценные указания, способствовавшие улучшению книги. Авторы с благодарностью отмечают большую работу, проведенную редактором книги И. И. Цитвером.

Все замечания по учебнику просьба направлять по адресу: 113114, Москва, М-114, Шлюзовая набережная, 10, изд-во «Энергия».

Авторы

Часть первая

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ СПЕЦИАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Глава первая

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

1-1. Виды, объемы, методы и точность специальных измерений

Передача информации методом высокочастотного (ВЧ) уплотнения линий электропередачи высокого напряжения осуществляется согласно функциональной схеме, представленной на рис. 1-1 и содержащей три основных звена: датчик информации *ДИ*, систему связи и приемник информации *ПИ*.

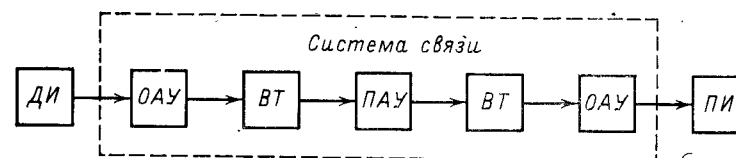


Рис. 1-1. Функциональная схема одноканальной системы связи.

При передаче телефонной информации роль *ДИ* и *ПИ* выполняют телефонные аппараты, при передаче сигналов телемеханики — передающие и приемные устройства телемеханики, а при передаче данных роль *ДИ* и *ПИ* выполняют устройства сбора и ввода информации в ЭВМ.

Система связи во всех случаях представляет собой совокупность высокочастотных трактов *ВТ* и аппаратуры высокочастотного уплотнения — оконечной *ОАУ* и промежуточной *ПАУ*.

Совокупность технических средств, обеспечивающих передачу информации от одного *ДИ* к одному *ПИ*, при-

нято называть каналом связи. В соответствии с этим системы связи подразделяются на одноканальные и многоканальные. Функциональная схема одноканальной системы связи приведена на рис. 1-1. Многоканальные системы связи обеспечивают одновременную передачу информации нескольких ДИ.

Одноканальные системы связи образуются с помощью одноканальной аппаратуры уплотнения, многоканальные — с помощью многоканальной аппаратуры уплотнения.

В энергосистемах широко применяются как одноканальные, так и многоканальные системы связи, по которым передается различная информация.

Кроме каналов передачи внешней информации, в аппаратуре уплотнения имеются служебные каналы, к которым относятся каналы телефонного вызова и каналы контрольных частот, с помощью которых осуществляется автоматическое регулирование усиления (АРУ) ВЧ приемников аппаратуры уплотнения.

Качество работы любой системы или канала связи определяется способностью безыскаженной передачи сигналов. Искажения сигналов могут возникнуть как вследствие воздействия помех, имеющих в канале, так и вследствие изменения электрических параметров аппаратуры уплотнения или ВЧ трактов, входящих в схему канала связи.

Контроль качества работы каналов связи осуществляется путем выполнения специальных измерений. В зависимости от назначения измерения могут быть разделены на три вида:

а) проводимые при разработке, изготовлении, наладке и сдаче в эксплуатацию аппаратуры уплотнения и систем связи;

б) планово-профилактические и контрольные, выполняемые в процессе эксплуатации систем связи;

в) проводимые при определении характера и места повреждения системы связи.

В первый вид включаются измерения:

1) электрических параметров элементов, входящих в схему узлов оборудования;

2) входных и выходных параметров узлов аппаратуры;

3) входных и выходных параметров аппаратуры уплотнения;

4) электрических характеристик оборудования и аппаратуры присоединения и обработки ВЛ;

5) параметров ВЧ трактов;

6) входных и выходных параметров каналов связи.

Измерения по пп. 1—4 в полном объеме выполняются в заводских и лабораторных условиях при разработке новых или модернизации старых образцов оборудования. Измерения по пп. 5, 6 выполняются при производстве наладочных работ и при паспортизации систем связи. При сдаче систем связи в эксплуатацию выполняются измерения по пп. 3, 5 и 6.

При проведении полных проверок систем связи также выполняются измерения, указанные в пп. 2—6.

Измерения в процессе эксплуатации выполняются по заранее составленному плану профилактических работ с целью предупреждения отказов систем связи и поддержания выходных параметров аппаратуры уплотнения и каналов в пределах паспортных данных. В объем этих работ входят измерение основных выходных параметров каналов связи и частичные измерения выходных параметров аппаратуры уплотнения и ВЧ тракта.

Измерения по п. 3 проводятся после возникновения повреждения в ВЧ трактах аппаратуры. Объем этих измерений обуславливается характером повреждения.

Перечисленные виды измерений выполняются постоянным и переменным током. Постоянным током измеряются выходные параметры выпрямителей блоков питания, активные сопротивления резисторов и катушек индуктивности, напряжения и токи электронных ламп и транзисторов, токи срабатывания и отпущения электромеханических реле и т. д. Переменным током выполняются измерения полных сопротивлений, затухания, усиления, выходные параметры узлов аппаратуры уплотнения, выходные параметры ВЧ трактов и каналов и т. д. В данном курсе в основном рассматриваются измерения, выполняемые переменным током, так как измерения постоянным током в достаточном объеме освещены в курсе общих электрических измерений.

В технике специальных измерений приходится иметь дело с широкими пределами измеряемых величин. Так, например, величины измеряемых напряжений лежат в пределах $1 \cdot 10^{-4}$ —1000 В, уровни передачи от —80 до +50 дБ, частоты от 5 Гц до 1000 кГц. Это в значитель-

ной степени усложняет методику выполнения измерений и требует применения разнообразных схем измерений и разнообразных приборов.

В отношении точности измерений нельзя указать какие-либо определенные значения погрешностей даже по определенным видам измерений. В зависимости от условий и требований допускаются самые разнообразные значения погрешностей. Так, например, при измерении индуктивности дросселя фильтра питания достаточно точность 10—15%, а при измерении индуктивности катушек фильтров промежуточных и высоких частот точность измерений должна быть не хуже 0,3%. Наибольшая точность требуется при измерении частоты. В ряде случаев погрешность измерения частоты должна быть не хуже $2 \cdot 10^{-4}\%$.

В общем случае при выполнении эксплуатационных и аварийных измерений достаточной точностью измерений можно считать: $\pm (5-10)\%$ при измерениях тока, напряжения, входного сопротивления; $\pm (0,5-1,0)$ дБ при измерениях уровней передачи и приема и частотных характеристик каналов; 1,0 дБ при измерении характеристик ВЧ трактов; $\pm 2\%$ при измерениях искажений в импульсных каналах телемеханики.

1-2. Уровни передачи

Психофизическими исследованиями было установлено отсутствие прямой пропорциональности между приращением мощности звукового давления и приращением громкости восприятия звука человеческим ухом. Приращение ощущения, т. е. уровня громкости звука, пропорционально логарифму изменения звуковой мощности:

$$s = k \lg \frac{P}{P_0}, \quad (1-1)$$

где k — коэффициент пропорциональности; P_0 — энергия начального раздражения; P — энергия конечного раздражения.

Если коэффициент пропорциональности k положим равным единице и возьмем $P=10P_0$, то получим:

$$s = \lg 10 = 1.$$

Эта единица определяет изменение мощности в 10 раз и называется белом, Б. Кроме бела, используется одна

десятая бела — децибел, дБ. При $k=1,15$ имеем:

$$s = \frac{1}{2} \ln \frac{P}{P_0}. \quad (1-2)$$

При $P=e^2 P_0$ $s=1$. Эта единица определяет изменение мощности в e^2 раз и называется непером* (Нп). Из сравнения формул (1-1) при $k=1$ и (1-2) следует, что 1 Нп=8,69 дБ. Такие же единицы приняты для измерения уровней передачи в каналах связи, причем в настоящее время в нашей стране повсеместно используют единицы децибелы. Уровни передачи по мощности P_m , напряжению P_n и току P_t соответственно определяются выражениями

$$P_m = 10 \lg \frac{P_x}{P_0}; \quad P_n = 20 \lg \frac{U_x}{U_0}; \quad P_t = 20 \lg \frac{I_x}{I_0},$$

где индекс x относится к величине, действующей в данной точке цепи, а индекс 0 — к величине, по отношению к которой определяется уровень.

Различают три вида уровней передачи: абсолютные, относительные и измерительные.

Уровни передачи называются абсолютными, если мощность, напряжение или ток (P_x , U_x , I_x) соответственно сравниваются с эталонными значениями $P_0=1$ мВт; $U_0=0,775$ В; $I_0=1,29$ мА.

Относительные уровни по мощности, напряжению или току и данной точке цепи определяются отношением рассматриваемой мощности, напряжения или тока в этой точке к значению одноименной величины, действующей в точке цепи, принятой за начало отсчета уровней. Как правило, в качестве такой точки выбирают вход канала связи.

Измерительным уровнем по мощности, напряжению или току называется абсолютный уровень мощности, напряжения или тока, получающийся в рассматриваемой точке канала связи при подключении на вход этого канала нормального генератора¹.

В общем случае уровни могут принимать положительные, отрицательные и нулевые значения.

Уровень сигнала равен нулю в тех случаях, когда сравниваемые величины имеют одинаковые значения. Нулевые абсолютные уровни соответствуют по мощности 1 мВт, по напряжению 0,775 В и по току 1,29 мА.

Положительные уровни соответствуют случаю, когда измеряемые величины, напряжение или ток больше значений, относительно которых выполняется измерение.

* В настоящее время единица непер в практике не применяется.

¹ Нормальным генератором называется генератор с э. д. с. 1,55 В, внутренним сопротивлением 600 Ом и частотой 800 Гц.

Отрицательное значение уровня показывает, что измеряемые мощность, напряжение или ток меньше значений, относительно которых выполняется измерение.

Для определения в абсолютных уровнях значений мощности, напряжения или тока используются следующие выражения:

$$P_m = 10 \lg P; P_n = 20 \lg \frac{U}{0.775}; P_t = 20 \lg \frac{I}{1.29}, \quad (1-3)$$

где P — в милливаттах; U — в вольтах; I — в миллиамперах.

Зная абсолютные уровни, можно определить значения мощности, Вт, напряжения, В, и тока, А:

$$P = 10^{0.1 P_m}; U = 0.775 \cdot 10^{0.05 P_n}; I = 1.29 \cdot 10^{0.05 P_t}. \quad (1-4)$$

Для измерения уровня применяются электронные вольтметры, градуированные в уровнях по напряжению, широкополосные и узкополосные измерители уровня.

При анализе схем аппаратуры уплотнения и схем каналов связи широко используют диаграммы уровней передачи. Диаграмма

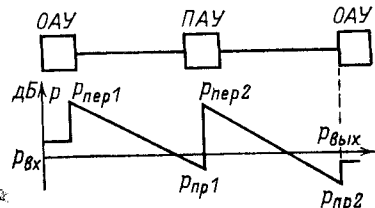


Рис. 1-2. Диаграмма уровней передачи.

(на входе ВЧ тракта) уровень сигнала стал равным $P_{пер1}$. При прохождении сигнала по ВЧ тракту уровень его уменьшился и на входе усилителя стал равен $P_{пр1}$. Уменьшение уровня передачи сигнала при прохождении его по цепи принято называть затуханием. Затухание, дБ, первого ВЧ тракта в нашем случае определяется как

$$a_{тp1} = P_{пер1} - P_{пр1}.$$

Поскольку на выходе усилителя уровень передачи $P_{пер2}$ больше, чем уровень на его входе, мы можем говорить об усилении сигнала, причем это усиление, дБ, определяется как

$$S_1 = P_{пер2} - P_{пр1}.$$

Аналогичным образом из диаграммы уровней определяется затухание, дБ, второго ВЧ тракта

$$a_{тp2} = P_{пер2} - P_{пр2}$$

и усиление, дБ, второго оконечного полуконспекта аппаратуры

$$S_2 = P_{вых} - P_{пр2}.$$

Разность уровней передачи сигналов на входе и выходе канала связи называют остаточным затуханием канала связи, дБ, и определяют как

$$a_{ост} = P_{вх} - P_{вых} = \Sigma a - \Sigma S,$$

где первый член представляет сумму всех затуханий, а второй член — сумму всех усилений, имеющих в рассматриваемой схеме канала. Для нашего случая (рис. 1-2)

$$a_{ост} = a_{тp1} + a_{тp2} - S - S_1 - S_2,$$

где

$$S = P_{пер1} - P_{вх}.$$

В практике уровни по отношениям мощностей (напряжений) определяют при помощи таблиц или логарифмической линейки. Однако имеется возможность достаточно точно решать эти задачи и при отсутствии таблиц или линейки. Для этого необходимо помнить:

- 1) отношение 2 соответствует 3 дБ по мощности и 6 дБ по напряжению;
- 2) отношение $1/3$ соответствует 1 дБ по мощности и 2 дБ по напряжению;
- 3) отношение $2/3$ соответствует 2 дБ по мощности и 4 дБ по напряжению;
- 4) числа 2^m при $m=1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9$ и 10 соответственно равны: 2; 4; 8; 16; 32; 64; 128; 256; 512; 1024.

Сущность расчета сводится к следующему. Если ставится задача перевести в децибелы известное отношение мощностей A или напряжений B , то определяют число 2^m , которое меньше и наиболее близко к величинам A (B). Для данного числа определяют уровень по мощности по формуле $P_m = 3m$ для отношения мощностей или $P_n = 6m$ при отношении напряжений. Определяют разность $C = A(B) - 2^m$. Определяют отношение $\frac{C}{2^m}$ и округляют его до $1/3$ или

$2/3$. Учитывая пп. 2 и 3, определяют величину ΔP_m (или ΔP_n) и заданную величину как $P_m + \Delta P_m$ или $P_n + \Delta P_n$.

Процесс расчета поясним примерами.

Пример 1. Перевести в децибелы отношение напряжений $U_1/U_2 = 42$. Ближайшее к 42 меньшее число 2^m равно 32 (2^5). Этому числу соответствует величина $P_n = 6m = 6 \cdot 5 = 30$ дБ. Разность между заданным числом и ближайшим числом вида 2^m составляет $42 - 32 = 10 = C$. Отношение $\frac{C}{2^m} = \frac{10}{32} \approx 1/3$. Отношению $1/3$ соответствует 2 дБ. Искомая величина будет равна $30 + 2 = 32$ дБ.

Пример 2. Пересчитать в отношении мощностей значение 17 дБ. Ближайшее к 17 меньшее число, которое делится на 3, будет равно $15 : 3 = 5$. Отсюда $P_1/P_2 = 2^5 = 32$. Разность между заданным (17) и округленным (15) числом децибел составляет $17 - 15 = 2$ дБ, что соответствует отношению $\frac{2}{3} \cdot 32 = 21$. Значит, искомое отношение мощностей равно $32 + 21 = 53$.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

2-1. Измерительные генераторы

При выполнении целого ряда измерений необходимо иметь источник переменного тока синусоидальной формы. В качестве таких источников применяются измерительные генераторы (ИГ).

В зависимости от вида измерений к ИГ предъявляются определенные требования к диапазону генерируемых частот и точности установки частоты, выходной мощности, нелинейности и т. д.

Для измерения параметров каналов телемеханики требуются ИГ с плавной перестройкой частоты в диапазоне от 10 до 4000 Гц, выходной мощностью до 0,3—0,5 Вт и точностью установки частоты не хуже ± 1 Гц. Эти же генераторы используются при измерениях параметров низкочастотных узлов телефонных каналов и узлов каналов телефонного вызова.

Для измерения частотных и амплитудных характеристик телефонных каналов широко применяются ИГ с фиксированными частотами. К этим ИГ не предъявляются высокие требования точности установки частоты. Точность порядка $\pm 2\%$ вполне удовлетворяет условиям эксплуатационных измерений телефонных каналов. Выходной уровень сигнала этих ИГ должен быть не менее +13 дБ, а симметричный выход генератора должен иметь входное сопротивление 600 Ом. Обычно регулятор выходной мощности таких генераторов выполняется ступенчатым для изменения уровня выходного сигнала до $-(20-30)$ дБ ступенями в 4—5 дБ.

Для измерения элементов трактов промежуточных частот аппаратуры уплотнения используются ИГ с плавной перестройкой частоты и диапазоном частот от 4 до 40 кГц. Измерения ВЧ трактов и ВЧ элементов аппаратуры уплотнения выполняются с использованием ИГ с диапазоном частот 18—1000 кГц и плавной перестройкой частоты. Погрешность установки частоты сигнала ИГ с плавной перестройкой, Гц, обычно соответствует величине

$$\Delta f = \pm \left(\frac{a}{100} f + b \right), \quad (2-1)$$

где $a/100$ — погрешность на высоких частотах; b — то же на низких частотах. Обычно $a=1 \div 2$; $b=2 \div 5$ Гц.

Для измерения элементов аппаратуры уплотнения желательно применять ИГ с симметричным выходом и входным сопротивлением 135 и 600 Ом, однако можно применять ИГ и с другими входными сопротивлениями и несимметричным относительно корпуса ИГ выходом. От этих ИГ требуются сравнительно малые мощности 0,2—0,5 Вт.

Измерительные генераторы, используемые для измерений параметров ВЧ трактов, должны быть рассчитаны на работу с нагрузками 75 и 150 Ом при выходной мощности от 5 до 10 Вт. В ряде случаев желательно, чтобы у этих ИГ был симметричный выход.

При выполнении измерений параметров фильтров реактивных двухполосников, нелинейных элементов и защищенности каналов, а также при использовании ИГ в мостовых схемах измерений к ИГ предъявляются высокие требования в отношении коэффициента нелинейных искажений, который не должен превышать 0,01%.

Поскольку у большинства ИГ коэффициент нелинейных искажений соответствует 1—3%, использовать такие ИГ в указанных случаях измерений можно только при наличии измерительных фильтров.

Для исключения влияния вышних составляющих сигнала ИГ на точность выполняемых измерений сигнал ИГ подается в схему измерения через измерительный фильтр нижних частот. Выпускаемые промышленностью измерительные фильтры имеют до 20 ступеней переключения, причем частота среза фильтра первой ступени выполняется равной 50 Гц. Отношение частоты среза последующей ступени фильтра к частоте среза предыдущей ступени выбрано равным 1,41, при этом условие затухание фильтра на частоте второй гармоники выделяемого сигнала составляет 25—30 дБ.

Измерительные фильтры могут быть выполнены как по уравновешенной, так и по неуравновешенной схемам, поэтому при использовании их должны выбираться соответствующие схемы подключения ИГ.

Многоступенчатые измерительные фильтры верхних частот применяются при измерениях для подавления шумов технической частоты (50 Гц) и ее гармоник. Многоступенчатые полосовые измерительные фильтры

используются при измерениях, связанных с анализом спектров частот.

В общем случае генератор синусоидальных колебаний состоит из возбуждателя, вырабатывающего колебания, и выходного усилителя, обеспечивающего нужную мощность сигнала по выходе генератора.

В зависимости от схемы построения возбуждателя генераторы подразделяются на генераторы *LC*, *RC* и генераторы на биениях.

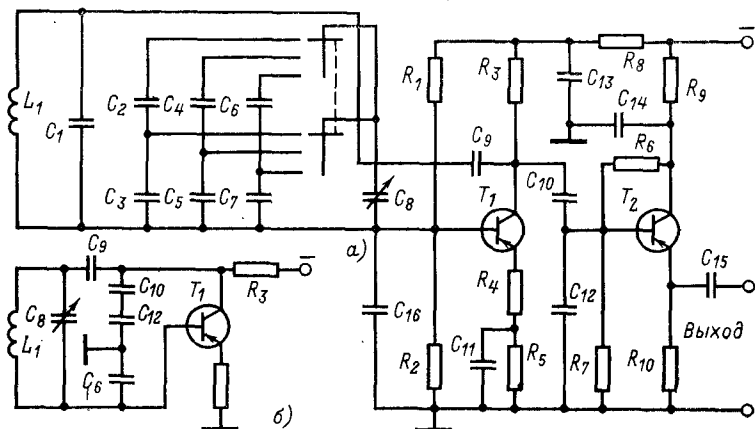


Рис. 2-1. Принципиальная (а) и эквивалентная (б) схемы генератора *LC*.

На рис. 2-1,а приведена принципиальная, а на рис. 2-1,б эквивалентная схема генератора *LC* с возбуждателем, выполненном на транзисторе T_1 . Частота сигнала генератора определяется по формуле

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C}}, \quad (2-2)$$

где L_1 — индуктивность катушки колебательного контура; C — общая емкость конденсаторов контура.

Стабильность генерируемой частоты обеспечивается использованием в выходном устройстве генератора эмиттерного повторителя на транзисторе T_2 и специальной схемы включения колебательного контура. Применение эмиттерного повторителя исключает влияние нагрузки на частоту генерируемого колебания, а высокое входное сопротивление эмиттерного повторителя исклю-

чает ухудшение добротности колебательного контура. Как видно из рис. 2-1,б, генератор выполнен по емкостной трехточечной схеме. Третья точка образована конденсаторным делителем из конденсаторов C_{10} , C_{12} и C_{16} . При такой схеме обеспечивается высокая добротность колебательного контура генератора и, следовательно, стабильность частоты генерируемого сигнала.

Генератор имеет три частотных поддиапазона, которые образуются переключением конденсаторов C_2 — C_7

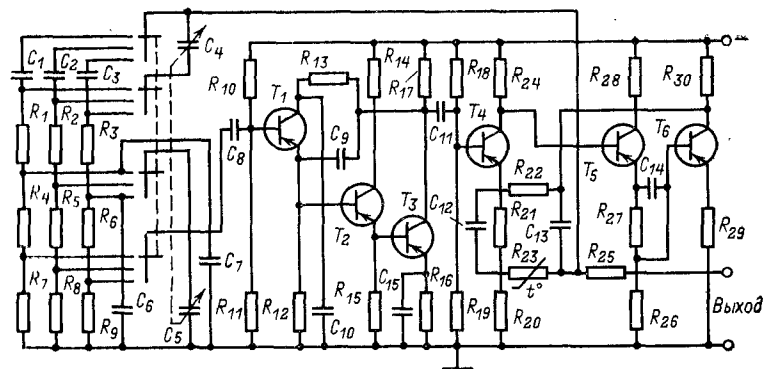


Рис. 2-2. Принципиальная схема генератора *RC*.

колебательного контура. Плавное изменение частоты в пределах частотного поддиапазона достигается изменением емкости переменного конденсатора C_8 .

На рис. 2-2 приведена принципиальная схема генератора *RC*, выполненного на базе моста Вина. Частота генерируемого сигнала определяется по формуле

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_{1M}R_{2M}C_{1M}C_{2M}}}, \quad (2-3)$$

где R_{1M} , C_{1M} — значения сопротивления резистора и емкости конденсатора в последовательном плече моста Вина; R_{2M} , C_{2M} — значения элементов сопротивления резистора и емкости конденсатора в параллельном плече моста Вина.

В схеме на рис. 2-2 показаны три переключаемых частотных поддиапазона. Соответственно этому имеются три моста Вина, каждый для своего диапазона частот. Для первого моста Вина имеем $R_{1M}=R_1$; $C_{1M}=C_1+C_4$; $R_{2M}=R_4+R_7$; $C_{2M}=C_7+C_5$; для второго моста Ви-

на — $C_{1M}=C_2+C_4$; $R_{1M}=R_2$; $R_{2M}=R_5+R_8$; $C_{2M}=C_5$, а для третьего моста Вина — $R_{1M}=R_3$; $C_{1M}=C_3+C_4$; $R_{2M}=R_6+R_9$; $C_{2M}=C_6+C_5$. Изменение частоты в пределах поддиапазона осуществляется изменением емкости двух спаренных переменных конденсаторов C_4 и C_5 .

Конденсатор C_4 находится в последовательной ветви моста, а C_5 — в параллельной ветви.

Высокая стабильность генерируемой частоты достигается за счет высокой стабильности параметров возбуждателя и подключением входа транзистора возбуждателя к части резисторов параллельной ветви моста. С этой целью параллельная ветвь моста образована двумя последовательно включенными резисторами (R_4 и R_7 ; R_5 и R_8 ; R_6 и R_9).

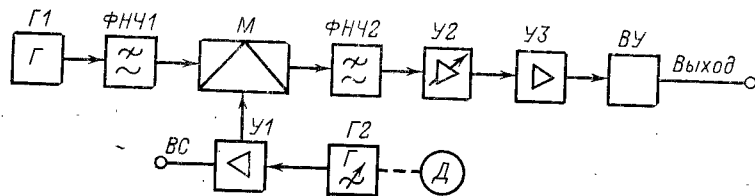


Рис. 2-3. Функциональная схема генератора на биениях.

Возбудитель выполнен на транзисторах T_1 — T_6 , из которых транзисторы T_2 и T_3 использованы как эмиттерные повторители. Глубокие отрицательные обратные связи с T_3 на T_1 и с T_6 на T_4 обеспечивают высокую стабильность параметров возбуждателя.

Положительная обратная связь на вход моста Вина подается с терморезистора R_{23} , чем обеспечивается стабильность напряжения генерируемого сигнала. Напряжение сигнала генератора через резистор R_{25} подается на выходные зажимы генератора. Такой генератор обычно используется совместно с выходным усилителем, вход которого подключается к выходным зажимам генератора.

На рис. 2-3 приведена функциональная схема генератора испытательной стойки ЕТ-40, широко используемой в энергосистемах. Этот генератор относится к типу генераторов на биениях.

Генератор $G1$ вырабатывает сигнал частоты 1200 кГц, и в нем имеется элемент подстройки частоты в пределах ± 5 кГц. Этот сигнал через фильтр нижних

частот $\Phi HЧ1$ поступает на вход кольцевого модулятора M . Наличие $\Phi HЧ1$ исключает из сигнала $G1$ все высшие гармонические составляющие. Генератор $G2$ — широкополосный, перестраиваемый, с элементами ручной установки частоты. Для автоматической установки частоты предусмотрено устройство электродвигатель D с кнопочным управлением.

Сигнал генератора $G2$ поступает на усилитель $U1$, имеющий два самостоятельных выхода. С первого выхода $U1$ сигнал поступает на зажим BC для использования его в специальных целях, например для синхронизации указателя уровня, а со второго выхода $U1$ сигнал подается на преобразователь M . Нижняя боковая частота преобразования ($f_{г1}-f_{г2}$) выделяется низкочастотным фильтром $\Phi HЧ2$. Сигнал этой частоты усиливается выходным усилителем $U3$ и через выходное устройство $ВУ$ поступает на выход генератора. Выходное устройство $ВУ$ содержит переключатель выходного сопротивления генератора. Регулятор выходного уровня сигнала расположен в схеме усилителя $U2$. Схемы построения генераторов $G1$ и $G2$ аналогичны приведенным на рис. 2-1,а, только $G1$ не имеет переключения диапазонов.

Генератор качающейся частоты (свип-генератор) вырабатывает синусоидальное колебание, частота которого автоматически меняется по заданному закону в заданных пределах при постоянстве напряжения выходного сигнала генератора. Генераторы качающейся частоты используются в устройствах, предназначенных для измерения различных частотных характеристик. Функциональная схема генератора качающейся частоты аналогична приведенной на рис. 2-3, но с добавлением узла автоматического изменения частоты, связанного с колебательным контуром генератора $G2$.

Узел автоматического изменения частоты может быть выполнен с использованием механического или электрического воздействия на параметры колебательного контура генератора $G2$. В первом случае предусматривается двигатель, который осуществляет непрерывное вращение ротора переменного конденсатора колебательного контура генератора, вследствие чего частота сигнала на выходе генератора периодически плавно изменяется в заданных пределах. Тот же эффект может быть получен путем изменения индуктивности колеба-

тельного контура генератора за счет перемещения внутри катушки индуктивности, например, ферромагнитного сердечника.

Наибольшее распространение получили генераторы качающейся частоты с узлами автоматического управления с электрическим воздействием. Управление частотой f_2 осуществляется током или напряжением пилообразной или треугольной формы. В первом случае частота f_2 линейно с заданной скоростью меняется от f_1 до f_2 , во время спада пилообразного сигнала быстро возвращается к значению f_1 и вновь линейно меняется от f_1 до f_2 . При треугольной форме управляющего сигнала изменение частоты f_2 происходит линейно от f_1 до f_2 , а затем также линейно от f_2 до f_1 и снова от f_1 до f_2 .

Для осуществления электрического управления частотой генератора в колебательный контур генератора LC или избирательную цепь генератора RC вводятся элементы, параметры которых изменяются под воздействием управляющего сигнала. Так, например, в генераторе LC используется катушка индуктивности с ферромагнитным сердечником. Эта катушка имеет две обмотки: основную и управляющую. Основная обмотка является индуктивностью колебательного контура генератора, а по управляющей обмотке проходит ток управляющего сигнала. Под воздействием этого тока изменяется магнитная проницаемость ферромагнитного сердечника катушки и, следовательно, изменяется ин-

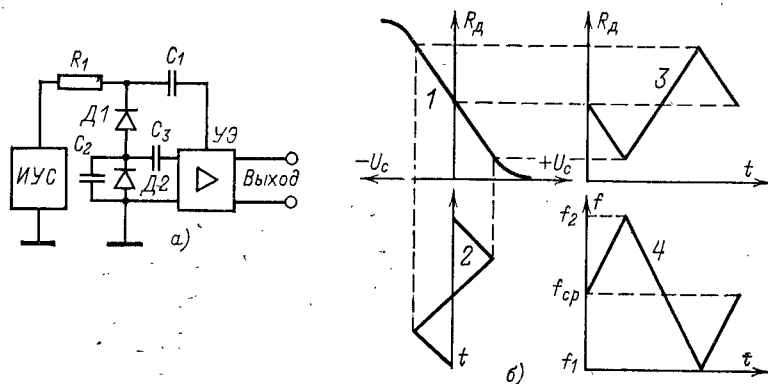


Рис. 2-4. Упрощенная схема генератора качающейся частоты (а) и график, поясняющий принцип его работы (б).

дуктивность в колебательном контуре генератора. Изменение индуктивности в колебательном контуре генератора вызывает изменение частоты сигнала генератора по закону изменения тока управляющего сигнала.

Принцип работы генератора качающейся частоты с цепочкой RC вместо колебательного контура рассмотрим на примере упрощенной схемы, приведенной на рис. 2-4,а. Генератор содержит усилительный элемент УЭ и цепь положительной обратной связи через мост Вина. Мост Вина составлен из конденсаторов C_1 , C_2 и диодов D_1 , D_2 . Напряжение источника управляющего сигнала ИУС через резистор R_1 поступает на диоды D_1 и D_2 . Кривая 1 на рис. 2-4,б соответствует зависимости сопротивления диодов D_1 , D_2 от напряжения управляющего сигнала U_c . При воздействии на диоды управляющего сигнала треугольной формы 2 сопротивление диодов во времени изменяется по закону кривой 3.

Если выполнено условие равенства сопротивлений диодов D_1 и D_2 при любом значении управляющего напряжения, то частота сигнала рассматриваемого генератора определяется по формуле

$$f = \frac{1}{2\pi R_d C_1}, \quad (2-4)$$

где R_d — сопротивление диода D_1 .

При изменении сопротивления диодов по закону кривой 3 частота генератора будет изменяться по закону кривой 4, т. е. будет линейно и периодически изменяться от f_1 до f_2 и от f_2 до f_1 .

Генераторы импульсных сигналов применяются при эксплуатации и наладке устройств телемеханики, логических и счетных полупроводниковых узлов аппаратуры, каналов передачи дискретной информации, каналов телефонного вызова и т. д.

Функциональная схема генератора импульсных сигналов приведена на рис. 2-5, где $ЗГ$ — задающий генератор, $БЗ$ — блок задержки сигналов, $БФ$ — блок формирования и $ВУ$ — выходное устройство. В тех случаях, когда необходимо согласовать время появления импульсного сигнала на выходе генератора с сигналом внешней команды, используется блок внешнего запуска $ВВЗ$. Второй режим работы генератора — режим непрерывной генерации импульсного сигнала. Задающий генератор $ЗГ$, определяющий частоту передачи импуль-

ных сигналов, может быть выполнен по схеме симметричного мультивибратора, блокинг-генератора или же по схеме генератора синусоидальных колебаний с узлом формирования импульсного сигнала из синусоидального сигнала. С помощью БЗ осуществляется временный сдвиг импульса относительно запускающего импульса при использовании БВЗ. В блоке БФ вырабатываются импульсы нужной формы или длительности. В общем случае используются импульсы трех форм: прямоугольной

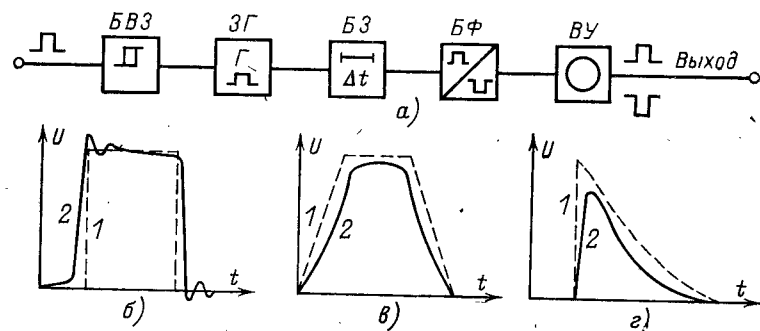


Рис. 2-5. Функциональная схема генератора импульсных сигналов (а) и формы импульсов (б-г).

(рис. 2-5,б), трапецеидальной (рис. 2-5,в) или экспоненциальной (рис. 2-5,г). Кривые 1 соответствуют идеальной форме указанных импульсов, а кривые 2 — форме реальных импульсов, которые обусловлены наличием нелинейных искажений в тракте формирования и передачи.

Устройство ВУ содержит выходные цепи генератора, регулятор выходного напряжения и измерительный блок. В измерительном блоке располагается импульсный вольтметр, по которому определяются напряжение импульса на выходе генератора. В некоторых типах генераторов содержится электронно-лучевой осциллограф, по которому контролируется форма импульсного сигнала.

По характеру генерируемых сигналов генераторы делятся на три вида: генераторы непрерывной последовательности импульсов с одинаковыми параметрами и постоянной частотой; генераторы серии импульсов одинаковых параметров и постоянной частоты, ограниченной заданным количеством импульсов; генераторы кодо-

вых комбинаций, в которых имеется постоянная последовательность импульсов с различными параметрами.

По назначению генераторы импульсов делятся на четыре группы: I — с точной регулировкой амплитуды; II — с точной регулировкой длительности и временных сдвигов; III — с точной регулировкой частоты следования импульсов; IV — универсальные с одинаковой точностью калибровки основных параметров импульсов, соответствующей классу точности 1, 3 и 10. Генераторы I, II групп выпускаются с точностью регулировки 001; 003; 01; 03; 1; 3; 10.

При лабораторных исследованиях вопросов помехоустойчивости систем связи часто используются специальные шумовые генераторы — источники случайных электрических колебаний с равномерной спектральной плотностью в рабочей полосе частот. Генераторы шума разделяются на узкополосные и широкополосные.

Узкополосным шумом называют случайные колебания со спектром (f_1-f_2) , сосредоточенным около центральной частоты f_0 , когда $\frac{f_2-f_1}{2f_0} \ll 1$. Временная за-

висимость таких колебаний имеет вид синусоиды, амплитуда которой медленно изменяется.

Полным широкополосным шумом является белый шум с постоянной спектральной плотностью на всех частотах от нуля до бесконечности.

Для измерения эффективного напряжения шума электронный вольтметр должен иметь детектор с квадратичной характеристикой. В качестве источника шума в шумовых генераторах используются резисторы либо насыщенный вакуумный диод. В первом случае в качестве «шумового» резистора используется вольфрамовая нить, нагреваемая постоянным током. Действующее напряжение шумов такого источника определяется выражением

$$U_{\text{д}} = 2 \sqrt{kT_0 R \Delta f}, \quad (2-5)$$

где k — постоянная Больцмана, равная $1,38 \times 10^{-23}$ Дж/град; T_0 — абсолютная температура, град; R — значение сопротивления резистора; Δf — ширина спектра шума.

Действующее напряжение шума генераторов, выполненных с использованием «шумового» диода, рассчитыв-

вается по формуле

$$U = R \sqrt{2eI_0 \Delta I}, \quad (2-6)$$

где e — заряд электрона; I_0 — ток, проходящий через диод; R — сопротивление нагрузочного резистора в цепи диода, с которого снимается напряжение шума.

2-2. Измерители тока, напряжения и уровня

Измерители тока. В качестве измерителей переменного тока в основном используются термоэлектрические и детекторные приборы; значительно реже используются тепловые приборы.

Термоэлектрические приборы состоят из двух основных частей — термоэлемента и чувствительного прибора магнитоэлектрической системы. Работа прибора основана на преобразовании переменного тока с помощью термоэлемента в постоянный ток, который измеряется прибором постоянного тока магнитоэлектрической системы. Достоинствами термоэлектрических приборов являются:

- 1) независимость показаний от частоты и формы измеряемого тока;
- 2) измерение действующих значений тока, т. е. независимость показаний от рода тока;
- 3) высокая точность измерений;
- 4) чисто активное входное сопротивление прибора.

Недостатками этих приборов являются чувствительность к перегрузкам, невысокий срок службы термоэлементов, необходимость перерегулировок при смене термоэлемента. Область использования термоэлектрических приборов значительно ограничивается также тем, что они имеют большое входное сопротивление. Так, например, миллиамперметр на номинальный ток 10 мА имеет сопротивление порядка 20—60 Ом, а сопротивление более чувствительных приборов достигает 1000—2000 Ом.

Детекторные измерители тока основаны на том, что измеряемый переменный ток с помощью полупроводниковых диодов преобразуется в пульсирующий ток, который измеряется затем магнитоэлектрическим прибором. Детекторные измерители в основном используются для измерения токов звукового диапазона частот (0,1—20 кГц), так как на более высоких частотах заметно возрастает погрешность измерений. Применяемые в схемах приборов методы компенсации частотной

и температурной погрешности недостаточно эффективны, и точность детекторных приборов не выше 1,5%. Существенным недостатком детекторных измерителей тока является их пригодность для измерения только токов синусоидальной формы. Погрешность, возникающая при измерении этими приборами несинусоидальных токов, может достигать значительных величин (до 100%) в зависимости от формы измеряемого тока.

В практике выполнения наладочных и эксплуатационных измерений ВЧ каналов по ВЛ измерители тока используются крайне редко, за исключением случаев измерения параметров волновых каналов и характеристик ВЧ тракта.

В большинстве случаев измерение тока в цепи заменяется измерением напряжения U на резисторе с известным сопротивлением R , включаемым последовательно в исследуемую цепь. Ток определяется по формуле

$$I = \frac{U}{R}. \quad (2-7)$$

Измерители напряжения. Переменное напряжение низкой и высокой частоты измеряется с помощью электронных вольтметров. Измерители напряжения должны иметь высокое входное сопротивление, высокую чувствительность, высокую точность измерений.

Различают три вида измеряемых значений напряжений переменного тока: пиковое или амплитудное, действующее и среднепрямленное.

Пиковым напряжением $U_{\text{пик}}$ применительно к периодическому колебанию называется наибольшее значение мгновенного напряжения сигнала за один период.

Действующее значение напряжения сигнала определяется для синусоидального сигнала выражением

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt} \quad (2-8)$$

и для периодического колебания, содержащего k гармонических составляющих, выражением

$$U = \sqrt{\sum_{k=0}^{\infty} U_k^2}, \quad (2-9)$$

где u — мгновенное значение напряжения сигнала; U_k — действующее значение напряжения k -й гармонической составляющей.

Средневыпрямленное значение напряжения сигнала при двухполупериодном выпрямлении, иначе среднее арифметическое из абсолютных мгновенных значений, определяется формулой.

$$U_{\text{ср. вып}} = \frac{1}{T} \int_0^T |U(t)| dt. \quad (2-10)$$

Соотношения между пиковым, действующим и средним (средневыпрямленным) значениями устанавливаются посредством коэффициента амплитуды k_a и коэффициента формы k_Φ :

$$U_{\text{пик}} = k_a U; \quad (2-11)$$

$$U = k_\Phi U_{\text{ср. вып}}. \quad (2-12)$$

Для некоторых простых форм сигналов значения этих коэффициентов приведены в табл. 2-1.

Таблица 2-1

Коэффициенты амплитуды и формы для различных видов напряжений

Вид напряжения	$U_{\text{пик}}$	$U_{\text{ср. вып}}$	k_a	k_Φ	$20 \lg \frac{U}{U_{\text{ср. вып}}}$, дБ
Прямоугольное	U	U	1	1	0
Пилообразное	$1,73 U$	$0,86 U$	1,73	1,16	1,29
Синусоидальное	$1,41 U$	$0,9 U$	1,41	0,91	0,9

Электронные вольтметры в большинстве случаев выполняются в соответствии с одной из функциональных схем, приведенных на рис. 2-6. В схеме на рис. 2-6, а измеряемое напряжение подается на детектор D , где оно преобразуется в пульсирующий ток, который после фильтрации усиливается усилителем постоянного тока УПТ и поступает в магнитоэлектрический прибор постоянного тока, по шкале которого определяется измеряемое напряжение. Чувствительность таких вольтметров достигает 0,5 мВ на шкалу, а диапазон измеряемых частот до 700—1000 МГц.

В вольтметрах, выполненных по схеме на рис. 2-6, б, измеряемое напряжение воспринимается эмиттерным

повторителем ЭП, усиливается усилителем переменного тока U и выпрямляется детектором, на выходе которого включен магнитоэлектрический прибор постоянного тока. Чувствительность таких вольтметров достигает 1 мВ на всю шкалу прибора, а диапазон рабочих частот до 40 МГц.

Как правило, все электронные вольтметры градуируются в действующих значениях синусоидального напряжения ($0,707 U_{\text{пик}}$), хотя в зависимости от примененной в них схемы детектора они реагируют на действующее, среднее или амплитудное значение напряжения.

Вольтметр с квадратичной характеристикой детектора правильно показывает как действующее значение непериодического напряжения, так и действующее значение многочастотного сигнала.

Вольтметр с детекторным устройством, имеющим линейно-ломаную характеристику, проградуированный в значениях действующего напряжения, дает правильные показания только при измерении синусоидального сигнала. Если на вход такого вольтметра подается напряжение, содержащее гармоники или смесь синусоидальных напряжений, то показание вольтметра не соответствует суммарному действующему напряжению, приложенному к его входу.

Амплитудные вольтметры содержат специальную схему детектирования, при которой для отклонения стрелки прибора постоянного тока используются заряд конденсатора измеряемым напряжением и последующий разряд этого конденсатора через цепь с некоторым сопротивлением, включенным параллельно или последовательно с измерительным прибором.

Для синусоидальных напряжений шкалу прибора градуируют в действующих значениях напряжения. При измерении несинусоидальных напряжений такой вольтметр не будет показывать значения действующего напряжения. Следует учитывать также, что полученный по шкале отсчет не всегда будет соответствовать амплитуде измеряемого сложного напряжения, так как при очень остроконечных пиках напряжения разряд конден-

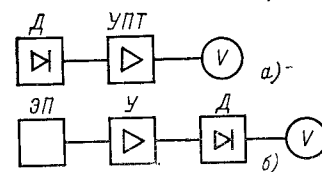


Рис. 2-6. Функциональные схемы измерителя напряжения с детекторным входом (а) и с эмиттерным повторителем (б).

сатора схемы детектора имеет иной характер, чем при синусоидальном напряжении, при котором выполнена градуировка прибора.

На практике в большинстве случаев измеряются синусоидальные напряжения, при которых электронные вольтметры всех схем дают минимальную погрешность. При измерениях сигналов с нелинейными искажениями более 3% может потребоваться внесение поправок, если измерения выполняются вольтметрами не с квадратичной характеристикой детектора.

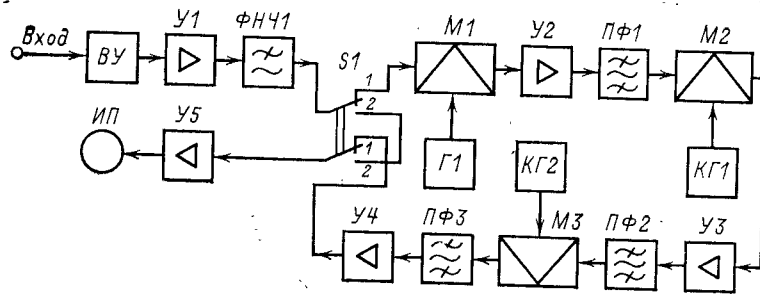


Рис. 2-7. Функциональная схема избирательного измерителя уровня.

Измерители уровня. Измерителем или указателем уровня называется прибор, предназначенный для измерения уровней передачи. По своей сущности измеритель уровня представляет собой электронный вольтметр, шкала измерительного прибора которого проградуирована в децибелах. Измерители уровня подразделяются на широкополосные и избирательные. Избирательный измеритель уровня используется для измерения уровня сигнала заданной частоты в присутствии сигналов других частот. На рис. 2-7 приведена функциональная схема комбинированного измерителя уровня, который может использоваться как широкополосный и как избирательный.

Входное устройство ВУ обеспечивает получение заданного входного сопротивления прибора и его чувствительности. Входной усилитель У1 усиливает измеряемый сигнал, а фильтр низкой частоты ФНЧ1 исключает прием сигналов, частоты которых превышают предельное значение, оговоренное в технических условиях на данный прибор. В положении 1 переключателя S1 прибор

работает как избирательный измеритель уровня. В этом случае в приборе используются три ступени частотного преобразования измеряемого сигнала, что обеспечивает высокую избирательность измерителя уровня.

Первая ступень преобразования, содержащая преобразователь частоты М1, генератор подстраиваемой частоты Г1, усилитель У2 и полосовой фильтр ПФ1, настроенный на частоту 1200 Гц, обеспечивает превращение измеряемого сигнала в сигнал частоты 1200 Гц. Для обеспечения этого преобразования частота сигнала генератора Г1 при измерении сигнала f_c устанавливается равной $f_1 = 1200 - f_c$.

Вторая ступень преобразования содержит преобразователь частоты М2, кварцевый генератор КГ1, настроенный на частоту 1128 кГц усилитель У3 и полосовой фильтр ПФ2 с частотой настройки 72 кГц. В этой ступени преобразования измеряемый сигнал преобразуется в сигнал частоты 72 кГц.

Третья ступень преобразования состоит из преобразователя М3, кварцевого генератора КГ2 70 кГц и полосового фильтра ПФ3, настроенного на частоту 2 кГц. После третьей ступени преобразования измеряемый сигнал в виде сигнала частоты 2 кГц через У4, переключатель S1 и усилитель У5 поступает на измерительный прибор ИП. В положении 2 переключателя S1 прибор превращается в широкополосный измеритель уровня. В этом случае измеряемый сигнал непосредственно с выхода ФНЧ1 поступает на вход усилителя У5 и уровень его фиксируется измерительным прибором ИП.

Избирательность измерителей уровня определяется количеством полосовых фильтров ступеней частотного преобразования и выбором частот преобразования.

Для исключения погрешности измерений за счет проникновения через фильтр частотных составляющих исследуемого сигнала средняя частота первого фильтра выбирается в 2—3 раза выше самой высокой частоты рабочего диапазона частот. Средняя частота полосы пропускания второго фильтра выбирается равной 1—3 кГц, благодаря чему легко получить прибор с узкой полосой пропускания. В практике применяются избирательные измерители уровня с полосой пропускания 0,05; 0,1; 0,3; 1; 2; 5 кГц.

Кроме измерителей уровня, выполненных по схеме

на рис. 2-7, применяются измерители уровня с одной ступенью преобразования.

В схемах измерителей уровня *ИУ* предусматриваются переключатели изменения входного сопротивления прибора с низкоомного значения (75, 600 Ом) на высокоомное (8—20 кОм).

Низкоомным входом *ИУ* пользуются только в тех случаях, когда входным сопротивлением прибора можно заменить нагрузку в точке измерения исследуемой электрической цепи. Во всех других случаях измерения выполняются при высокоомном входе указателя уровня.

Как правило, шкалы приборов *ИУ* градуируются в абсолютных уровнях по напряжению. Если при измерении прибор *ИУ* показал p_n , дБ, то уровень передачи по мощности, дБ, определяется выражением

$$p_m = p_n - 10 \lg \frac{R}{600}, \quad (2-13)$$

где R — значение сопротивления, параллельно которому при измерении подключен *ИУ* с высокоомным входом.

Если необходимо определить напряжение сигнала по показанию *ИУ*, то выполняют расчет по формуле

$$U = 0,775 \cdot 10^{0,05 p_n} \quad (2-14)$$

В некоторых случаях шкалу прибора *ИУ* градуируют в абсолютных уровнях по мощности для определенного значения входного сопротивления прибора (75 и 600 Ом). При измерении уровня высокоомным входом такого *ИУ* измеряемый абсолютный уровень по напряжению, дБ, определяется из формулы

$$p_n = p_m - 10 \lg \frac{600}{R_n}, \quad (2-15)$$

где R_n — значение сопротивления, при котором отградуирован измеритель уровня.

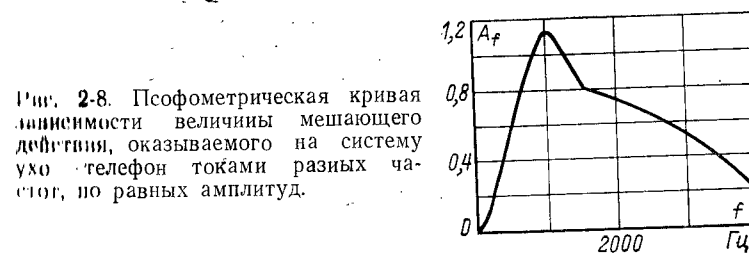
Псофометры. Псофометром называется прибор, предназначенный для измерения помех в телефонных каналах связи. Под напряжением помех в телефонном канале понимается действующее значение всех посторонних напряжений, существующих в точке измерения телефонного канала.

Измерение помех выполняется с целью определения степени их мешающего действия на восприятие человеком телефонного разговора, поэтому необходимо учи-

тывать при измерении чувствительность к помехам системы ухо — телефон. Согласно рекомендациям Международного консультативного комитета по телеграфии и телефонии (МККТТ) для телефонных каналов за единицу акустического восприятия принимается чувствительность системы ухо — телефон на частоте 800 Гц. Воздействие на систему ухо — телефон сигналов других частот учитывается посредством коэффициента акустического воздействия, определяемого выражением

$$A_f = \frac{A_1}{A_{800}}, \quad (2-16)$$

где A_1 — акустическое воздействие сигнала частоты f ; A_{800} — акустическое воздействие сигнала частоты 800 Гц.



Частотную характеристику коэффициента акустического воздействия показывают кривой, которую называют псофометрической. Псофометрическая кривая показана на рис. 2-8, из которого видно, что сигналы разных частот воспринимаются человеческим ухом неодинаково. Поэтому в телефонном канале измеряют не действительную величину помех, а псофометрическое напряжение помех.

Псофометрическим напряжением помех называется напряжение сигнала частоты 800 Гц, которое, будучи приложенным к точке измерения телефонного канала вместо напряжения помех, создает такое же мешающее действие для телефонного разговора, как и помехи.

Часто при анализе телефонных каналов применяют понятие псофометрической э. д. с., которая равна удвоенному значению псофометрического напряжения.

Если напряжение помех состоит из ряда синусоидальных составляющих частот $f_1—f_n$ с действующими значениями напряжения $U_1—U_n$, то псофометрическое на-

пряжение помех определяется выражением

$$U = \sqrt{\sum_{m=1}^{m=n} (A_m U_m)^2}, \quad (2-17)$$

где A_m — коэффициент акустического воздействия каждой частотной составляющей; U_m — действующее значение напряжения каждой частотной составляющей; n — число частотных составляющих помехи.

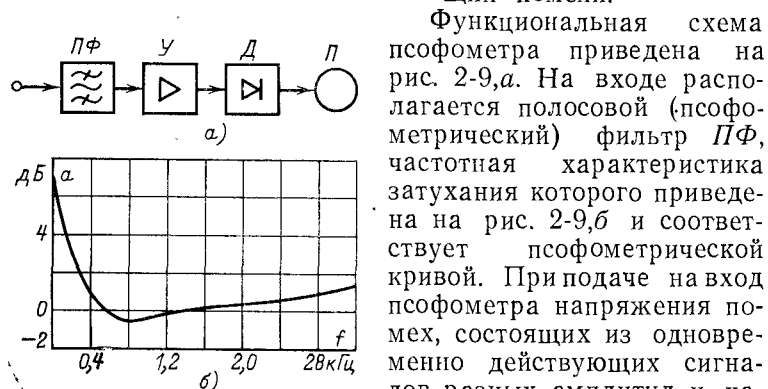


Рис. 2-9. Функциональная схема псофометра (а) и характеристика псофометрического фильтра (б).

Д псофометра имеет квадратичную характеристику детектирования, что обеспечивает измерение действующего значения напряжения помехи. Шкала прибора, как правило, отградуирована в милливольтках, но встречаются псофометры, шкалы которых отградуированы в абсолютных уровнях. Вход псофометра всегда выполняется симметричным. Входное сопротивление псофометра с помощью переключателя может устанавливаться равным 135, 600, 10 000 Ом.

2-3. Осциллографы

Осциллографом называются приборы, позволяющие наблюдать или фотографировать изменение во времени мгновенных значений тока или напряжения как при неустановившихся, так и при установившихся режимах.

По принципу устройства осциллографы разделяются на магнитоэлектрические и электронные.

Магнитоэлектрические осциллографы, как правило, применяются при выполнении измерений и исследований в цепях низкой частоты и постоянного тока. С помощью этих осциллографов измеряются временные параметры нестационарных и стационарных процессов в местных цепях каналов телефонного вызова и каналов телемеханики, а также в цепях постоянного тока релейных систем устройств телемеханики и автоматики телефонного канала.

Основными частями магнитоэлектрического осциллографа являются шлейф, источник света, оптическая система и развертывающий механизм.

Шлейф представляет собой гальванометр особого устройства с высокой частотой собственных колебаний. На подвижной системе этого гальванометра — одновитковой рамке — укреплено маленькое зеркальце, на которое падает луч света от источника света. При прохождении по рамке шлейфа исследуемого тока рамка, а следовательно, и зеркальце, поворачивается на угол, пропорциональный току. Поворот зеркальца вызывает перемещение по экрану световой точки, которая образована отраженным от зеркальца пучком света. Оптическая система обеспечивает передачу луча света от источника к зеркальцу шлейфа и отраженного от зеркальца луча к экрану для наблюдения или устройству для фотографирования. При прохождении через рамку шлейфа переменного или меняющегося тока световая точка на экране вычертит кривую, соответствующую кривой изменения тока.

Магнитоэлектрические осциллографы обычно выполняются многошлейфовыми, что позволяет одновременно наблюдать от 3 до 12—14 взаимосвязанных электрических процессов и выполнять сложные измерения временных параметров этих процессов. Это является основным достоинством магнитоэлектрических осциллографов.

К недостаткам магнитоэлектрических осциллографов относятся их малая чувствительность, непригодность для высокочастотных процессов, громоздкость.

Электронный осциллограф лишен указанных недостатков, в нем кривые вычерчиваются электронным лучом, практически безынерционным. Электронные осциллографы применяются не только для определения формы кривой напряжения или тока, но

и для определения частоты колебания, разности фаз, коэффициента амплитудной и частотной модуляции и т. д.

Помимо электронных осциллографов, в измерительной технике имеется множество специализированных осциллографических приборов: измерители частотных характеристик, спектрометры, измерители неоднородностей и т. д. Электронные осциллографы разделяются на приборы для исследования периодических процессов (колебаний) и на приборы для исследования коротких импульсов.

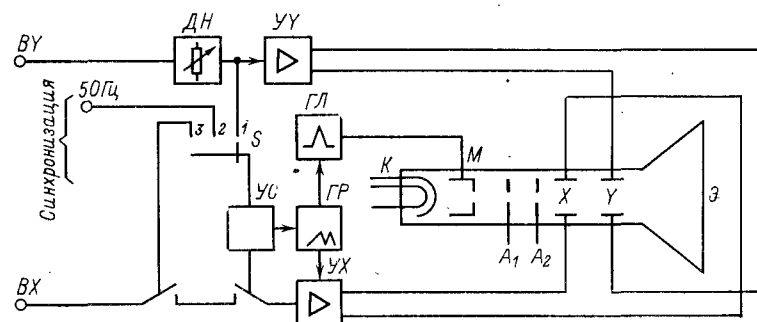


Рис. 2-10. Функциональная схема осциллографа.

Существуют сложные осциллографы, позволяющие выполнять оба вида измерений.

Функциональная схема осциллографа, предназначенного для измерений периодических колебаний, приведена на рис. 2-10. Основным элементом схемы является электронно-лучевая трубка с электростатической фокусировкой и отклоняющей системой. Вылетевшие из катода K электроны пролетают управляющий электрод M и попадают в ускоряющее поле двух анодов A_1 и A_2 . Ударяясь об люминесцирующий экран $Э$, электроны вызывают его свечение. Если между парой отклоняющих пластин Y создать разность потенциалов, то электронный луч будет отклоняться в вертикальном направлении, причем отклонение будет пропорционально приложенному напряжению. Подача напряжения на вторую пару отклоняющих пластин X вызывает отклонение электронного луча в горизонтальном направлении. Если на пластину Y подать переменное напряжение, то при отсутствии отклоняющего напряжения на пластинах X

электронный луч вычертит на экране осциллографа вертикальную светящуюся прямую линию, длина которой будет пропорциональна амплитуде переменного напряжения, приложенного к пластинам Y .

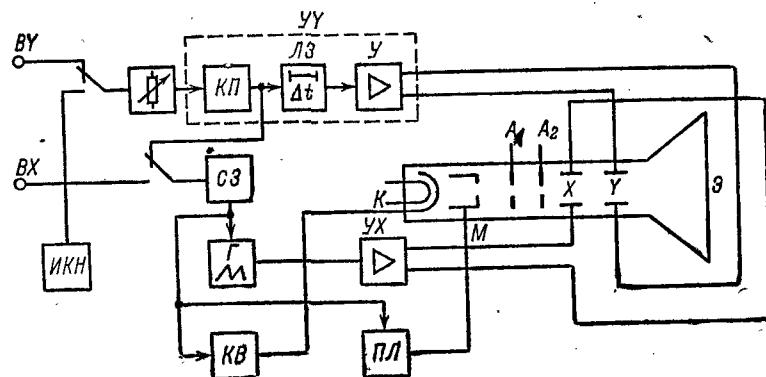
Точно так же переменное напряжение, приложенное к пластинам X , при отсутствии напряжения на пластинах Y вызовет появление на экране горизонтальной светящейся линии.

В схеме на рис. 2-10 исследуемое напряжение подается на зажим BY и через делитель входного напряжения $ДН$ и усилитель вертикального отклонения $УУ$ поступает на отклоняющие пластины Y электронно-лучевой трубки.

Делитель входного напряжения позволяет расширить пределы измерений. С этой же целью в схеме $УХ$ предусматривается плавный регулятор усиления. Для получения осциллограммы — графика зависимости исследуемого напряжения от времени — необходимо одновременно с вертикальным отклонением электронного луча под действием исследуемого напряжения осуществить горизонтальное перемещение луча с определенной скоростью. Этот процесс называется разверткой изображения и осуществляется с помощью генератора развертки $ГР$. Генератор развертки вырабатывает пилообразное напряжение, которое через усилитель горизонтального отклонения $УХ$ подается на горизонтальные отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки.

Изображение на экране останется неподвижным, если один период напряжения генератора развертки по длительности соответствует целому числу периодов исследуемого колебания. Поскольку частота исследуемых колебаний может изменяться в широких пределах, в схеме $ГР$ предусмотрена возможность изменения частоты сигнала развертки как ступенями, так и плавно. Чтобы кратность частот $ГР$ и исследуемого напряжения оставались одинаковой во времени, в схеме предусмотрено устройство синхронизации $УС$. Синхронизация $ГР$ может осуществляться от исследуемого напряжения (внутренняя синхронизация, положение 1 переключателя S), от внешнего постоянного источника (внешняя синхронизация, положение 3 переключателя S), а также от напряжения питающей сети (синхронизация от сети, положение 2 переключателя S). Внешней синхронизацией пользуются в тех случаях, когда исследуемый сигнал

Гашение электронного луча на время обратного хода в момент спада пилообразного напряжения горизонтальной развертки осуществляется устройством ГЛ. Для гашения луча на управляющий электрод электронно-лучевой трубки подается кратковременное отрицательное напряжение, запирающее трубку.



Для исследования кратковременных импульсов напряжения и непериодических процессов используются осциллографы со ждущей разверткой. Функциональная схема такого осциллографа приведена на рис. 2-11. В отличие от предыдущей схемы здесь применены генератор ждущей развертки G , который формирует пилообразный импульс напряжения развертки только после получения сигнала запуска, вырабатываемого схемой запуска $CЗ$. Схема запуска может срабатывать как непосредственно от измеряемого импульса, так и от постороннего источника, подключенного на зажим BX .

34

При работе со ждущей разверткой электронный луч трубки долгое время задерживается в одной точке, что может вызвать прогорание флуоресцирующего слоя экрана. Для предупреждения этого в схеме предусмотрено узел подсветки луча *ПЛ*, обеспечивающий интенсивность электронного луча только во время работы развертки. В импульсных осциллографах для измерения амплитуд импульсов предусматривается источник калиброванного напряжения *ИКН*, а также калибратор времени *КВ* для измерения малых отрезков времени. Эти же узлы встречаются и в некоторых типах осциллографов широкого назначения.

Применяя методику измерения напряжения импульсов с помощью обычного (не импульсного) осциллографа. Подключив источник импульсов к осциллографу, устанавливают на экране изображение импульсов и масштабе, удобном для выполнения измерения. С помощью измерительной сетки, надетой на экран осциллографа, или с помощью обыкновенного циркуля, или линейки измеряют величину вертикального отклонения луча от подножия до вершины импульса, после чего источник импульсов отключают от осциллографа. Не трогая регулировочных элементов осциллографа, на вход его подключают генератор синусоидального напряжения и подбирают такое напряжение, чтобы максимальное отклонение луча по вертикали равнялось ранее измеренной величине. Электронным вольтметром измеряется амплитудное $U_{\text{шк}}$ или действующее U значение напряжения, поступающего с генератора на вход осциллографа. Напряжение импульса определяется по формуле

35

Значения токов измеряются по падению напряжения на известном сопротивлении, значение которого выбирается настолько малым, что включение его в цепь измерительного тока не меняет режим этой цепи. Падение напряжения на сопротивлении определяется так же, как в предыдущем случае.

2-4. Измерители частотных и вольт-вмперных характеристик

Приборы для измерения частотных характеристик, называемые характеристическими диаграммами, позволяют наблюдать на экране осциллографа частотные характеристики четырехполюсника или двухполюсника в заданном диапазоне частот.

Такой метод измерения называется панорамным. При панорамном методе измерения амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) в качестве измерительного сигнала используется синусоидальный частотно-модулированный сигнал, частота которого меняется в заданных пределах измерения АЧХ. Измерительный сигнал вырабатывает передающая часть измерительного прибора, выходные зажимы которой соединяют с входом измеряемого объекта. Приемная часть прибора — панорамный измеритель — подключается на выход измеряемого объекта и обеспечивает получение изображения АЧХ на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ).

По сравнению с дискретными методами измерения, при которых отсутствуют нестационарные процессы, панорамный метод измерения имеет меньшую точность. Погрешность измерения зависит от скорости изменения частоты частотно-модулированного (ЧМ) колебания и параметров измеряемого объекта. Погрешность тем меньше, чем меньше скорость изменения частоты измерительного сигнала и чем меньше неравномерность амплитудно-частотной АЧХ и фазочастотной (ФЧХ) характеристик измеряемого объекта. Если скорость изменения измерительного сигнала высока для данного объекта измерения, то наблюдается смещение экстремальных значений АЧХ и вся характеристика становится более плоской и неравномерность ее скрывается.

Указанная погрешность измерения лежит в допустимых пределах при скорости изменения частоты измерительного сигнала до 0,5 МГц/с. В тех случаях, когда требуется большая точность измерения, используют из-

мерительный сигнал с большой скоростью изменения частоты для сокращения времени измерения.

Для получения неподвижного изображения на экране ЭЛТ необходимо обеспечить синхронность и синфазность пределов изменения частоты измерительного сигнала и развертки изображения.

При измерении сосредоточенного объекта — фильтра, усилителя, стойки аппаратуры — используется один измерительный прибор и синхронизация работы его передающей и приемной частей обеспечивается общим ис-

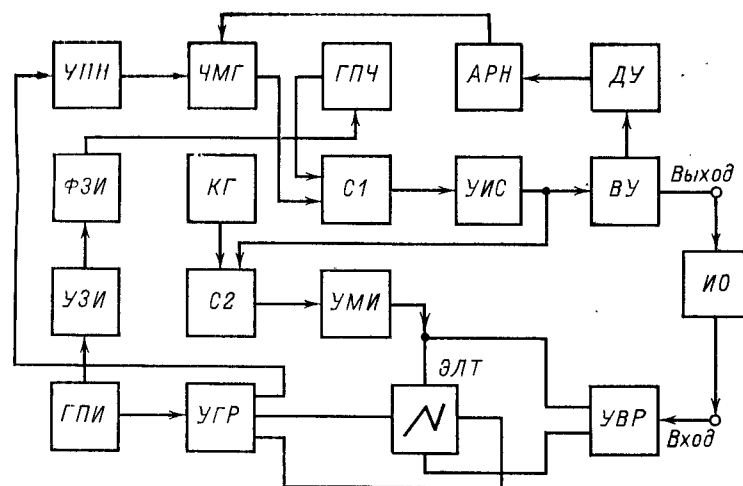


Рис. 2-12. Функциональная схема характериографа.

точником синхронизирующего напряжения в устройстве. При измерении, например, канала связи передатчик измерительного сигнала и панорамный приемник находятся в различных пунктах. Сигнал синхронизации работы передатчика и приемника в этом случае передается по специальному вспомогательному каналу связи либо в виде специальной информации непосредственно по измеряемому каналу связи. В некоторых устройствах в качестве сигнала синхронизации используют выключение ЧМ колебания в момент обратного хода пилообразного импульса, управляющего изменением частоты ЧМ колебания; в других устройствах в момент обратного хода ЧМ колебания передается специальный синхроимпульс.

Существуют и другие формирования синхронизирующего сигнала, например, в зависимости от значения частоты измерительного сигнала на входе приемного панорамного устройства.

Функциональная схема характериографа дана на рис. 2-12. Сущность работы характериографа заключается в том, что на вход исследуемого объекта *ИО* с выходного устройства *ВУ* прибора подается измерительный сигнал постоянной амплитуды и периодически меняющейся частоты. К выходу *ИО* подключается вход усилителя вертикальной развертки *УВР* прибора. В блоке *УВР* предусмотрен детектор, поэтому на пластины вертикальной развертки электронно-лучевой трубки подается напряжение огибающей измерительного сигнала, поступающего с выхода *ИО*.

При соответствующей частоте напряжения сигнала горизонтальной развертки, который поступает с усилителя горизонтальной развертки *УГР*, на экране электронно-лучевой трубки *ЭЛТ* появится неподвижное изображение частотной характеристики *ИО*. Напряжение синхронизации вырабатывает в виде пилообразных сигналов генератор пилообразных импульсов *ГПИ*. Это напряжение через *УГР* подается на пластины *ЭЛТ* и на вход усилителя пилообразного напряжения *УПН*. Напряжение сигнала с выхода *УПН* управляет частотой частотно-модулированного генератора *ЧМГ*, частота которого линейно меняется в заданных пределах $f_1 - f_2$. Для получения хорошей линейности изменения частоты *ЧМГ* его выполняют на частоты, которые значительно выше рабочих частот характериографа, например на частоты 40—48 МГц при рабочем диапазоне частот 0—20 МГц. Преобразование сигналов *ЧМГ* в заданный диапазон рабочих частот выполняется смесителем (преобразователем) частоты *С1*.

На второй вход *С1* подается сигнал от генератора перестраиваемой частоты *ГПЧ*, и рабочий диапазон частот на выходе избирательного усилителя измерительного сигнала *УИС* определяется разностью частот *ЧМГ* и *ГПЧ*. Для получения постоянства уровня измерительного сигнала с *ЧМГ* на выходе *ВУ* предусмотрена цепь стабилизации этого уровня, включающая детектор уровня *ДУ* и блок автоматического регулирования напряжения *АРН*. Усилитель запирающего импульса *УЗИ* и фильтр запирающего импульса *ФЗИ* обеспечивают пере-

дачу от *ГПИ* на *ГПЧ* запирающего сигнала в момент возврата луча горизонтальной развертки.

Кварцевый генератор *КГ* вырабатывает сигнал частотных меток, содержащий гармоники основной частоты кварца. В системе *С2* вырабатываются маркерные импульсы, соответствующие моменту совпадения частоты выходного измерительного сигнала и одной из гармонических составляющих *КГ*. Сигналы нулевых биений через усилитель маркерных импульсов *УМИ* поступают на пластины вертикальной развертки *ЭЛТ* и вызывают кратковременные отклонения луча. На частотной характеристике, изображение которой наблюдают на экране *ЭЛТ*, появляются маркерные импульсы, составляющие как бы шкалу частот. Принцип панорамного измерения амплитудных характеристик различных устройств ясен

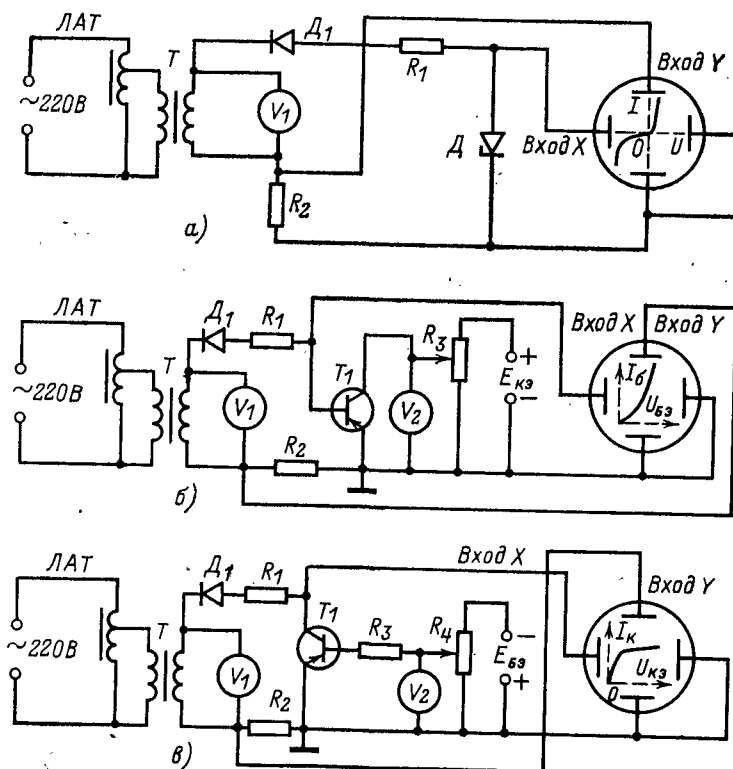


Рис. 2-13. Измерение вольт-амперных характеристик.

из рис. 2-13, где приведены соответствующие принципиальные схемы измерительных устройств.

На рис. 2-13,а показана схема панорамного измерения вольт-амперной характеристики стабилитрона, а на рис. 2-13,б и в показаны схемы измерения входной и выходной вольт-амперных характеристик транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером.

В качестве напряжения горизонтальной развертки ЭЛТ в этих схемах используется напряжение переменного тока частоты 50 Гц, а в качестве напряжения вертикальной развертки используется напряжение на резисторе R_2 при прохождении через него тока исследуемого объекта.

В схемах на рис. 2-13,б и в предусмотрен диод D_1 , так как вольт-амперные характеристики транзисторов изменяются только при одной полярности питающего напряжения. В этих схемах для вертикальной развертки ЭЛТ используется напряжение отрицательной полуволны переменного тока частоты 50 Гц.

Источник постоянного напряжения E и потенциометр R_3 в схеме на рис. 13,б и R_4 в схеме на рис. 13,в позволяют установить нужный режим работы транзистора.

2-5. Измерители краевых искажений дискретных посылок

Дискретными сигналами называются сигналы, у которых параметр (амплитуда, частота или фаза), несущий информацию, может принимать конечное число фиксированных значений. Большое распространение получили двоичные дискретные сигналы, у которых параметр, несущий информацию, может принимать только два значения: 1 или 0. На рис. 2-14 приведены двоичные дискретные сигналы, применяемые для передачи телемеханической и телеграфной информации и передачи данных. Сообщение, передаваемое при помощи дискретных сигналов, формируется из элементарных посылок определенной длительности и соответствующих значений информационного параметра — значащими позициями. Значащими позициями однополярного двоичного сигнала являются наличие напряжения сигнала и отсутствие напряжения (рис. 2-14,а). Значащими позициями двухполярного дискретного двоичного сигнала (рис. 2-14,б) являются напряжения положительной и

отрицательной полярности. При передаче дискретных двоичных сигналов переменным током значащими позициями сигналов являются амплитуда сигнала при амплитудной модуляции (рис. 2-14,в), частота сигнала при частотной модуляции (рис. 2-14,г), фазы сигнала при фазовой модуляции (рис. 2-14,д).

В настоящее время успешно применяется передача дискретных сигналов путем относительной фазовой модуляции ОФМ (рис. 2-14,е). Передача изменения фазы несущей (или дискретного состояния сигнала) производится только в момент, предшествующий передаче сигнала заданной значащей позиции, например 1. Прием каждой посылки при ОФМ осуществляется сравнением фазы несущей (либо дискретного состояния) с фазой несущей (или дискретным состоянием) предыдущей элементарной посылки, которая сохраняется в памяти приемного устройства. Длительность

элементарной посылки T_0 связана со скоростью передачи дискретных сигналов B , Бод, соотношением

$$B = \frac{1}{T_0}. \quad (2-19)$$

Под скоростью передачи в бодах понимают количество элементарных посылок, передаваемых по каналу связи за 1 с, при непрерывной передаче этих посылок.

При эксплуатации и наладке каналов импульсных систем телемеханики или каналов телефонного вызова возникает необходимость измерения искажений импульсов. В общем случае искажением дискретной посылки называется любое изменение ее длительности, появившееся в процессе передачи. Как правило, измерение искажений выполняется на входе или на выходе канала связи в цепях, где посылки представляют собой однополярные или двухполярные сигналы постоянного тока.

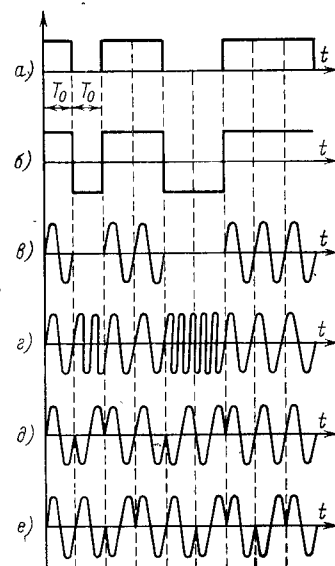


Рис. 2-14. Дискретные сигналы.

На рис. 2-15 представлена временная диаграмма двухполярных элементарных посылок постоянного тока, поступающих с передающего устройства на вход канала. Длительность каждой посылки пусть будет равна T_0 . Моменты времени, в которые посылки меняют свое значение, принято называть характеристическими моментами модуляции ХММ.

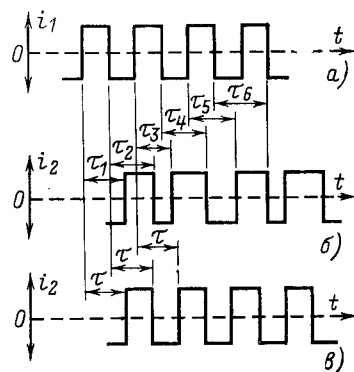


Рис. 2-15. Диаграмма дискретных посылок.

а — на выходе передающего устройства; б и в — на выходе дискретного канала связи.

восстановления, или запаздыванием восстановления.

При отсутствии в канале факторов, вызывающих искажения, запаздывание восстановления любой посылки имеет одну и ту же величину τ (рис. 2-15, в). При наличии искажений запаздывание восстановления отдельных посылок имеет различную величину ($\tau_1 - \tau_6$), которая может быть и больше и меньше τ . Случай, когда запаздывание восстановления меньше τ , соответствует укорочению конца посылки, а случай, когда запаздывание восстановления превышает величину τ , соответствует укорочению начала посылки.

Если через $\tau_{\min}$ обозначить минимальное время запаздывания восстановления посылки, наблюдаемое за достаточно длительный отрезок времени, а через $\tau_{\max}$ — максимальное время запаздывания восстановления, то максимальные значения укорочения концов θ_{κ} и начал $\theta_{\text{н}}$ посылок определяются выражениями:

$$\left. \begin{aligned} \theta_{\text{н}} &= \tau - \tau_{\min} \\ \theta_{\kappa} &= \tau_{\max} - \tau \end{aligned} \right\}$$

Общее укорочение посылок может быть рассчитано так:

$$\theta_{\text{общ}} = \theta_{\text{н}} + \theta_{\kappa} = \tau_{\max} - \tau_{\min}. \quad (2-20)$$

Отношение $\theta_{\text{общ}}$ к длительности элементарной посылки T_0 , выраженное в процентах, есть значение абсолютного искажения посылок:

$$\delta_{\text{общ}} = \frac{\theta_{\text{общ}}}{T_0} \cdot 100\% = \frac{\tau_{\max} - \tau_{\min}}{T_0} \cdot 100 = B (\tau_{\max} - \tau_{\min}) \cdot 100. \quad (2-21)$$

Из (2-21) следует, что при $\tau_{\max} = \tau_{\min}$, т. е. когда время задержки посылок постоянно, величина искажений равна нулю. При передаче дискретных сигналов в зависимости от типа передающих устройств имеют место синхронная передача, при которой передающее и приемное устройства работают синхронно и синфазно, и стартстопная передача, при которой синхронизация и синфазность приемника и передатчика осуществляются по циклам. В зависимости от способа передачи подразделяются понятия синхронных и стартстопных искажений. В соответствии с МККТТ синхронные искажения оцениваются максимальной разницей между поступившими и теоретическими интервалами, разделяющими два любых значения ХМВ, которая относится к длине элементарной посылки. Таким образом, формула (2-21) определяет синхронные искажения. В соответствии с рекомендациями МККТТ стартстопным искажением, %, называется величина

$$\delta_{\text{ст}} = \frac{\theta_{\max}}{T_0} \cdot 100, \quad (2-22)$$

где $\theta_{\max}$ — максимальная измеренная разность между поступившими и теоретическими интервалами, разделяющими любой ХМВ и стартстопный переход. При этом смещение стартстопного перехода условно полагается равным нулю, а теоретические интервалы определяются относительно этого нулевого периода.

На рис. 2-16 показано определение смещения ХМВ при стартстопной передаче посылок. Расположение ХММ на выходе передатчика определяется интерва-

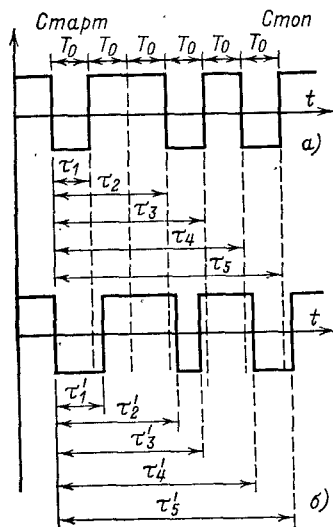


Рис. 2-16. Определение величин смещения ХМВ при стартовой передаче.

лами $\tau_1—\tau_5$, показанными на рис. 2-16,а. Величины $\tau'_1—\tau'_5$ на рис. 2-16,б определяются интервалом времени между стартстопным переходом и ХМВ посылок. Величина $\theta_{\max}$ определяется наибольшим из значений

$$\theta_1 = \tau_1 - \tau'_1; \theta_2 = \tau_2 - \tau'_2;$$

$$\theta_3 = \tau_3 - \tau'_3; \theta_4 = \tau_4 - \tau'_4;$$

$$\theta_5 = \tau_5 - \tau'_5.$$

Основными причинами появления краевых искажений посылок являются:

а) воздействия импульсных помех при прохождении посылок по каналу связи;

б) воздействие плавных и кратковременных изменений остаточного затухания канала связи;

в) нестационарные процессы изменения параметра посылки в канале связи, вызывающие появление характеристических искажений;

г) нарушение регулировок элементов передающих устройств и устройств канала связи.

Для оценки качества каналов передачи дискретной информации и их эксплуатации применяются специальные контрольно-измерительные приборы: измерители краевых искажений, датчики испытательных импульсов (посылок), измерители импульсных помех, измерители занижений уровней и измерители достоверности передачи.

Измерители краевых искажений посылок подразделяются на синхронные и стартстопные.

Синхронными называются приборы, которые могут быть использованы для измерения искажений с применением датчиков, непрерывно посылающих измерительные импульсы.

По методу измерений синхронные измерители искажений разделяются на стробоскопические и основанные на методе интегрирования.

Стробоскопические измерители искажений применяются двух типов: механические и катодные.

Функциональная схема катодного стробоскопа приведена на рис. 2-17. В этом приборе в качестве индикатора измеряемых искажений используется электронно-лучевая трубка, в которой отклоняющее электрическое поле имеет непрерывное вращение по кругу. Характеристические моменты модуляции импульсов, принимаемые поляризованным реле $ПР$, регистрируются в виде

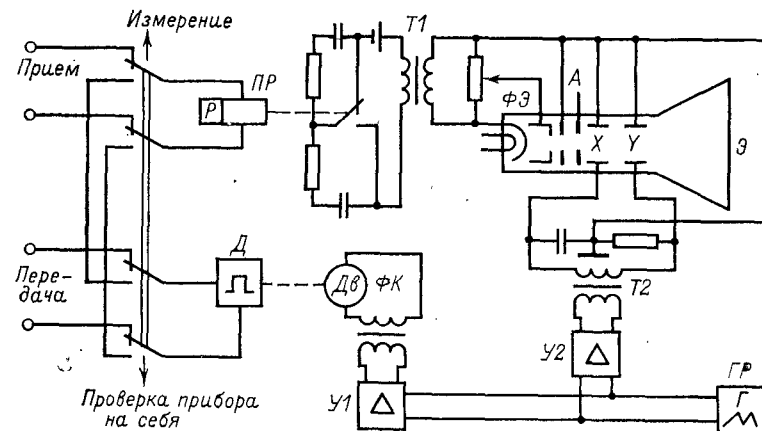


Рис. 2-17. Функциональная схема катодного стробоскопа.

светящихся пятен на экране трубки. Электронный луч возникает только в моменты касания якоря $ПР$ одного из контактов за счет импульсов высокого напряжения, возникающих во вторичной обмотке трансформатора $Т1$ и подаваемых на анод $А$ и фокусирующий электрод $ФЭ$.

Вращение электрического поля электронно-лучевой трубки осуществляется подачей на отклоняющие пластины трубки синусоидальных напряжений, сдвинутых на 90° . Напряжение на фазовращающее устройство подается через трансформатор $Т2$ и усилитель $У2$ от генератора развертки $ГР$.

Датчик прибора $Д$ механического типа приводится во вращение фониическим колесом $ФК$, синхронизируемым напряжением генератора развертки.

Для определения измеряемых искажений перед экраном трубки помещается прозрачный диск со шкалой

в виде сетки из радиальных и концентрических линий. По положению световых пятен относительно нуля шкалы можно судить о значении абсолютных искажений непосредственно в процентах от длины элементарного импульса.

Функциональная схема измерителя искажений, основанного на принципе интеграции импульсов, приведена на рис. 2-18. В схеме используется интегрирующее свойство магнитоэлектрического измерительного прибора показывать среднее значение тока за периодически повторяющийся цикл, соответствующий одной определенной комбинации импульсов. Эта особенность ограничивает применение прибора областью измерения только одного вида искажений импульсов — преобладаний.

Рис. 2-18. Функциональная схема интегрального измерителя искажений импульсов.

Если на *ПР* прибора воздействует непрерывно повторяющаяся комбинация импульсов, состоящая из элементарных импульсов *m* — рабочих и *n* — покоя, а измерительный прибор показывает ток I_n , то искажения преобладания, %, вычисляются по формуле

$$\delta_n = \frac{m+n}{2p} \left(\frac{I_n}{I_0} - \frac{mn}{m+n} \right) \cdot 100, \quad (2-23)$$

где I_0 — установившееся значение тока, проходящего через прибор, при нахождении якоря *ПР* у одного из контактов; *p* — число перемен знака импульсов в комбинации.

При воздействии на реле *ПР* серии симметричных импульсов — точек, при которых $m=n=1$ и $2p=2$, искажения, %, определяются выражением

$$\delta_n = \frac{I_n}{I_0} \cdot 100 \quad (2-24)$$

Обычно шкала прибора имеет ± 100 делений с нулем посередине. Если I_0 устанавливается таким, чтобы стрелка прибора показывала 100 делений, то при измерении искажений точек прибор будет непосредственно показывать искажения в процентах.

Для измерения краевых искажений на высоких скоростях передачи отечественной промышленностью выпускается синхронный измеритель краевых искажений типа ИКИ-С. Прибор состоит из датчика измерительных сигналов со скоростями передачи 50, 75, 100, 200, 600 и 1200 Бод и измерителя на те же самые скорости передачи.

Передачик ИКИ-С позволяет передавать комбинации посылок 1:1; 1:3; 3:1; 1:7; 7:1 и квазислучайный текст длиной в 511 элементарных посылок при собственных искажениях посылки не более 0,25%. Напряжение сигнала на выходе передатчика может быть установлено 5—7, 20, 60 В. Передача ведется двухполюсными посылками постоянного тока. Измеритель краевых искажений выполнен по принципу дискретного счета и рассчитан на работу в режиме измерения синхронных искажений либо в режиме измерения длительности посылки, что необходимо при проверке и испытаниях передающих устройств (датчиков). Индикация искажений — дискретное ламповое табло. Технические данные дискретной шкалы (табло) приведены в табл. 2-2. На рис. 2-19 представлена функциональная схема ИКИ-С и временные диаграммы, иллюстрирующие работу устройства в режиме измерения синхронных искажений. Неискаженная серия посылок 1, пройдя канал связи, приобретает искажения, и искаженная серия 2 воспринимается входным устройством ВУ измерителя. Устройство ВУ формирует импульсы 6, совпадающие с ХМВ принимаемых посылок, и воздействует через узел фазовой автоподстройки частоты ФАПЧ на подстраиваемый гене-

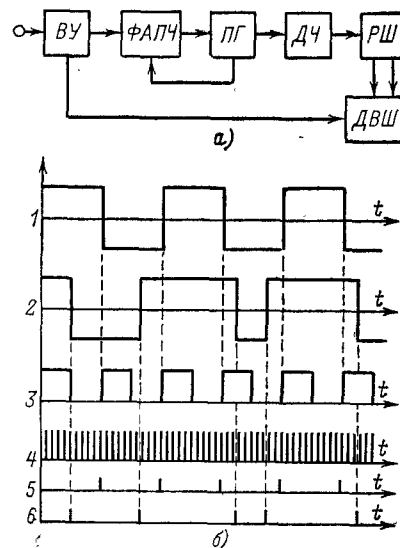


Рис. 2-19. Функциональная схема ИКИ-С (а) и временные диаграммы сигналов (б).

ра. Технические данные дискретной шкалы (табло) приведены в табл. 2-2. На рис. 2-19 представлена функциональная схема ИКИ-С и временные диаграммы, иллюстрирующие работу устройства в режиме измерения синхронных искажений. Неискаженная серия посылок 1, пройдя канал связи, приобретает искажения, и искаженная серия 2 воспринимается входным устройством ВУ измерителя. Устройство ВУ формирует импульсы 6, совпадающие с ХМВ принимаемых посылок, и воздействует через узел фазовой автоподстройки частоты ФАПЧ на подстраиваемый гене-

ратор $ПГ$ таким образом, чтобы совместить начало шкалы измерителя с теоретическими моментами начала посылки. Тактовые посылки, соответствующие ожидаемым началам посылок информации, показаны на диаграмме 5. Частота подстраиваемого генератора выбирается в соответствии с формулой

$$F_r = \frac{B \cdot 100}{n}, \quad (2-25)$$

где n — цена деления шкалы измерителя, %.

Таблица 2-2

Технические данные ИКИ-С

Режим измерений	Дискретность отсчета, %	Пределы шкалы, %	Максимальная погрешность измерений на скоростях, Бод			
			50—75	100—200	600	1200
Синхронные искажения	2	±48	±03	±05	±1	±1,5
	1	±24				
	0,5	±12				
	0,25	±6				
Искажения длительности	2	±48	±01	±01	±02	±02
	1	±24				
	0,5	±12				
	0,25	±6				

Делитель частоты $ДЧ$ позволяет получить от $ПГ$ указанную выше частоту при разных скоростях передачи B и разных пределах измерения n шкалы. Импульсы частоты F_r поступают на $РШ$, имеющий количество выходов, соответствующее количеству ламп шкалы измерителя искажений. При работе $РШ$ поочередно подготавливает схемы индикации дискретной шкалы $ДВШ$.

Если момент смены значения принимаемой посылки совпадает с моментом подготовки данной (очередной) схемы индикации, то на шкале прибора загорается соответствующая данному проценту искажений лампочка. Общее количество индикаторных ламп в приборе 51, из них 24 лампы для индикации «минусовых искажений», 24 лампы для индикации «плюсовых искажений», нулевая лампа и две лампы сигнализации о подключении пределов измерения в отрицательную или положительную сторону. Время свечения ламп установлено 150 мс. Предусмотрена возможность работы при фиксации на

шкале всех значений индивидуальных искажений посылки за сеанс измерения. На рис. 2-19,6 показаны временные диаграммы, иллюстрирующие принцип работы прибора: диаграмма 1 соответствует неискаженным посылкам датчика сигналов. В процессе передачи сигналов по каналу связи появляются искажения посылок, что показано на диаграмме 2. Диаграмма 3 соответствует тактовым импульсам прибора, которые синхронизированы с моментами теоретической смены знака принимаемых посылок (случай неискаженной передачи).

Временная диаграмма 4 характеризует импульсы подстраиваемого генератора, и моменты совпадения этих импульсов с моментами смены знака тактовых импульсов (диаграмма 3) фиксируются на диаграмме 5, а моменты совпадения импульсов $ПГ$ с моментами смены знака применяемых посылок (диаграмма 2) фиксируются на диаграмме 6. Импульсы диаграммы 5 являются сигналами начала отсчета $РШ$, а импульсы диаграммы 6 — импульсы, по которым фиксируются в $ДВШ$ индивидуальные искажения посылки.

Функциональная схема датчика испытательных сигналов прибора ИКИ-С приведена на рис. 2-20. Для получения высокой точности на разных скоростях передачи испытательных сигналов в датчике предусмотрен кварцевый генератор $КГ$, сигнал с которого через делитель частоты $ДЧ$ подается на распределитель

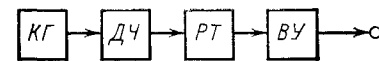


Рис. 2-20. Функциональная схема датчика испытательных сигналов типа ИКИ-С.

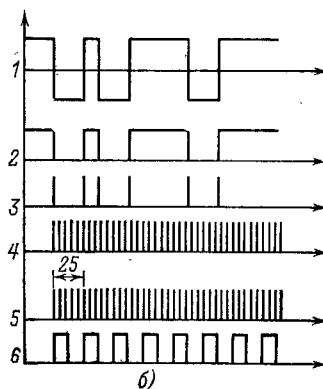
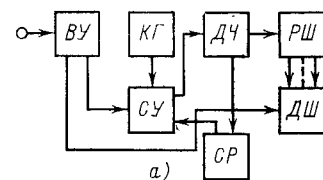


Рис. 2-21. Функциональная схема стартопного измерителя крайних искажений типа ИКИ-Ст (а) и временная диаграмма импульсов (б).

РТ. В *РТ* предусмотрен переключатель, с помощью которого устанавливается нужный режим формирования испытательного сигнала (заданная комбинация испытательного сигнала). Сформированный испытательный сигнал подается на вход *ВУ*. На выходе *ВУ* испытательные сигналы представлены посылками двухполярного постоянного тока.

Функциональная схема измерителя краевых искажений при стартостопной передаче типа ИКИ-Ст приведена на рис. 2-21.

Измеряемый сигнал (диаграмма 1 на рис. 2-21,б) поступает на вход *ВУ*, которое формирует импульсы (диаграмма 2), совпадающие по времени с импульсами принимаемого сигнала, и импульсы моментов смены значений (диаграмма 3) приемных посылок. Импульс, соответствующий стартовому переходу, вызывает срабатывание стартового устройства *СУ*, которое выдает на *ДЧ* пачку квантуемых импульсов (диаграмма 4) от *КГ*. Кварцевый генератор генерирует частоту 240 кГц, которая кратна всем скоростям измерения прибора. Наличие высокой частоты квантования обеспечивает высокую точность запуска распределительного устройства. Делитель частоты вырабатывает тактовые частоты: для распределителя шкалы измерителя *РШ* частоту

$$F_p = \frac{B}{n} \cdot 100 \quad (\text{диаграмма 5}) \quad \text{и для стартостопного}$$

распределителя *СР* частоту $F_{ст} = 2 \text{ В}$ (диаграмма 6). За время элементарной посылки на *СР* поступает один импульс, а на *РШ* — 25 импульсов; поэтому время полного оборота *РШ* (25 шагов) соответствует одному шагу *СР*. Таким образом, *РШ* за время элементарной посылки по очереди готовит для срабатывания 25 схем индикации *ДШ*. Дискретная шкала имеет 27 ламп индикации, из которых одна (нулевая) фиксирует отсутствие искажения, 12 ламп фиксируют искажения опережения (—), 12 ламп фиксируют искажения отставания (+) и две лампы сигнализации — превышения измерительной шкалы.

Совпадение момента изменения параметра приемной посылки с моментом подготовки той или другой схемы индикации фиксируется на дискретной шкале зажиганием соответствующей лампы индикации процентного значения искажений.

После прохождения *СР* 6,5 шагов *СУ* возвращается в исходное состояние и прекращается подача квантуемых импульсов на *ДЧ* до появления новой стартовой посылки в приемном сигнале.

Основные технические данные прибора ИКИ-Ст следующие:

Скорости приема, Бод	50, 75, 100
Измеряемый сигнал	Однополярный или двухполярный
Пределы измерения искажений, %	$\pm 48, \pm 24, \pm 12$ и ± 6 при точности измерения соответственно $\pm 4; \pm 2; \pm 1$ и $\pm 0,5$
Погрешность измерения, %	$\pm 0,15; \pm 0,25$ и $\pm 0,3$ при скорости передачи соответственно 50, 75 и 100 Бод
Индикация	Дискретное ламповое табло
Электропитание	Сеть переменного тока напряжением 220 В, частотой 50 Гц

2-6. Приборы для оценки достоверности передачи, регистрации перерывов в канале связи и импульсных помех

Обобщенным показателем качества передачи дискретных сигналов является показатель достоверности передачи, который выражается через коэффициент ошибок. Коэффициент ошибок представляет отношение количества ошибочно принятых посылок $N_{ош}$ к общему числу посылок $N_{пер}$, переданных за цикл испытаний канала, и определяется по формуле

$$K_{ош} = \frac{N_{ош}}{N_{пер}}. \quad (2-26)$$

Принцип построения приборов, измеряющих количество ошибок при передаче дискретной информации, ясен из рис. 2-22. В пункте *А* на вход модема передачи *МП* подключается датчик испытательного текста *ДИТ*, с которого передается заданная серия комбинаций дискретных посылок. Выход приемного модема *МПР* подключается в пункте *Б* к первому входу узла сравнения посылки *УСП*, а к второму входу *УСП* подключен *ДИТ*, с которого синхронно с приходящими с выхода *МПР* посылками испытательного текста подается аналогичный испытательный текст. При несоответствии знаков посылок приемного и местного испытательного текста на выходе *УСП* появляется сигнал наличия ошибки. Количество ошибок фиксируется счетчиком

ошибок CO . Зная количество посылок, переданных за сеанс измерения, и количество посылок, принятых с ошибками, коэффициент ошибок вычисляют по формуле (2-26).

На рис. 2-23,а приведена функциональная схема передатчика, а на рис. 2-23,б — приемника пульта выявления ошибок типа ВО-1. В состав передатчика входит задающий генератор $ЗГ$, делитель частоты $ДЧ$, формирователь испытательного текста $ФТ$ и выходное устройство $ВУ$. Генератор $ЗГ$ с кварцевой стабилизацией частоты вырабатывает сигнал частоты 9600 Гц. Делитель частоты $ДЧ$, имеющий переключатель коэф-

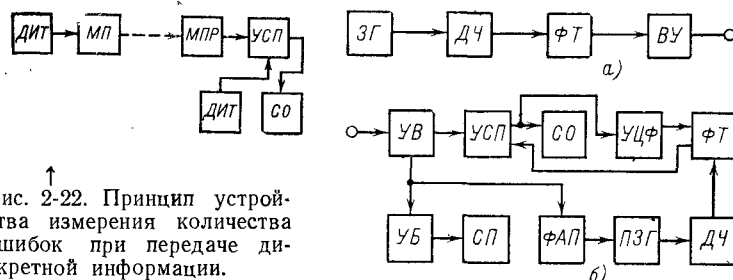


Рис. 2-22. Принцип устройства измерения количества ошибок при передаче дискретной информации.

Рис. 2-23. Функциональная схема пульта типа ВО-1.

фициента деления, позволяет получить различные скорости передачи посылок: 50, 100, 200, 600 и 1200 Бод. Формирователь текста $ФТ$ позволяет передавать сигнал 1, сигнал 0, комбинацию 1:1 и псевдослучайный текст, составленный из 511 элементарных посылок. Выходное устройство $ВУ$ обеспечивает получение на выходе передатчика двухполюсных посылок напряжением ± 60 или ± 20 В при скоростях передачи 50, 100 и 200 Бод и $\pm (6-7)$ В при скорости передачи 1200 Бод. При передаче со скоростью 600 Бод на выходе передатчика имеем однополярный сигнал с напряжением -5 В.

Входное устройство $УВ$ приемника ВО-1 воспринимает дискретные посылки передатчика, которые с выхода $УВ$ поступают на вход устройства сравнения посылок $УСП$ для сравнения с местным текстом и на вход узла фазовой автоподстройки $ФАП$ для обеспечения синхронизации посылок местного текста с посылками принимаемого текста. Узел фазовой автоподстройки $ФАП$ управляет частотой подстраиваемого задающего

генератора $ПЗГ$ (9800 Гц) таким образом, чтобы совместить моменты смены полярности (знака) сигналов на выходе $ДЧ$ с ожидаемыми идеальными моментами смены знака принимаемых посылок. Такая система фазирования называется поэлементным фазированием. Кроме поэлементного фазирования, в приемном устройстве предусмотрено и фазирование цикла передачи текста. Это фазирование обеспечивает совпадение порядковых элементов принимаемого текста с порядковыми элементами эталонного (образцового) текста, поступающего с $ФТ$ на второй вход $УСП$. Испытательный текст передается циклически, и после каждого цикла производится циклическое фазирование, для чего в устройстве предусмотрен узел циклового фазирования $УЦФ$, воздействующий на $ФТ$. Критерием правильности циклового фазирования является безошибочный прием заданного количества элементарных посылок. Коррекция при цикловом фазировании осуществляется путем задерживания на один такт продвижения $ФТ$ приемника. Исправляющая способность приемника ВО-1 на всех скоростях $\pm 45\%$, емкость счетчика ошибок $СО$ 9999 единиц. В приемнике предусмотрены узел блокировки $УБ$, осуществляющий блокировку прибора при перерыве связи более чем на 300 мс, и счетчик перерывов $СП$ емкостью в 10 единиц. Коэффициент ошибок определяется по формуле

$$K_{\text{ош}} = \frac{n}{T_c B}, \quad (2-27)$$

где n — показание $СО$;

B — скорость передачи испытательного текста, Бод;
 T_c — длительность сеанса измерения, с.

Измерения коэффициента ошибок в каналах тональной частоты в соответствии с рекомендациями МККТТ должны производиться с использованием стандартизованного модема с частотной модуляцией, отвечающего следующим требованиям:

Скорость передачи сигналов, Бод . . .	1200
Средняя рабочая частота, Гц	1700
Частота передачи 1, Гц	1300
Частота передачи 0, Гц	2100
Уровень передачи, дБ	От 0 до $-26,1$
Уровень приема, дБ	От -5 до -34
Вид сигнала на входе модема передачи и выходе модема приема . . .	Двухполюсный с напряжением ± 5 В

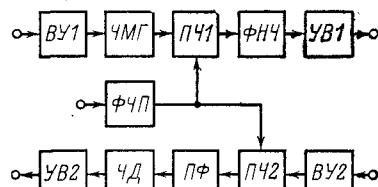


Рис. 2-24. Функциональная схема модема пульта ВО-1.

Частотно-модулированный сигнал с характеристическими частотами 6100, 6500 и 6900 Гц поступает с ЧМГ на ПЧ1, несущая частота которого равна 4800 Гц. Сигнал несущей частоты получается от задающего генератора пульта типа ВО-1 и через фильтр несущей частоты ФЧП подается на преобразователь частоты передачи ПЧ1 и приема ПЧ2. Фильтр низкой частоты ФНЧ выделяет из спектра частот преобразования сигналы характеристических частот 1300, 1700 и 2100 Гц, которые через выходное устройство УВ1 поступают на вход канала связи. Частотно-модулированный сигнал с характеристическими частотами 1300, 1700 и 2100 Гц с выхода канала связи поступает на входное устройство ВУ2 приемного модема. В преобразователе ПЧ2 этот сигнал преобразуется в сигнал с характеристическими частотами 6100, 6500 и 6900 Гц. Сигналы этих частот проходят полосовой фильтр ПФ, имеющий полосу частот пропускания 5650—7560 Гц, и преобразуются частотным детектором ЧД в сигналы двухполярного тока, которые с выходного устройства УВ2 поступают на вход приемника пульта типа ВО-1.

Основными причинами, вызывающими ошибки при передаче дискретных сигналов, являются кратковременные снижения уровня приемного сигнала в канале связи (перерывы из-за кратковременных обрывов в каналах и значительных перегрузок группового тракта) и импульсные помехи. Для оценки канала связи по указанным параметрам применяются специальные приборы измерения перерывов в канале связи и импульсных помех. В основу таких приборов положена функциональная схема, приведенная на рис. 2-25, а. Основными элементами устройства являются генератор контрольной час-

Функциональная схема модема пульта типа ВО-1 приведена на рис. 2-24. Сигнал с передатчика пульта типа ВО-1 поступает через входное устройство ВУ1 на вход частотно-модулированного генератора ЧМГ. Средняя частота этого генератора 6500 Гц при девиации ± 400 Гц.

тоты 1800 Гц ГКЧ, устройство определения сеанса измерения УОС, входной регулятор уровня РУ, анализатор импульсных помех АИП, анализатор снижений уровня АСУ, усилитель У, детектор Д, фильтр Ф и десятичный счетчик С. Устройство может работать в режиме измерения импульсных помех и в режиме измерения снижений приемного уровня. В режиме измерения импульсных помех напряжение импульсной помехи (диаграмма 1 на рис. 2-25, б) поступает на вход, РУ усиливается У и подается на Д. На выходе Д импульсная помеха приобретает форму, показанную на диаграмме 2. После прохождения импульсной помехи низкочастотного фильтра она приобретает форму импульса постоянного тока (диаграмма 3).

В АИП напряжение помехи сравнивается с фиксированным порогом (уровнем) напряжения, и на выходе АИП появляются сигналы квантования (диаграмма 4) длительности превышения уровня импульсной помехи над установленным порогом сравнения напряжений. В устройстве предусмотрена возможность раздельного определения числа импульсных помех по длительности, превышающих 25, 50 или 125 мс. Количество импульсных помех заданного уровня и заданной длительности фиксируется за время сеанса измерения десятичным счетчиком.

Диапазон измерения уровней импульсных помех составляет 0—49 дБ. Уровень сравнения выбирается в этом диапазоне с помощью РУ при шаге дискретиза-

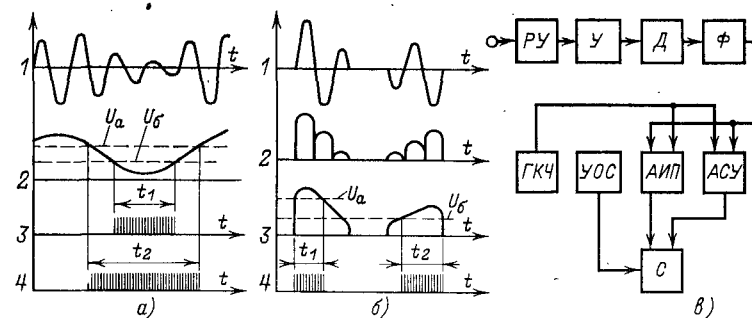


Рис. 2-25. Функциональная схема устройства измерения импульсных помех и снижений уровня сигнала (в) и графики работы в режимах измерения импульсных помех (б) и снижения уровня сигнала (а).

ции 1 дБ. На рис. 2-25,б (диаграмма 3) пунктиром показаны установленные уровни сравнения U_a и U_b , причем первый импульс помехи оценивается по уровню U_a , а второй импульс — по уровню U_b .

В режиме измерения снижения уровня по каналу связи подается сигнал контрольной частоты постоянного уровня. При прохождении сигнала по каналу уровень его может кратковременно снижаться (диаграмма 1 рис. 2-25,а). При помощи РУ устанавливается нужный для анализа порог фиксируемого снижения уровня в пределах от —1 до —49 дБ при точности установки 1 дБ. Сигнал контрольной частоты на выходе Ф приобретает форму сигнала постоянного тока переменного

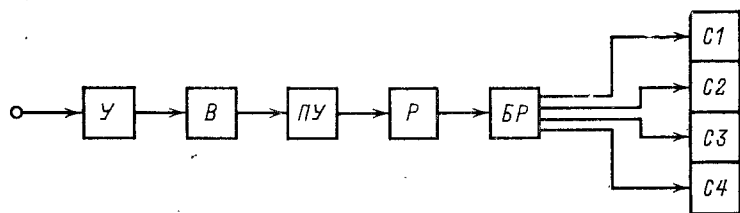


Рис. 2-26. Функциональная схема счетно-регистрирующего устройства типа СЧРУ-2.

уровня (диаграмма 2 на рис. 2-25,а). В анализаторе снижения уровня АСУ напряжение этого сигнала сравнивается с выбранным порогом анализа (пунктирные линии на диаграмме 2 рис. 2-25,а), и с выхода АСУ подаются импульсы квантования длительности снижения уровня на величину, большую, чем заданный порог сравнения (диаграмма 3 и 4 на рис. 2-25,а). Десятичный счетчик фиксирует количество случаев снижения уровня, превышающих заданную длительность. Устройство позволяет выделить снижения уровней, длительность которых лежит в пределах от 0,5 до 300 мс.

В эксплуатации нашло применение счетно-регистрирующее устройство типа СЧРУ-2, предназначенное для регистрации снижения уровня в телефонных каналах. Функциональная схема счетно-регистрирующего устройства типа СЧРУ-2 приведена на рис. 2-26. Напряжение контрольного сигнала с выхода канала связи поступает на усилитель У, который имеет переключатель усиления, рассчитанный на два положения: приемный уровень

—4,3 и —32,3 дБ. В блоке выпрямителя В сигнал выпрямляется и напряжение постоянного тока, пропорциональное уровню принимаемого сигнала, подается на вход порогового устройства ПУ. При номинальном значении уровня приемного сигнала якорь приемного реле Р находится у минусового контакта, а при снижении уровня ниже установленного порога якорь реле перебрасывается к плюсовому контакту и подает на вход блока регистрации БР положительное напряжение. При переброске якоря реле на время от 5 до 20 мс факт снижения уровня фиксируется счетчиком С1, при длительности от 20 до 100 мс — счетчиком С2, от 100 до 300 мс — счетчиком С3 и при длительности более 300 мс срабатывает счетчик С4. Таким образом, за сеанс контроля определяется количество снижений уровня с разделением их по длительности проявления.

2-7. Датчики дискретных испытательных сигналов

Значительный интерес при определении качества систем передачи дискретной информации представляют исправляющая способность приемного устройства и запас стабильности канала связи. Исправляющей способностью приемного устройства и называется максимальное значение добавочных искажений параметра дискретного сигнала, при котором приемное устройство обеспечивает прием информации с заданной достоверностью. Запасом стабильности канала передачи дискретной информации называется максимальное значение добавочных искажений посылок, при введении которого в канал передачи информации приемное устройство обеспечивает прием информации с заданной достоверностью. Численное значение запаса стабильности определяется по формуле

$$\Delta\delta_{\text{доб}} = (\mu - \delta_k), \quad (2-28)$$

где δ_k — значение искажений посылок, имеющих место в данном канале связи.

Для выполнения измерений исправляющей способности приемников и запаса стабильности каналов передачи дискретной информации используются датчики

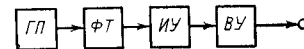


Рис. 2-27. Функциональная схема датчика испытательного текста.

дискретных испытательных сигналов. В общем случае датчик испытательных сигналов (испытательного текста) выполняется в соответствии с функциональной схемой, приведенной на рис. 2-27. Генератор посылок ГП вырабатывает элементарные посылки заданной скорости передачи. Формирователь текста ФТ формирует из этих посылок по заданной программе испытательный текст — серию комбинаций посылок. Искажающее устройство ИУ вносит в испытательный текст заданное оператором значение краевых искажений. С выходного устройства ВУ посылки испытательного текста подаются на вход устройства, исправляющую способность которого нужно измерить, или на вход модема передачи при измерении запаса стабильности канала передачи дискретной информации.

На состав испытательного текста накладываются определенные требования, направленные на осуществление измерений в наиболее тяжелых эксплуатационных условиях. Так, для испытательного текста датчика контрольных телеграфных сигналов МККТТ предъявляется следующее требование: текст должен представлять законченную фразу, включающую все буквы алфавита, цифры, знаки правописания, служебные комбинации и содержать определенное число комбинаций вида 1:6; 6:1; 2:2 и 1:1. Вполне очевидно, что датчики контрольных сигналов для проверки приемных устройств и каналов телемеханики должны иметь испытательный текст, в котором заложены сочетания всех команд данной системы телемеханики при обязательном выполнении требования наличия в тексте комбинаций вида 1:6; 6:1; 2:2; 1:1.

Наличие в испытательном тексте указанных комбинаций позволяет отдельно определить влияние характеристических и случайных искажений. Искажающее устройство датчика в общем случае должно обеспечить получение четырех видов искажений: удлинение начала, удлинение конца, укорочение начала и укорочение конца посылок испытательного текста. В эксплуатации используется несколько типов датчиков.

Датчики испытательного текста с релейным искажающим устройством выполнены по схеме на рис. 2-28,а. Двухполярные посылки с выхода формирователя текста ФТ поступают на двухобмоточное искажающее реле ИР, обмотки которого включены дифференци-

ально. В положении 1 переключателя S при плюсовой полярности посылки ФТ действующая м. д. с. ИР уменьшается, так как токи в обмотках реле 1 и 2 направлены в разные стороны (диаграмма 1) и положительные посылки испытательного текста укорачиваются (диаграмма 2). В положении 2 переключателя S уменьшается действующая м. д. с. ИР в момент отрицательной посылки (диаграмма 3), вследствие чего бестоковые посылки испытательного текста укорачиваются (диаграмма 4). Вносимые искажения изменяют с помощью перемещенного резистора R.

Искажающее устройство по схеме на рис. 2-28,а создает искажения только двух типов: удлинение положительных посылок при укорочении отрицательных посылок либо удлинении отрицательных посылок при укорочении положительных посылок.

Электронный датчик испытательного текста типа ЭДИТ-1 предназначен для проверки телеграфной аппаратуры и каналов тонального телеграфа. Передача текста ведется со скоростями 50, 75 и 100 Бод. Датчик осуществляет передачу стандартного испытательного текста без искажений по первому выходу и с искажениями по второму выходу. Искажения можно изменять в пределах от 0 до 49%. Искажения текста достигаются за счет изменения длительности стартстопных посылок при неизменной длительности информационных посылок. Электронный точкодаватель типа ЭТМ-1 является датчиком элементарных посылок со скоростью передачи 50 Бод. Он предназначен для проверки приемных и передающих реле и может быть использован для проверки каналов телемеханики. Собственные искажения датчика не превышают 1%.

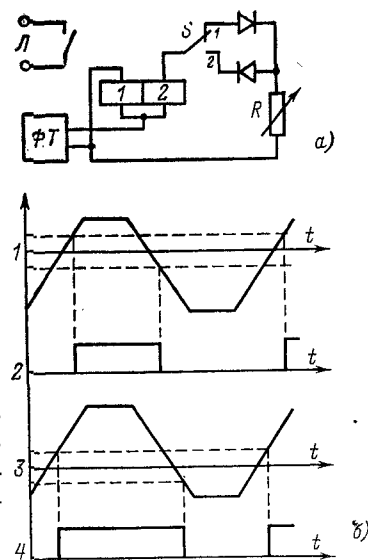


Рис. 2-28. Функциональная схема релейного искажающего устройства (а) и графики формирования посылок (б).

В настоящее время для проверки устройств и каналов телемеханики промышленность не выпускает датчиков контрольного текста, и проблема разработки и выпуска таких датчиков весьма актуальна.

2-8. Измерительные приборы многоцелевого назначения

К этим приборам относятся измерительные пульта типа ИП-300, ИП-ТЧ, ИП-2,1 и ЕТ-40.

В состав пульта типа ИП-300 входят измерительный генератор, избирательный и широкополосный измерители уровня и коммутационная панель. На этой же панели расположены магазин затухания, симметрирующие и согласующие трансформаторы, схемы для измерения параметров четырехполюсников методом сравнения, образцовые резисторы, удлинители, гнездовое поле и другие приборы.

Пульт типа ИП-300 позволяет проводить различные исследования и измерения, в том числе: остаточного затухания или усиления каналов, отдельных трактов и элементов аппаратуры; амплитудно-частотных характеристик на дискретных точках измерения; амплитудных характеристик; уровней сигналов и помех и т. д.

Таблица 2-3

Данные синтезатора частоты ИГ-ТЧ

Значение частоты, кГц							
сигнала	синтезатора		сигнала	синтезатора		сигнала	синтезатора f_5
	f_1	f_2		f_3	f_4		
0,0	160	176	0,0	176	168	0,0	160
1	160	168	0,1	176	160	0,025	168
2	160	160	0,2	168	184	0,033	160
3	168	184	0,3	168	176	0,050	176
4	168	176	0,4	168	168	0,060	168
5	168	168	0,5	168	160	0,075	184
6	168	160	0,6	160	184	0,1	168
7	176	184	0,7	160	176	—	—
8	176	176	0,8	160	168	—	—
9	176	168	0,9	160	160	—	—
10	176	160	—	—	—	—	—
11	184	184	—	—	—	—	—
12	184	176	—	—	—	—	—
13	184	168	—	—	—	—	—
14	184	160	—	—	—	—	—

Измерительный пульт тональной частоты типа ИП-ТЧ предназначен для измерения различных параметров каналов в диапазоне частот от 30 Гц до 15 кГц. В состав пульта входит измерительный генератор (ИГ-ТЧ) и измеритель уровня (ИУ-НЧ). Характерной особенностью построения измерительного генератора является использование для получения всех измерительных сигналов одного кварцевого генератора и специального устройства — синтезатора частоты. Синтезатор частоты является совокупностью делителей, умножителей и преобразователей частоты, выполненных на микросхемах.

Опорную частоту 1024 кГц вырабатывает кварцевый генератор. В делителе сигнал частоты 1024 кГц превращается в импульсную последовательность частоты 8 кГц. С помощью электромеханических фильтров из этой последовательности импульсов выделяются синтезирующие частоты 160, 168, 176 и 184 кГц, на базе которых работает вся схема синтезатора частоты. Путем соответствующего деления и преобразования из этих частот образуют выходной сигнал генератора, частота которого определяется по формуле

$$F = 1/2f_1 - 1/8f_2 - 1/20f_3 - 1/80f_4 + 1/320f_5 = 47,6 \text{ кГц.}$$

Частоты f_1 и f_2 определяют целые значения частоты выходного сигнала в килогерцах, частоты f_3 и f_4 определяют целые значения сотен герц, а частота f_5 определяет значения частот 25, 33, 50, 60, 76 и 100 Гц.

Зависимость значения частоты выходного сигнала от составляющих частот синтезатора приведена в табл. 2-3.

В измерительном генераторе предусмотрено как ступенчатое, так и плавное изменение частоты во всем рабочем диапазоне. В режиме ступенчатого изменения частоты переключение осуществляется ступенями через 100 Гц, а в диапазоне любых 100 Гц могут быть установлены частоты 25, 33, 50, 60, 75 Гц.

В режиме плавного изменения частоты в схеме генератора используется добавочный блок плавного генератора (ПГ) с диапазоном частот 160—192 кГц. Сигнал этого генератора перерабатывается схемой синтезатора частоты, и на выходе измерительного генератора может быть установлено любое значение частоты сигнала от 30 Гц до 15 кГц.

Измеритель уровня ИУ-НЧ обеспечивает измерение уровней синусоидальных сигналов, продуктов паразит-

ной модуляции измерительного сигнала, а также используется при измерении затухания несогласованности, затухания асимметрии, модуля полного сопротивления.

В режиме широкополосного измерения полоса частот ИУ-НЧ соответствует диапазону 0,03—15 кГц. В селективном режиме измерения выполняются в полосе 10 Гц и диапазоне от 0,06 до 15 кГц либо в полосе 70 Гц и диапазоне от 0,3 до 15 кГц.

В ИУ-НЧ предусмотрена возможность записи результатов измерения с помощью внешнего регистрирующего устройства, не входящего в состав ИП-ТЧ.

Измерительный пульт ИП-2,1 содержит генератор измерительный ИГ-2,1; измеритель уровней универсальный ИУУ-2,1; измеритель частотных характеристик ИЧХ-2,1; магазин затуханий МЗ-2,1; фильтр нижних частот ФНЧ-2,1; фильтр верхних частот ФВЧ-2,1; измеритель уровней основной ИУО-2,5 и коммутационную панель КП-2,1. Пульт рассчитан на выполнение измерений в диапазоне частот 0,01—2,1 МГц.

Измерительный генератор ИГ-2,1 выполнен на принципе синтезатора частоты с плавной регулировкой частоты выходного сигнала и ступенчатой регулировкой через 10 Гц в диапазоне частот от 10 до 2099,99 кГц. В ИГ-2,1 предусмотрено качание частоты с периодом 1,3 и 10 с в пределах любой полной декады частот с плавной установкой полосы качания от первой до десятой единицы декады. Кроме того, выделены полосы частот 60—1400 кГц и 812,6—2043,7 кГц, в которых также осуществляется качание частоты с указанной длительностью периода. Предусмотрены выделенные полосы частот: 12,3—23,4; 12,3—107,7; 12,3—252; 12,3—280; 66—107,7; 60—1400; 312,3—551,4; 812,6—2043,7 кГц, в которых качание частоты производится с периодом 40 мс при равных длительностях прямого и обратного измерения частоты. Для совместной работы ИГ-2,1 с ИУУ-2,1 при выполнении измерений АЧХ предусмотрено устройство синхронизации этих приборов, синхронизация ИУУ-2,1 осуществляется сигналом $(f+3000)$ кГц, вырабатываемым ИГ-2,1.

Измеритель ИУУ-2,1 может работать в широкополосном и в селективном режимах измерения. В последнем случае предусмотрена возможность измерения в полосе частот 50, 200 и 3100 Гц. Измеритель частотных характеристик ИЧХ-2,1 используется при измерении АЧХ,

сосредоточенных четырехполюсников и трактов каналов связи. При измерении трактов для синхронизации ИЧХ-2,1 отдельного канала связи не требуется, так как горизонтальная развертка синхронизируется сигналом, формируемым из приемного сигнала качающейся частоты. Анализ измеряемых АЧХ производится путем наблюдения на экране ЭЛТ характеристик, которые могут быть зафиксированы путем фотографирования или зарисовки на прозрачную бумагу.

Измерительные фильтры нижних (ФНЧ-2,1) и верхних (ФВЧ-2,1) частот используются при измерении нелинейности узлов и трактов аппаратуры. Блок ФНЧ-2,1 объединяет десять фильтров нижних частот, а блок ФВЧ-2,1 — десять фильтров высших частот с различными частотами среза. Выбор типа измерительного фильтра определяется условиями конкретных измерений.

Широкое применение в энергосистемах получили измерительные пульта ЕТ-40 производства Венгерской Народной Республики. Устройство ЕТ-40 позволяет выполнить комплекс измерений, включающий измерения: амплитудно-частотных характеристик узлов и трактов аппаратуры и каналов связи; амплитудных характеристик; нелинейности четырехполюсников; асимметрии; уровней сигналов и помех.

В состав ЕТ-40 входят измерительный генератор, генератор RC , измеритель уровня, измерительные фильтры.

Измерительный генератор обеспечивает получение выходного сигнала в диапазоне частот от 0,3 до 620 кГц с плавной перестройкой частоты. Предусмотрено три рабочих диапазона: 4—150, 4—320 и 4—620 кГц с точной подстройкой частоты в пределах ± 5 кГц. Функциональная схема измерительного генератора соответствует схеме рис. 2-3, регулятор точной подстройки частоты помещен в схему $G1$, который настроен на частоту 1200 кГц. Генераторы основной частоты $G1$ и переменной частоты $G2$ выполнены по схеме, приведенной на рис. 2-1. В устройстве предусмотрено автоматическое изменение частоты выходного сигнала с помощью электродвигателя, который механически связывается с органом настройки генератора $G2$. Низкочастотный генератор RC рассчитан на диапазон частот 0,05—20 кГц и имеет три поддиапазона: 50—300; 300—3400 Гц и 3—

20 кГц с плавной перестройкой частоты. Принципиальная схема генератора *РС* соответствует схеме на рис. 2-2. Измеритель уровня может работать в режиме широкополосного измерителя и в режиме селективного измерителя уровня. Широкополосное измерение уровня производится в полосе частот от 50 Гц до 620 кГц. При селективном измерении уровня используется полоса частот шириной 50—60 Гц. Избирательность прибора при селективном измерении составляет не менее 60 дБ при расстройке на ± 500 Гц от средней частоты измерения. Измеритель уровня выполнен по функциональной схеме, приведенной на рис. 2-7.

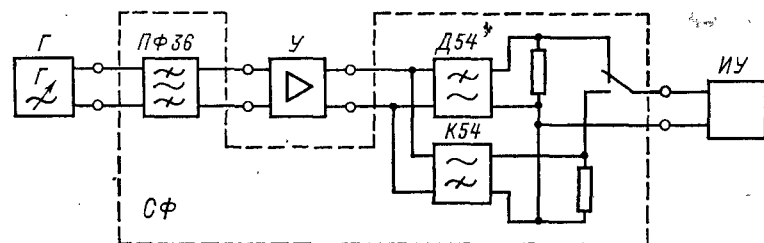


Рис. 2-29. Функциональная схема измерения нелинейности усилителя.

В устройстве ЕТ-40 предусмотрено синхронное использование измерительного генератора и селективного измерителя уровня при выполнении специальных измерений АЧХ. При этом выход *ВС* усилителя *У1* (рис. 2-3) соединяют с входом несущей частоты преобразователя *М1* (см. рис. 2-7) измерителя уровня, отключив собственный генератор *Г1*.

Устройство ЕТ-40 содержит два магазина затуханий с входными сопротивлениями 135 и 600 Ом. Затухание магазинов регулируется в пределах от 0 до 130 дБ ступенями по 0,087 дБ.

Для измерения нелинейности четырехполюсника в ЕТ-40 предусмотрена система фильтров *СФ*, использование которой показано на рис. 2-29.

Исследуемый усилитель *У* включают между выходом полосового фильтра *ПФ36* и входом фильтров типа *ДК54*. От генератора на вход *ПФ36* подается измерительный сигнал частоты 36 кГц. Фильтр *ПФ36* задерживает все гармонические составляющие сигнала, и поэтому появление этих составляющих на выходе *У* об-

условлено только нелинейностью усилителя. Фильтр *Д54* выделяет только сигнал частоты 36 кГц, уровень которого может быть измерен измерителем уровня *ИУ* на выходе этого фильтра. Фильтр *К54* выделяет только сигналы, являющиеся продуктами нелинейности *У*, и каждая из этих составляющих измеряется селективным *ИУ* на выходе фильтра *К54*. По данным измерения уровня основной сигнала 36 кГц и продуктов нелинейности выполняется оценка степени линейности усилителя.

Для измерения модуля полного сопротивления двухполюсников, затухания несогласованности и затухания асимметрии в ЕТ-40 предусмотрена система дифференциальных трансформаторов и переключателей, с помощью которых образуются измерительные схемы. В этих схемах в качестве измерительного устройства используется измеритель уровня ЕТ-40. Для измерения полных сопротивлений на приборе измерителя уровня предусмотрена соответствующая шкала в единицах измерения сопротивления.

Основные технические данные приборов пультов ЕТ-40, ИП-2,1 и ИП-ТЧ приведены в табл. 2-4—2-6.

Таблица 2-4

Основные технические данные измерительного пульты ЕТ-40

Параметр	Значение параметра прибора			
	высоко- частотного генератора	низкочастот- ного генера- тора	измерителя уровня широ- кополосного	измерителя уровня селек- тивного
Диапазон рабочих частот, кГц	0,3—620	0,05—20	0,3—620	4—620
Уровень выходного сигнала, дБ	—52 ÷ +17,3	—52 ÷ +17,3	—	—
Выходное сопротивление, Ом	75, 135, 150, 600	0, 600	—	—
Чувствительность, дБ	—	—	—44 ÷ +26	—88 ÷ +26
Входное сопротивление, Ом	—	—	75, 135, 150, 600, бо- лее 20 000	75, 135, 150, 600, бо- лее 20 000
Минимальный измеряемый уровень, дБ	—	—	—70	—115
Полоса частот селекции, Гц	—	—	—	60
Нелинейные искажения не более, %	1	1	—	—

Таблица 2-5

Основные технические данные генераторов приборов ИР-2,1 и ИР-ТЧ

Параметр	Значение параметра генератора	
	ИР-2,1	ИР-ТЧ
Диапазон рабочих частот, кГц	10—2099,99	0,03—15
Уровень выходного сигнала, дБ	—60÷0	—40÷+20
Выходное сопротивление, Ом	75, 150	30, 600
Способ регулировки уровня выходного сигнала	Ступенями в 10; 1; 0,1 дБ	Плавная
Нелинейные искажения не более, %	—	1

Таблица 2-6

Основные технические данные измерителей уровня приборов ИР-2,1 и ИР-ТЧ

Параметр	Значение параметра измерителя	
	ИУУ-2,1	ИУ-НЧ
Диапазон рабочих частот, кГц	10—2100	0,03—15
Полоса частот селекции, Гц	50, 200, 3100	10, 70
Диапазон измеряемых уровней в режимах измерения, дБ:		
широкополосном	—60÷+30	—70÷+20
селективном в полосе 50 Гц	—100÷+30	—
то же в полосе 200, 3100 Гц	—90÷+30	—
то же в полосе 10 Гц	—	—110÷+20
то же в полосе 70 Гц	—	—100÷+20
Входное сопротивление, Ом	75, 135, 150, 600, более 20 000	600, более 20 000
Избирательность, дБ, не менее в полосе — при расстройке, кГц:		
0,05/±0,3	60	—
0,05/±4,0	70	—
0,20/±2,5	65	—
0,20/±4,0	70	—
3,10/±2,5	60	—
3,10/±4,0	80	—
0,01/±0,03	—	50
0,01/±0,05	—	80
0,07/±0,4	—	55

Глава третья

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

3-1. Параметры электрических сигналов

В практике передачи информации по ВЛ приходится иметь дело с различными электрическими сигналами, которые можно подразделить на сигналы постоянного тока; синусоидальные сигналы переменного тока; сложные электрические сигналы переменного тока.

Примером сигналов постоянного тока являются импульсы однополярного или двухполярного тока, которые используются для передачи информации в местных цепях каналов телемеханики и автоматики. Импульсы характеризуются знаком и значением амплитуды напряжения или тока и длительностью. В ряде случаев необходимо определить форму импульсов в том или другом участке цепи и его частотный спектр. Последнее измерение выполняется в лабораторных условиях с помощью специальных приборов — анализаторов спектра. Амплитуда и полярность импульса измеряются измерителями тока и напряжения, а также с помощью осциллографов. Длительность импульсов измеряется осциллографами и электронными миллисекундомерами.

Синусоидальный сигнал переменного тока характеризуется амплитудой напряжения или тока и частотой. Диапазон частот, используемый для передачи информации по ВЛ, условно можно разделить на тональный — от 0,3 до 3,4 кГц; промежуточный — от 4 до 20 кГц; высокий — от 20 до 1000 кГц.

Для измерения частоты синусоидального сигнала могут быть использованы различные методы, обладающие различной точностью измерений. В табл. 3-1 при-

Таблица 3-1

Точность различных методов измерения частоты

Метод измерений	Диапазон исследуемых частот, кГц	Примерная погрешность измерений
Мостовой	0,3—15	$(0,5-1) \cdot 10^{-2}$
Сравнения	0,01—1000	$1 \pm 0,02$ Гц
Перезаряда конденсатора	0,01—500	$2 \cdot 10^{-2}$
Резонансный	25—300 000	$(0,01-1,0) \cdot 10^{-3}$
Гетеродинный	0,01—300 000	$5 \cdot 10^{-4}$
Дискретного счета	0,001—300 000	$2 \cdot 10^{-5}$

ведены основные данные, характеризующие эти методы. Сложный электрический сигнал представляет совокупность синусоидальных сигналов различных частот и амплитуд. Примерами сложного сигнала являются импульсы переменного тока, амплитудно-модулированные и частотно-модулированные сигналы.

При анализе сложных сигналов выполняются специальные измерения частотных составляющих. Для оценки модулированных колебаний измеряются коэффициенты модуляции, характеризующие свойства этих колебаний.

3-2. Измерение частоты синусоидального колебания

При эксплуатационных и наладочных работах измерение частоты сигнала выполняется для контроля аппаратуры уплотнения и каналов и для контроля измерительных генераторов, используемых в схемах разнообразных измерений.

Сигналы подтональных и тональных частот могут быть измерены при помощи мостовых схем, условия баланса которых зависят от значения частоты. На рис. 3-1 приведены две наиболее распространенные мостовые схемы измерения частоты сигнала. Напряжение сигнала измеряемой частоты подается на зажимы 1 и 2, индикатором настройки моста служит показание измерительного прибора ИП — электронного вольтметра. Настройка моста на минимум показания ИП в схеме на рис. 3-1,а осуществляется изменением емкости конденсаторов C_1 и C_2 и сопротивлений резисторов R_1 и R_2 . Схема выполнена так, что при любом положении элементов настройки сохраняются равенства

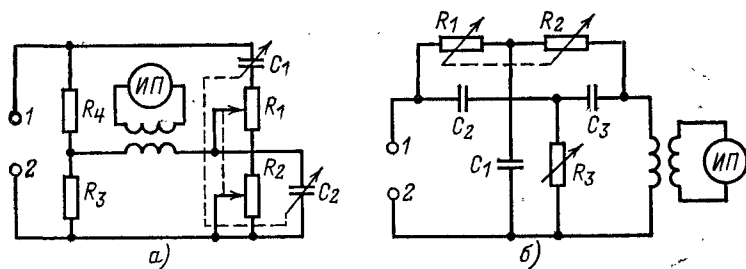


Рис. 3-1. Мостовая (а) и Т-образная мостовая (б) схемы измерения частоты сигнала.

$C_1 = C_2$ и $R_1 = R_2$. Поскольку $R_4 = 2R_3$, то при балансе моста измеряемая частота, Гц, равна:

$$f = \frac{0,159}{R_1 C_1}. \quad (3-1)$$

В схеме на рис. 3-1,б настройка моста на минимум показания ИП осуществляется изменением величин R_1 ; R_2 ; R_3 . Если выполнить условия $R_1 = R_2 = R_3$; $0,5C_1 = C_2 = C_3$, то при балансе моста частота Гц, определится:

$$f = \frac{0,318}{R_1 C_1}. \quad (3-2)$$

Схема на рис. 3-1,б широко применяется при измерении частоты сигнала ниже 100 Гц.

Заметную погрешность при измерении вызывают гармонические составляющие в составе измеряемого сигнала, поэтому для точных измерений необходимо использовать измерительные фильтры либо заменять ИП избирательным измерителем по типу анализатора гармоник. Измерительный фильтр включается перед ИП.

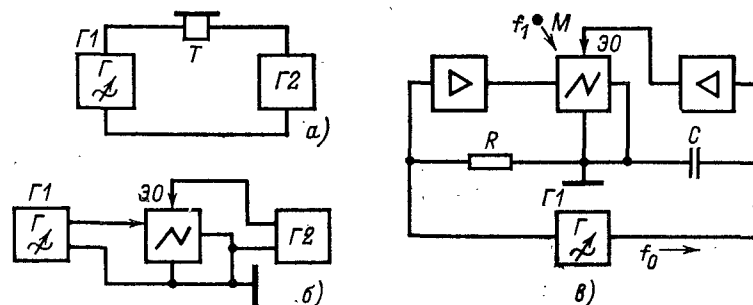


Рис. 3-2. Измерение частоты сигнала методом сравнения с помощью телефона (а), осциллографа (б), круговой развертки луча осциллографа (в).

Метод измерения частоты сигнала сравнением заключается в сравнении частоты исследуемого сигнала с частотой эталонного сигнала или частотой источника колебания, имеющего шкалу, по которой с достаточной точностью можно определить значение генерируемой частоты.

Схемы измерений методом сравнения частот приведены на рис. 3-2, где Г1 — генератор, вырабатывающий частоту f_0 , взятую за эталон, а Г2 — источник измеряемой частоты f_x .

Соотношение частот $f:f_3$	Разность фаз частот f и f_3				
	0°	45°	90°	135°	180°
1:1					
1:2					
1:3					
2:3					

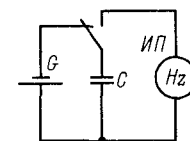
Рис. 3-3. Фигуры Лиссажу.

В простейшем случае (рис. 3-2,а) совпадение частот сигналов фиксируется на слух при помощи телефона T , улавливающего разность (биение) частот сравниваемых сигналов. Чем ближе частоты друг к другу, тем ровнее слышится основной тон в телефоне. Такой способ пригоден для сравнения сигналов в диапазоне тональных частот. С достаточной точностью можно выполнить измерение сигнала практически любой частоты методом сравнения с использованием в качестве индикатора осциллографа, как показано на рис. 3-2,б. Сущность измерения заключается в том, что, плавно меняя частоту генератора $Г1$, добиваются получения на экране осциллографа $ЭО$ неподвижного изображения так называемой фигуры Лиссажу. Характер изображения определяется соотношением фаз исследуемых напряжений и кратностью их частот. На рис. 3-3 приведены фигуры Лиссажу для разных кратностей частоты и соотношения фаз исследуемых напряжений. Для нахождения кратности частот необходимо в случае неподвижной фигуры расщепить ее взаимно перпендикулярными прямыми, не проходящими через точки симметрии фигуры. Число то-

чек пересечения фигуры с каждой прямой определяет целые числа кратного отношения частот. Так, например, если на горизонтальной прямой окажутся две точки пересечения, а на вертикальной — восемь, то кратность исследуемых частот равна четырем, причем напряжение, приложенное к вертикальным пластинам осциллографа, имеет частоту, в 4 раза меньшую чем частота напряжения, приложенного к горизонтальным пластинам осциллографа.

Фигуры Лиссажу при больших числах кратности достаточно сложны, и определить по ним кратность частот напряжений затруднительно. В этих случаях метод

Рис. 3-4. Измерение частоты сигнала методом перезаряда конденсатора.



сравнения осуществляется по схеме на рис. 3-2,в, называемой схемой измерения методом дробления частоты. Напряжение $Г1$ подается на фазовращающую цепочку RC . Сдвинутые на 90° напряжения с цепочки RC через усилители схемы осциллографа поступают на горизонтальные и вертикальные пластины электронно-лучевой трубки, обеспечивая круговую развертку электронного луча. Исследуемое напряжение подается на модулирующий электрод M трубки осциллографа. Это напряжение по частоте должно быть выше частоты напряжения генератора $Г1$. Меняя частоту напряжения генератора $Г1$, добиваются появления на экране неподвижного круга, составленного из точек. Количество точек на окружности показывает, во сколько раз частота исследуемого напряжения выше известной частоты генератора $Г1$. Неподвижность изображения получается только при наличии точной кратности частот. Метод сравнения с помощью осциллографа широко применяется при калибровке частоты измерительного генератора в процессе выполнения разнообразных измерений. В этом случае в качестве известного генератора берется калибратор, представляющий собой кварцевый генератор фиксированных частот. Нужная частота измерительного генератора устанавливается по фигурам Лиссажу.

Для измерения частот сигналов от единиц герц до сотен килогерц применяется метод перезаряда конденсатора. Сущность этого метода (рис. 3-4) заключается в том, что конденсатор известной емкости C с помощью механического (для низких частот) или электронного коммутатора подключается попеременно к источнику постоянного напряжения G и к токовому измерительному прибору $ИП$. Частота переключения равна измеряемой частоте. При подключении к источнику G с напряжением E конденсатор C приобретает электрический заряд $Q=EC$, а разряд конденсатора через измерительный прибор вызывает показание этого прибора, пропорциональное частоте переключения:

$$I_{\text{п}} = Qf_x = ECf_x. \quad (3-3)$$

Если шкалу проградуировать в герцах, получается возможность непосредственного отсчета измеряемой частоты.

Измерение частоты методом дискретного счета основано на счете с помощью электронно-счетных устройств числа периодов колебаний за строго определенный промежуток времени. Этот метод отличается широким диапазоном измеряемых величин, отсутствием погрешностей, связанных с отсчетом, и быстротой выполнения измерений.

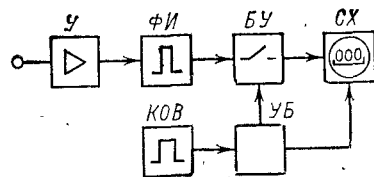


Рис. 3-5. Функциональная схема дискретного частотомера.

Функциональная схема дискретного частотомера приведена на рис. 3-5. Напряжение исследуемой частоты поступает на вход усилителя U и с выхода его на блок формирования импульсов $ФИ$. Каждому периоду частоты соответствует один импульс. Импульсы поступают на счетную схему $СХ$ только в течение определенного калиброванного отрезка времени t_k , на которое открывается блокирующее устройство $БУ$.

Калиброванные отрезки времени вырабатываются блоком $КОВ$, включающим в себя генератор стабильной частоты, делитель частоты и формирующее устройство. Управляется блокирующее устройство от блока управления $УБ$, на который поступают импульсы калиброван-

ной длительности. Поскольку счетчик сосчитывает количество периодов (импульсов) m за время t_k , частота, Гц, исследуемого напряжения определяется формулой

$$f_x = \frac{m}{t_k}. \quad (3-4)$$

Измеряемая частота непосредственно отсчитывается по цифровой шкале счетчика.

При отсутствии калибраторов частоты проверку измерительных генераторов можно осуществлять методом сравнения, используя сигналы службы частоты и времени. Эта служба через радиостанции Москвы, Ташкента и Иркутска обеспечивает круглосуточную передачу сигналов эталонных частот 100, 200 кГц, 5,1 и 15 МГц. Программы передач сигналов точного времени и частоты и другие рекомендации можно получить в государственных контрольных лабораториях по измерительной технике, существующих в любой области страны. Эти же лаборатории по просьбе заинтересованных организаций передают сигналы образцовых частот низшего порядка по проводам телефонной сети автоматических городских и междугородных станций (АТС и МТС).

3-3. Измерение параметров модулированных колебаний

Амплитудно-модулированное колебание сигнала высокой частоты при синусоидальном модулирующем напряжении математически выражается зависимостью

$$u = U_0(1 + m_a \cos 2\pi F) \cos 2\pi f, \quad (3-5)$$

где F и f — частоты модулирующего и несущего высокочастотного колебаний; m_a — коэффициент амплитудной модуляции.

Коэффициент модуляции может быть измерен как с помощью осциллографа, так и с помощью вольтметра, показывающего амплитудное значение напряжения. При измерении вольтметром измеряют напряжение несущей частоты U_n при отсутствии модуляции и напряжение сигнала U_c при наличии модуляции. Коэффициент модуляции определяется:

$$m_a = \frac{U_c - U_n}{U_n}. \quad (3-6)$$

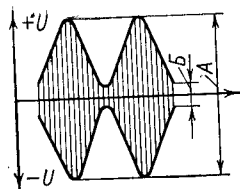


Рис. 3-6. Осциллограмма амплитудно-модулированного сигнала.

При измерении с осциллографом напряжение модулированного колебания подается на вертикальный вход осциллографа. При достижении нужной синхронизации на экране осциллографа появится изображение, показанное на рис. 3-6. Неподвижность изображения соответствует условию равенства или кратности частоты сигнала синхронизации модулирующей частоте.

Наибольшая амплитуда, соответствующая величине A (рис. 3-6), соответствует случаю, когда в (3-5) $\cos 2\pi F = 1$, наименьшая амплитуда B соответствует условию $\cos 2\pi F = -1$. Обозначив через s_v усиление в тракте вертикальной развертки осциллографа, можно написать:

$$\left. \begin{aligned} A &= 2s_v U_n (1 + m_a); \\ B &= 2s_v U_n (1 - m_a). \end{aligned} \right\} \quad (3-7)$$

Отсюда коэффициент модуляции выражается как

$$m_a = \frac{A - B}{A + B}. \quad (3-8)$$

Величины A и B измеряются на экране осциллографа с помощью сетки или циркуля.

Частотная модуляция оценивается девиацией $\Delta\omega_m$ — амплитудой отклонения частоты модулированного колебания от частоты несущего колебания.

Частотная манипуляция часто характеризуется значением частотного сдвига Δf_c — разностью значений частот, соответствующих разным знакам дискретного импульса.

Фазовая модуляция характеризуется индексом модуляции β_f , представляющим собой амплитудное отклонение фазы модулированного колебания от фазы несущего колебания.

Математически напряжение фазомодулированного колебания выражается как

$$u = U_n \sin (\omega_n t + \beta_f \sin \Omega t + \varphi); \quad (3-9)$$

частота колебания как производная полной фазы равна:

$$\omega = \omega_n + \Delta\omega_f \cos \Omega t. \quad (3-10)$$

Таким образом, при фазовой модуляции наблюдается частотное изменение колебания с девиацией $\Delta\omega_f = \beta_f \Omega$.

Точно так же при частотной модуляции будет наблюдаться изменение фазы колебания. Различие частотной и фазовой модуляций заключается только в разной зависимости величин $\Delta\omega$ и β от модулирующего напряжения U_m . При частотной модуляции $\Delta\omega_m = k_1 U_m$, $\beta = k_1 U_m / \Omega$, а при фазовой модуляции $\Delta\omega_f = k_2 \Omega U_m$, $\beta = k_2 U_m$ (k_1 и k_2 — коэффициенты пропорциональности). Из сказанного ясно, что для измерения частотно-модулированных и фазомодулированных колебаний применяются одни и те же методы.

При малых индексах модуляции ($\beta < \pi/2$) для измерения используется метод пульсирующего эллипса. Схема измерения приведена на рис. 3-7, а. Напряжение модулированного колебания подается на вертикальный вход осциллографа ЭО. На горизонтальный вход через фазовращающее устройство ФВ подается напряжение сигнала от измерительного генератора Г. При отсутствии модуляции, меняя частоту и фазу напряжения измерительного генератора, добиваются появления на экране прямой наклонной неподвижной линии (рис. 3-7, б). При включении модулирующего напряжения на экране появится светящийся эллипс (рис. 3-7, в). Измерив значения a и b , определяют индекс фазовой модуляции и девиацию частоты по формулам

$$\beta = \arcsin \frac{a}{b}; \quad \Delta f = F\beta, \quad (3-11)$$

где F — частота модулирующего напряжения.

При больших индексах модуляции указанный выше способ измерения не применяется и измерения выпол-

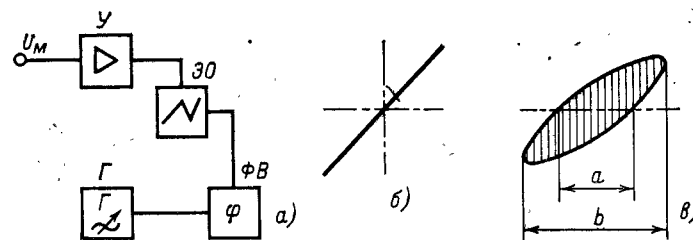


Рис. 3-7. Измерение частотной модуляции. а — схемы измерения; б и в — осциллограммы сигнала.

няются по схеме на рис. 3-7,а путем определения частот $f_1 = f_n - \Delta f$ и $f_2 = f_n + \Delta f$ модулированного колебания. Если частота генератора Γ будет равна любой из указанных частот, на экране осциллографа появится неподвижный яркий эллипс на фоне светящейся площадки. Определив по шкале Γ значения частот f_1 и f_2 , девиацию частоты вычисляют по формуле

$$\Delta f = \frac{f_2 - f_1}{2}; \quad \beta = \frac{\Delta f}{F}. \quad (3-12)$$

Индексы модуляции и девиации частоты частотно- и фазомодулированных колебаний могут быть также определены по результатам измерения спектра этих колебаний. У передатчиков дискретных сигналов, работающих по принципу частотной манипуляции, выполняют измерения частотного сдвига Δf_c . Для измерения также используется схема на рис. 3-7,а. Частотный сдвиг определяется как разность частот, соответствующих передаче одного и другого знака дискретного сигнала ($\Delta f_c = f_2 - f_1$).

3-4. Измерение спектра частот

Любое сложное электрическое колебание может быть охарактеризовано спектром частот, представляющим совокупность амплитуд гармонических составляющих сложного сигнала. На рис. 3-8 представлены для примера спектры частот, соответствующие случаю амплитудной модуляции несущей частоты синусоидальным сигналом, прямоугольными импульсами и одиночными импульсами.

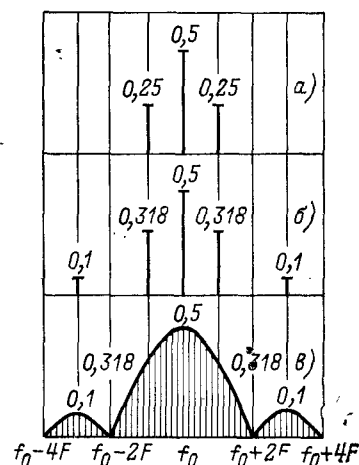


Рис. 3-8. Спектры частот при модуляции несущей частоты синусоидальным сигналом (а), прямоугольными импульсами (б) и одиночными импульсами (в).

ния не только позволяет определить параметры этого колебания, но и решить вопросы возможности безыскаженной передачи сложного сигнала по каналу связи. Спектры периодических колебаний (рис. 3-8,а, б) характеризуются определенными гармоническими составляющими, амплитуды и частоты которых могут быть сравнительно легко измерены. Спектры одиночных импульсов (рис. 3-8,в) и спектры других непериодических колебаний представляют собой непрерывную функцию частоты. Выделить и измерить здесь каждую составляющую не представляется возможным. Анализ таких спектров выполняется путем разделения спектра на ряд частотных полос и нахождения по точкам спектральной плотности.

Измерение гармонических составляющих спектра выполняется с помощью специальных приборов — анализаторов частоты.

Основным элементом анализаторов является фильтр. Способность анализатора отдельно измерять амплитуды частот близлежащих гармонических составляющих дискретного спектра называется разрешающей способностью прибора. Оценивается разрешающая способность минимальным частотным интервалом между двумя составляющими, при котором они еще могут быть определены независимо друг от друга. Определяется разрешающая способность анализатора качеством его фильтра.

К группе анализаторов относятся анализаторы гармоник, анализаторы напряжения, избирательные вольтметры, избирательные измерители уровня. Отличаются они в основном разрешающей способностью и градуировкой регистрирующих приборов.

Для анализа сложных спектров применяются приборы, называемые спектрометрами, или анализаторами спектра, значительно упрощающие процесс анализа. В подобных приборах спектр сигнала определяется автоматически и фиксируется на экране осциллографа или записывается на бумажной ленте.

3-5. Измерение параметров дискретного сигнала

В практике ВЧ связи применяются так называемые двоичные дискретные сигналы, т. е. сигналы, информационный параметр которых принимает только два дискретных значения. Такие сигналы часто называют импульсами или посылками.

В общем случае импульс характеризуется полярностью напряжения, формой, длительностью τ_0 , амплитудой U_0 , частотой следования F_1 , длительностью фронта τ_f , длительностью спада $\tau_{сп}$, неравномерностью плоской части a , выбросом амплитуды фронта b_1 , выбросом амплитуды спада b_2 . Прямоугольным импульсом (рис. 3-9, а) называется импульс, у которого плоская часть составляет не менее $0,7\tau_0$; трапецидальным импульсом (рис. 3-9, б) называется импульс с линейными, регулируемыми и контролируемыми по длительности фронтам и спадом. Экспоненциальным импульсом

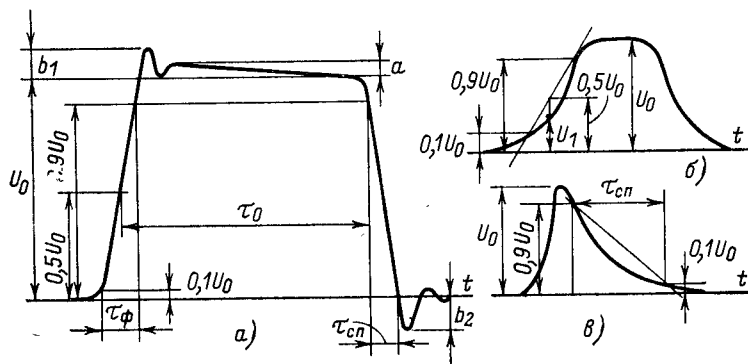


Рис. 3-9. Осциллограммы импульсов.

(рис. 3-9, в) называется импульс без плоской вершины и с экспоненциальным фронтом нарастания по длительности значительно меньшим длительности спада. Качество трапецидального и экспоненциального импульса характеризуется нелинейностью формы K_ϕ , %:

$$K_\phi = \frac{U_2 - U_1}{U_0} \cdot 100, \quad (3-13)$$

где U_1 — напряжение реального сигнала в некоторой точке фронта или спада импульса; U_2 — напряжение идеального фронта или спада для этой же точки измерения.

Идеальная характеристика фронта и спада импульсов — прямая, проходящая через точки реальной кривой импульса, соответствующая значениям напряжений $0,1U_0$ и $0,9U_0$. Измерение амплитуды импульсов выполняется с помощью импульсных осциллографов, которые позволяют измерить также мгновенное значение

напряжения в любой точке импульса. Погрешность измерений составляет от 5 до 10% и зависит от линейности осциллографа и качества фокусирования луча.

Частота повторения импульсов обычно измеряется методом сравнения. Напряжение последовательности импульсов подается на вход вертикальной развертки электронного осциллографа, а на вход горизонтальной развертки осциллографа подается напряжение сигнала измерительного генератора. Изменяя частоту генератора, добиваются появления на экране осциллографа устойчивого изображения одного импульса. Частота следования импульсов в этом случае будет соответствовать частоте сигнала генератора, которую с большой точностью можно измерить цифровым частотомером.

Измерение временных параметров импульсов может быть выполнено осциллографами с калиброванными метками или осциллографами со спиральной разверткой. В первом случае последовательность импульсов подается на вход вертикальной развертки осциллографа. Частота генератора развертки устанавливается такой, чтобы на экране было изображение одиночного импульса, если надо измерить его временные параметры, или два импульса, если необходимо измерить интервал времени между импульсами. После установки частоты генератора развертки включается генератор калиброванных импульсов, длительность которых точно известна. Временной параметр определяется по количеству меток, размещенных между выбранными точками измерения импульса. Относительная погрешность данного способа измерения составляет $\pm (3-5) \cdot 10^{-4}$.

Сравнительно большие интервалы времени между импульсами измеряются осциллографами со спиральной разверткой, которая позволяет удлинить путь электронного луча на экране осциллографа в несколько десятков раз по сравнению с простой горизонтальной разверткой. Процесс измерения заключается в следующем. Если отсутствует сигнал (импульс), трубка осциллографа заперта и развертки нет. При появлении импульса начинает работать спиральная развертка, и ее работа прекращается вместе с прекращением действия импульса. Длительность импульса определяется количеством спиралей фигуры на экране осциллографа, ибо длительность каждого витка спирали известна. Например, при частоте кварцевого генератора развертки 100 кГц длительность витка спирали 10 мс.

Для измерения временных интервалов большой длительности в осциллографе предусматривается узел временной задержки. После нескольких витков развертки включается напряжение временной задержки, которое задерживает развертку на точно заданный интервал времени, после чего развертка продолжается до окончания импульса. Измеренная длительность временного интервала определяется как сумма времени задержки и времени спиральной развертки (по количеству витков спирали). На рис. 3-10,а показана фигура спиральной

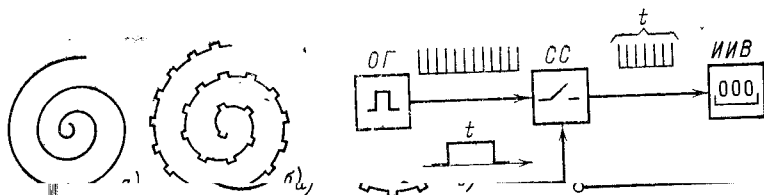


Рис. 3-10 Осциллограммы спиральной развертки.

Рис. 3-11. Способ дискретного измерения длительности импульса.

развертки обычного вида, а на рис. 3-10,б спиральная развертка с калибровочными метками. Отсчет по осциллограмме на рис. 3-10,б позволяет получить большую точность, так как интервалы времени между метками известны с большой точностью.

Для измерения интервалов времени методом дискретного счета используется селектор счета *СС* (рис. 3-11), который срабатывает от заданного напряжения импульса и на все время существования напряжения, равного или больше установленного порога, открывает путь импульсам счета от опорного генератора *ОГ* на счетную схему измерителя интервала времени *ИИВ*.

Измеренная длительность t_n связана с частотой опорного генератора f_0 и количеством импульсов счета N , прошедших в *ИИВ*, зависимостью

$$t_n = \frac{N}{f_0}. \quad (3-14)$$

Глава четвертая

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВУХПОЛЮСНИКОВ И ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКОВ

4-1. Параметры двухполюсников и четырехполюсников

В процессе наладочных и эксплуатационных работ приходится иметь дело с измерением основных параметров двухполюсников и четырехполюсников, составляющих элементы аппаратуры и трактов. К этим измерениям относятся измерения входных сопротивлений двухполюсников и четырехполюсников, затухания пассивных четырехполюсников и усиления активных четырехполюсников. Значение полного сопротивления определяется как

$$Z = \frac{\dot{U}_{вх}}{I_{вх}} = r + jx = ze^{j\varphi}, \quad (4-1)$$

где $\dot{U}_{вх}$ — напряжение, приложенное к зажимам электрической цепи, сопротивление которой необходимо измерить; $I_{вх}$ — ток, проходящий через указанные зажимы; z — модуль полного сопротивления; φ — фазовый угол полного сопротивления.

Поскольку в общем случае полное сопротивление имеет частотную зависимость, необходимо указать, какой частоты рассматривается полное сопротивление.

В практике наладки и эксплуатации ВЧ каналов чаще всего выполняют измерение модуля полного сопротивления, однако в ряде случаев встречается необходимость измерения и полного сопротивления. Измерение полного сопротивления обычно выполняется путем раздельного измерения активной и реактивной составляющих исследуемого сопротивления.

Полное сопротивление линейных двухполюсников определяется только параметрами элементов, входящих в схему этих двухполюсников.

Полное сопротивление нелинейных двухполюсников зависит не только от их параметров, но и от тока и напряжения сигнала измерительного генератора, при котором выполняется измерение.

При анализе четырехполюсников или многополюсников приходится иметь дело с измерением входных сопротивлений. Входным сопротивлением

тырехполюсника (многополюсника) условимся называть полное сопротивление, измеренное со стороны входных зажимов тырехполюсника (многополюсника).

В общем случае входное сопротивление тырехполюсника выражается зависимостью

$$Z_{\text{вх}} = \frac{Z_{c1}(Z_{\text{н}} \operatorname{ch} g + Z_{c2} \operatorname{sh} g)}{Z_{\text{н}} \operatorname{sh} g + Z_{c2} \operatorname{ch} g}, \quad (4-2)$$

где Z_{c1} — характеристическое сопротивление тырехполюсника со стороны входных зажимов;

Z_{c2} — то же со стороны выходных зажимов;

$Z_{\text{н}}$ — сопротивление, на которое нагружены выходные зажимы тырехполюсника (сопротивление нагрузки);

g — постоянная передачи тырехполюсника.

Симметричные тырехполюсники характеризуются условием $Z_{c1} = Z_{c2}$, т. е. равенством характеристических сопротивлений со стороны входа и выхода, и поэтому при одинаковых значениях сопротивлений нагрузок $Z_{\text{н}}$ входные сопротивления таких тырехполюсников, измеренные с обеих сторон, имеют одинаковое значение.

Входные сопротивления несимметричного тырехполюсника в общем случае не равны между собой.

Кроме понятий входного и характеристического сопротивлений, в практике измерений используются понятия входного сопротивления холостого хода $Z_{\text{х.х}}$ и входного сопротивления короткого замыкания $Z_{\text{к.з}}$ тырехполюсника.

Характеристическим сопротивлением тырехполюсника называют значение входного сопротивления, обусловленное только параметрами элементов, входящих в схему тырехполюсников, и не зависящее от сопротивления нагрузки. Из (4-2) видно, что если сопротивление нагрузки равно характеристическому сопротивлению ($Z_{\text{н}} = Z_{c2}$) тырехполюсника со стороны зажимов, к которым подключается эта нагрузка, то входное сопротивление тырехполюсника будет равным характеристическому сопротивлению со стороны входных зажимов.

Входным сопротивлением холостого хода называется входное сопротивление тырехполюсника, определенное в случае, когда выходные зажимы этого тырехполюсника отключены от нагрузки и не соединены между собой перемычкой ($Z_{\text{н}} = \infty$).

Входным сопротивлением короткого замыкания называется входное сопротивление тырехполюсника, соответствующее случаю, когда его выходные зажимы отключены от нагрузки и соединены перемычкой между собой ($Z_{\text{н}} = 0$).

Методика и схемы измерения всех видов входных сопротивлений тырехполюсника (многополюсника) ничем не отличаются от методики и схем измерения полных сопротивлений двухполюсников.

В практике измерения характеристического сопротивления указанным способом заменяют измерениями входных сопротивлений холостого хода и короткого замыкания с последующим вычислением параметров характеристического сопротивления по формулам

$$z_c = \sqrt{z_{\text{х.х}} z_{\text{к.з}}}, \quad (4-3)$$

$$\varphi_c = \frac{\varphi_{\text{х.х}} + \varphi_{\text{к.з}}}{2}, \quad (4-4)$$

где $z_{\text{х.х}}$, $z_{\text{к.з}}$ — модули входных сопротивлений холостого хода и короткого замыкания; $\varphi_{\text{х.х}}$, $\varphi_{\text{к.з}}$ — фазовые углы указанных сопротивлений.

Таким образом, характеристическое сопротивление тырехполюсника численно равно среднегеометрическому значению из сопротивлений холостого хода и короткого замыкания.

Для оценки работы тырехполюсника в конкретной схеме его входное сопротивление должно измеряться при нагрузке выходных зажимов на сопротивление, эквивалентное входному сопротивлению участка схемы, являющегося нагрузкой исследуемого тырехполюсника в реальных условиях его работы.

В аппаратуре уплотнения принимаются меры для обеспечения согласования входных сопротивлений элементов, входящих в схему трактов, но полностью добиться согласования не удастся. При анализе следует учитывать, что значение несогласованности входного сопротивления $Z_{\text{вх}}$ и характеристического сопротивления элементов со стороны входа зависит от несогласованности характеристического сопротивления Z_{c2} со стороны выхода и сопротивления нагрузки $Z_{\text{н}}$, а также от собственной постоянной передачи g тырехполюсника:

$$\frac{Z_{\text{вх}} - Z_{c1}}{Z_{\text{вх}} + Z_{c1}} = \frac{Z_{\text{н}} - Z_{c2}}{Z_{\text{н}} + Z_{c2}} e^{-2g}. \quad (4-5)$$

Входное сопротивление четырехполюсника, имеющего собственное затухание более 15 дБ, практически не зависит от нагрузки и равно характеристическому сопротивлению со стороны зажимов, между которыми измеряется входное сопротивление.

Для полной характеристики исследуемого элемента или узла схемы в отношении его сопротивления выполняют измерения частотной характеристики модуля или составляющих полного сопротивления. Частотной характеристикой модуля или составляющих полного сопротивления называется зависимость этого параметра от частоты, которая может быть выражена в табличной или графической форме.

Для измерения частотных характеристик используются схемы измерения модуля или составляющих полного сопротивления, которые описаны ниже. Диапазон частот, в пределах которого выполняется измерение, а также интервалы между соседними точками измерений зависят от конкретных условий. В практике наладки и эксплуатации ВЧ каналов для передачи информации по ВЛ измеряются частотные характеристики входных сопротивлений фильтров, усилителей, заградителей, трансформаторов, дифференциальных систем, ограничителей амплитуд, преобразователей частоты и т. д. Кроме того, выполняются измерения частотных характеристик входного сопротивления ВЧ трактов и аппаратуры уплотнения. Измерение входного сопротивления выполняется в диапазоне рабочих частот исследуемого элемента и вне полосы этих частот. В первом случае частотный интервал между соседними точками измерения берется равным 200—300 Гц при измерении элементов индивидуальных трактов телефонного канала и элементов групповых трактов промежуточной частоты и 5—10 Гц при измерении элементов индивидуальных трактов каналов вызова, телемеханики и АРУ. Если исследуемый элемент включен параллельно элементам, работающим в спектре частот другого канала, измерение входного сопротивления на этих частотах выполняется с частотными интервалами, соответствующими этому каналу. На всех других частотах измерения выполняются только для определения характера изменения сопротивления.

Измерение элементов ВЧ трактов аппаратуры уплотнения в полосе рабочих частот желательно выполнять

при тех же частотных интервалах, при которых выполняется измерение элементов группового тракта промежуточной частоты.

За полосой рабочих частот измерение этих элементов обычно выполняется с частотным интервалом 0,5—1 кГц до граничных частот $f_0 \pm 12$ кГц, где f_0 — средняя частота рабочей полосы частот.

При измерении частотных характеристик входного сопротивления в обязательном порядке фиксируются значения сопротивлений на граничных частотах рабочей полосы частот, на граничных частотах соседних каналов, а также отмечаются частоты всех экстремальных (максимальных и минимальных) значений измеряемого входного сопротивления.

Частотная характеристика входного сопротивления графически представляется зависимостью $z = \varphi(f)$, каждая измеренная точка на графике должна быть обозначена кружочком.

Точность результатов измерений входного сопротивления определяется точностью значений эталонных сопротивлений и емкостей, используемых в измерительных схемах, точностью установки частоты измерительного генератора (ИГ) и отсутствием в сигнале ИГ высших гармонических составляющих.

Для измерения частотных характеристик входного сопротивления установка нужной частоты измерительного сигнала выполняется с помощью кварцевых калибраторов или точных частотомеров. На выход ИГ при проведении измерений, как правило, подключается электронный осциллограф, по которому контролируют форму сигнала ИГ и не допускают искажения этой формы.

При выполнении точных измерений ИГ подключают через измерительный фильтр, подавляющий высшие составляющие сигнала.

Особое внимание указанным мерам предупреждения ошибок измерения следует уделять при измерениях входных сопротивлений с ярко выраженными частотными зависимостями.

Затухание исследуемой электрической цепи является параметром, характеризующим способность данной цепи передавать сигнал от источника электрической энергии к приемнику этой энергии.

Затухание определяется выражением

$$\alpha = 10 \lg \frac{P_1}{P_2} = 20 \lg \frac{U_1}{U_2} + 10 \lg \frac{Z_1}{Z_2}, \quad (4.6)$$

где P_1 — кажущаяся мощность, выделяющаяся в некоторой электрической цепи на сопротивлении z_1 ; P_2 — кажущаяся мощность, выделяющаяся на сопротивлении z_2 какой-то электрической цепи, связанной с первой цепью; U_1 ; U_2 — модули напряжений, соответствующие мощностям P_1 и P_2 .

Оценка затухания четырехполюсников осуществляется сравнением мощности P_2 , выделяемой на реальной нагрузке, подключенной на выход четырехполюсника, с некоторой исходной мощностью сигнала P_1 .

В зависимости от того, что принято за исходную мощность сигнала, различают несколько видов затуханий: рабочее, собственное или характеристическое, вносимое и затухание передачи.

Значение рабочего затухания четырехполюсника, дБ, включенного между генератором с внутренним сопротивлением Z_r и нагрузкой Z_n , определяется отношением мощности P_0 , отдаваемой данным генератором согласованной нагрузке, к мощности P_n , выделяющейся на нагрузке Z_n , подключенной к этому генератору через рассматриваемый четырехполюсник:

$$a_{\text{раб}} = 10 \lg \frac{P_0}{P_n}. \quad (4-7)$$

Рассмотрим более подробно факторы, определяющие рабочее затухание четырехполюсника. В общем виде рабочее затухание может быть представлено выражением

$$a_{\text{раб}} = a_{\text{соб}} + a_{\text{отр1}} + a_{\text{отр2}} + a_{\text{вз}}, \quad (4-8)$$

где $a_{\text{соб}}$ — характеристическое или собственное затухание четырехполюсника, обусловленное параметрами элементов, входящих в его схему;

$$a_{\text{отр1}} = 20 \lg \left| \frac{Z_r + Z_{c1}}{2 \sqrt{Z_r Z_{c1}}} \right| \quad (4-9)$$

— затухание отражения на входе четырехполюсника, вызванное несогласованием внутреннего сопротивления генератора Z_r с характеристическим сопротивлением Z_{c1} четырехполюсника, дБ;

$$a_{\text{отр2}} = 20 \lg \left| \frac{Z_n + Z_{c2}}{2 \sqrt{Z_n Z_{c2}}} \right| \quad (4-10)$$

— затухание отражения на выходе четырехполюсника, нагруженного на Z_n , дБ.

Величины $a_{\text{отр1}}$ и $a_{\text{отр2}}$ в общем случае могут принимать как положительные, так и отрицательные значения, поэтому рабочее затухание может быть больше и меньше собственного затухания четырехполюсника.

Затухание вследствие взаимодействия отражений определяется выражением

$$a_{\text{вз}} = 20 \lg |1 - k_1 k_2 e^{-2g}| \quad (4-11)$$

или

$$a_{\text{вз}} = 10 \lg \left[1 - 2k_1 k_2 e^{-0,23a_{\text{соб}}} \cos 2b_{\text{соб}} + (k_1 k_2 e^{-0,23a_{\text{соб}}})^2 \right], \quad (4-12)$$

где g — постоянная передачи четырехполюсника; $a_{\text{соб}}$ — характеристическое затухание; $b_{\text{соб}}$ — фазовый коэффициент четырехполюсника; k_1 ; k_2 — коэффициенты отражения на входе и выходе четырехполюсника, определяемые по формулам:

$$k_1 = \left| \frac{Z_r - Z_{c1}}{Z_r + Z_{c1}} \right|; \quad k_2 = \left| \frac{Z_n - Z_{c2}}{Z_n + Z_{c2}} \right|. \quad (4-13)$$

Частотная зависимость $a_{\text{вз}}$ имеет волнообразный характер, и изменение ее происходит около среднего значения затухания, равного $a_{\text{ср}} = 0,5 (k_1 k_2 e^{-0,23a_{\text{соб}}})^2$.

Собственным, или характеристическим, затуханием четырехполюсника называется его затухание, соответствующее случаю нагрузки его с обеих сторон на характеристические сопротивления.

Собственное затухание четырехполюсника, дБ, имеющего характеристические сопротивления Z_{c1} со стороны входа и Z_{c2} со стороны выхода, определяется отношением мощностей P_0 и P_n , из которых мощность P_0 соответствует мощности, отдаваемой генератором с внутренним сопротивлением Z_{c1} на согласованную нагрузку, а мощность P_n — мощность, выделяющаяся на нагрузке Z_{c2} , подключенной к данному генератору через рассматриваемый четырехполюсник:

$$a_{\text{соб}} = 10 \lg \frac{P_0}{P_n}. \quad (4-14)$$

Вносимое затухание четырехполюсника, дБ, определяется отношением мощности P_r , отдаваемой данным генератором нагрузке Z_n , непосредственно подключенной на зажимы генератора, к мощности P_n , выделя-

ющейся на той же нагрузке, подключенной к этому же генератору через рассматриваемый четырехполюсник:

$$a_{\text{вн}} = 10 \lg \frac{P_r}{P_n}. \quad (4-15)$$

Соотношение между рабочим и вносимым затуханием дает формула

$$a_{\text{вн}} = a_{\text{раб}} - a_{\text{отр}} = a_{\text{раб}} - 20 \lg \left| \frac{Z_r + Z_n}{2 \sqrt{Z_r Z_n}} \right|. \quad (4-16)$$

Таким образом, вносимое затухание четырехполюсника отличается от рабочего затухания на значение затухания отражения, обусловленного несогласованием внутреннего сопротивления генератора с сопротивлением нагрузки.

Если сопротивление нагрузки равно внутреннему сопротивлению генератора, вносимое затухание равно рабочему затуханию. Если $Z_r = Z_{c1} = Z_{c2} = Z_n$, вносимое затухание равно характеристическому затуханию четырехполюсника.

При определенных значениях коэффициентов отражения и малом характеристическом затухании четырехполюсника вносимое затухание может иметь отрицательное значение. Отрицательное значение вносимого затухания объясняется тем, что вследствие определенных соотношений между характеристическими сопротивлениями четырехполюсника, внутренним сопротивлением генератора и сопротивлением нагрузки создаются лучшие условия передачи мощности от генератора к нагрузке, чем при непосредственном подключении нагрузки к генератору.

Затухание передачи $a_{\text{пер}}$ четырехполюсника определяется отношением мощности P_r , отдаваемой генератором в четырехполюсник, к мощности P_n , выделяющейся на нагрузке Z_n , подключенной к выходу четырехполюсника.

Для определения затухания передачи измеряются напряжение U_r и ток I_r на входе четырехполюсника и напряжение U_n на выходе четырехполюсника.

Затухание передачи определяется из выражения

$$a_{\text{пер}} = 10 \lg \left| \frac{U_r I_r}{U_n} Z_n \right|. \quad (4-17)$$

Путем несложных преобразований можно показать, что

$$a_{\text{пер}} = a_{\text{раб}} - 20 \lg \left| \frac{Z_r + Z_{\text{вх}}}{2 \sqrt{Z_r Z_{\text{вх}}}} \right|. \quad (4-18)$$

Таким образом, затухание передачи четырехполюсника отличается от рабочего затухания на значение затухания отражения, обусловленного несогласованием внутреннего сопротивления генератора с входным сопротивлением четырехполюсника.

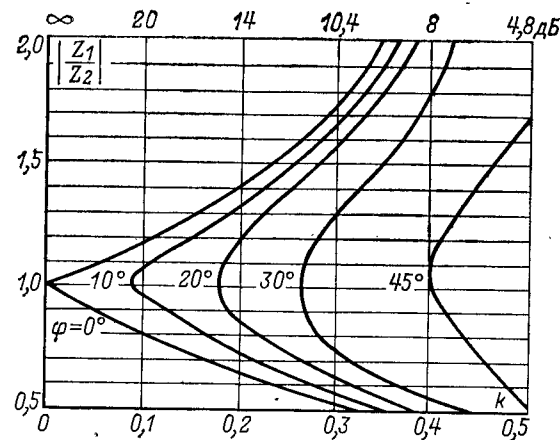


Рис. 4-1. Зависимость затухания несогласованности от модуля и фазового угла сопротивлений.

Затухание несогласованности — мера несоответствия входного сопротивления четырехполюсника сопротивлению нагрузки. Величина этого затухания определяется по формуле

$$a_{\text{нс}} = 20 \lg \left| \frac{Z_{\text{вх}} + Z_n}{Z_{\text{вх}} - Z_n} \right| = 20 \lg \left| \frac{1}{k} \right|, \quad (4-19)$$

где $Z_{\text{вх}}$ и Z_n — значения полных сопротивлений;

k — коэффициент отражения.

Как видно из рис. 4-1, затухание несогласованности зависит не только от отношения модулей сравниваемых сопротивлений, но и от разности фазовых углов этих сопротивлений, причем последний фактор играет значительную роль. Так, например, затухание несогласованности для случая $Z_{\text{вх}} = Z_n$; $\varphi_{\text{вх}} = \varphi_n = 0$ равно бесконечности, а при $Z_{\text{вх}} = Z_n$ и $\varphi_{\text{вх}} = \varphi_n = 45^\circ$ оно составляет всего 8 дБ. Чем больше затухание несогласованности,

тем лучше согласованы рассматриваемые сопротивления.

Вполне очевидно, что для выполнения измерений затухания четырехполюсников необходимо располагать измерительными генераторами с заданным значением внутреннего сопротивления или применять различные схемы эквивалентного измерительного генератора.

Практического внимания заслуживают две схемы эквивалентного генератора ЭГ, показанные на рис. 4-2. В схеме на рис. 4-2,а измерительный генератор Г лю-

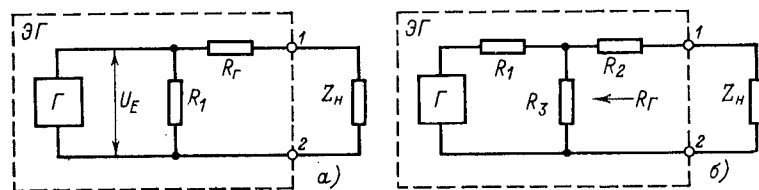


Рис. 4-2. Схемы эквивалентных генераторов.
а — с последовательным резистором; б — с удлинителем.

бого типа нагружается на резистор R_1 с сопротивлением, равным номинальному значению нагрузки Г. Последовательно с нагрузкой Z_H включается резистор R_r , сопротивление которого выбирается равным нужному значению внутреннего сопротивления эквивалентного генератора. Зажимы 1 и 2 схемы считаются выходными зажимами эквивалентного генератора с внутренним сопротивлением R_r и э.д.с., равной напряжению U_e , измеренному на зажимах резистора R_1 . Мощность, отдаваемая данным ЭГ на согласованную нагрузку, определяется выражением

$$P_0 = \frac{U_e^2}{4R_r}. \quad (4-20)$$

В схеме на рис. 4-2,б Г нагружается на удлинитель (составленный из резисторов R_1, R_2, R_3), имеющий характеристическое сопротивление R_r и собственное затухание $a_{\text{соб}} \geq 1,5$ дБ. Со стороны зажимов 1 и 2 данную схему можно рассматривать как ЭГ с внутренним сопротивлением R_r и э.д.с., равной напряжению U_e , измеренному на зажимах 1 и 2 при отключенной нагрузке. Мощность, отдаваемая данным ЭГ на согласованную на-

грузку, равна:

$$P_0 = \frac{U_{\text{х.х}}^2}{4R_r}. \quad (4-21)$$

Параметры элементов удлинителя определяются по формулам

$$R_1 = R_2 = R_r \frac{\sqrt{c} - 1}{\sqrt{c} + 1}; \quad R_3 = 2R_r \frac{\sqrt{c}}{c - 1}; \quad c = \frac{P_{\text{вх}}}{P_{\text{вых}}},$$

где R_r — значение нужного характеристического сопротивления удлинителя (нужное внутреннее сопротивление ЭГ); c — коэффициент, равный отношению мощностей сигнала на входе и выходе удлинителя.

При прохождении сигнала через активные четырехполюсники (ламповые и транзисторные усилители), входящие в схему аппаратуры уплотнения, мощность или напряжение сигнала увеличивается (усиливается). Усиление оценивается либо коэффициентом усиления, либо величиной усиления.

Коэффициент усиления по напряжению K_n или по мощности K_m показывает, во сколько раз напряжение $U_{\text{вых}}$ или мощность $P_{\text{вых}}$ на выходе исследуемой электрической цепи больше соответственно напряжения $U_{\text{вх}}$ или мощности $P_{\text{вх}}$ сигнала на входе этой цепи:

$$K_n = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}; \quad (4-22)$$

$$K_m = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}}. \quad (4-23)$$

Часто коэффициент усиления усилителя выражают в логарифмической форме:

$$s = 20 \lg \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = 20 \lg K_n; \quad (4-24)$$

$$s = 10 \lg \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}} = 10 \lg K_m. \quad (4-25)$$

В ряде случаев величиной усиления характеризуются не только отдельные усилители или отдельные каскады многокаскадных усилителей, но и целые участки электрических схем аппаратуры уплотнения, содержащие наряду с активными четырехполюсниками пассивные четырехполюсники и двухполюсники. Так, например, в практике наладки и эксплуатации ВЧ аппаратуры уплотнения приняты понятия усиления тракта передачи аппаратуры уплотнения, усиления трак-

та приема аппаратуры уплотнения, усиления транзитного тракта промежуточной аппаратуры уплотнения и т. д.

Во всех этих случаях речь идет об эквивалентной величине усиления тракта, определяемой выражением

$$s = \sum_1^n s_n - \sum_1^m a_m. \quad (4-26)$$

4-2. Измерение входных сопротивлений

Измерение модуля исследуемого полного сопротивления Z выполняется либо методом косвенного измерения согласно схемам на рис. 4-3, а—в, либо методом сравнения (рис. 4-3, г, д).

В схеме на рис. 4-3, а с помощью миллиамперметра mA и вольтметра измеряются ток I_1 , проходящий через сопротивление Z_x , и напряжение U_1 на этом сопротивлении. Модуль полного сопротивления определяется по данным этих измерений согласно формуле (4-1).

В схеме на рис. 4-3, б измерение тока заменяется измерением падения напряжения U_2 на известном сопротивлении резистора R_3 . Сопротивление резистора R_3 выбирается равным 2—5 Ом, поэтому измерения по такой схеме часто называют методом малого сопротивления. Модуль полного сопротивления исследуемого элемента в этом случае определяется выражением

$$z = \frac{U_1 - U_2}{U_2} R_3. \quad (4-27)$$

Если при измерении поддерживать напряжение U_2 , выраженное в милливольтках, численно равным значению R_3 , выраженному в омах, а значение U_1 измерять также в милливольтках, то модуль сопротивления, Ом, определяется равенством

$$z = (U_1 - R_3). \quad (4-28)$$

В схеме на рис. 4-3, в модуль искомого сопротивления определяется выражением

$$z = \frac{U_2 R_2}{U_1 - U_2}. \quad (4-29)$$

При использовании данной схемы измерения обычно сопротивление резистора R_2 выбирают значительно

большим по сравнению с предполагаемым значением z , а напряжение U_1 , выраженное в милливольтках, устанавливают численно равным значению сопротивления резистора R_2 , выраженному в омах. В этом случае модуль искомого сопротивления, Ом, определяется выражением

$$z = U_2 \quad (4-30)$$

и погрешность измерения, %, определяется величиной

$$\delta = \frac{z}{R_2} \cdot 100.$$

В (4-30) U_2 выражается в милливольтках.

Достаточно точные измерения модуля полного сопротивления получаются при использовании схемы измерения методом сравнения (рис. 4-3, г и д). Методика измерения в схеме на рис. 4-3, г заключается в следующем. В положении 1 переключателя S электронным вольтметром измеряется напряжение сигнала Γ на исследуемом сопротивлении Z_x . Переведя переключатель в положение 2, путем изменения сопротивления переменного резистора R_2 добиваются того же самого показания стрелки прибора вольтметра. При равенстве показаний вольтметра в положениях 1 и 2 переключателя S модуль искомого сопротивления равен сопротивлению резистора R_2 . В данной схеме измерения рекомендуется значение R_3 выбирать в 5—10 раз больше предполагаемого значения модуля исследуемого сопротивления, а значение мощности сигнала измерительного генератора выбирать таким, чтобы измерение напряжения U_1 выполнялось по шкале наибольшей чувствительности вольтметра. Обязательным условием правильного измерения является постоянство напряжения сигнала на выходе Γ в обоих положениях переключателя S схемы измерения.

На рис. 4-3, д приведена схема измерения методом сравнения, отличающаяся тем, что сопротивление переменного резистора R_2 и измеряемое сопротивление Z_x включены последовательно в цепь Γ , вследствие чего при любом положении движка R_2 через оба сопротивления проходит один и тот же ток. Переводя переключатель S из одного положения в другое и меняя сопротивление резистора R_2 , добиваемся равенства напряжений в обоих положениях переключателя. При этом условии $z_x = R_2$. Данная схема значительно снижает погрешность

измерения входных сопротивлений со значительной реактивной составляющей полного сопротивления.

Рассмотрим влияние погрешности вольтметров на точность измерений по схемам на рис. 4-3. В соответствии с ГОСТ 1845-59 электроизмерительные приборы по своей точности делятся на 8 классов: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5 и 4. Класс прибора $\delta_{к.п.}$, %, определяет наибольшую допустимую приведенную погрешность измерения по данной шкале прибора $\delta_{пр}$:

$$\delta_{к.п.} \geq \delta_{пр} = \frac{\Delta A}{A_m} \cdot 100,$$

где ΔA — абсолютная погрешность прибора при измерении по шкале с наибольшим значением A_m .

В тех случаях, когда измеряемый параметр является функцией отношения двух значений напряжений, например $Z = \varphi(U_1/U_2)$, погрешность измерения не превышает точности вольтметра ($\delta_{к.п.}$), если величины U_1 и U_2 измерены на одной шкале прибора, и не превышает величины

$$\delta \approx 2\delta_{к.п.}$$

если значения U_1 и U_2 определены по разным шкалам одного и того же прибора.

В схемах на рис. 4-3, б и в измерение напряжений выполняется на разных шкалах вольтметра, поэтому для получения точности измерения 1% необходимо пользоваться приборами класса 0,5, а при использовании вольтметров класса 2,5 погрешность измерения может быть до 5%. Схемы измерения на рис. 4-3, г и д полностью исключают влияние на точность измерения погрешности вольтметра, и в этих схемах могут быть использованы вольтметры любого класса точности.

Точность измерений по указанным выше схемам зависит не только от класса точности измерительных приборов и качества (точности) сопротивлений резисторов R_3 в схеме рис. 4-3, б и R_2 в схемах рис. 4-3, в—д. При измерении модуля полного сопротивления, имеющего частотную зависимость, значительные погрешности могут быть вызваны наличием высших составляющих в сигнале измерительного генератора, поэтому желательно включение на выход Γ измерительного фильтра. При отсутствии измерительного фильтра выход Γ должен нагружаться на нагрузку (R_i в схемах рис. 4-3), сопротивление которой близко ко входному сопротивлению Γ ,

а измерения должны выполняться при малой выходной мощности генератора. Для контроля формы сигнала генератора рекомендуется использовать осциллограф, который подключают параллельно измеряемому сопротивлению Z_x в схемах рис. 4-3, в—д и параллельно резистору R_3 в схеме рис. 4-3, б. При измерении входных сопротивлений, значение которых с частотой уменьшается, рекомендуется для снижения погрешности из-за

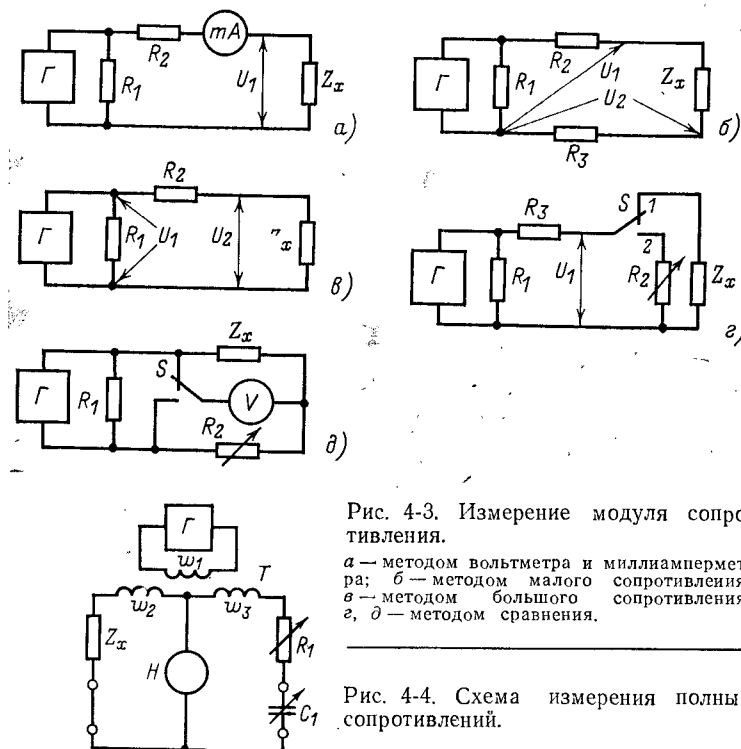


Рис. 4-3. Измерение модуля сопротивления.

а — методом вольтметра и миллиамперметра; б — методом малого сопротивления; в — методом большого сопротивления; г, д — методом сравнения.

Рис. 4-4. Схема измерения полных сопротивлений.

гармонических составляющих сигнала Γ последовательно со схемой измерения включать резистор R_2 в схемах рис. 4-3, а, б и в, сопротивление которого в 3—5 раз больше модуля измеряемого сопротивления.

Влияние гармонических составляющих на точность измерения может быть исключено при использовании в схемах рис. 4-3 в качестве измерителя напряжения селективного вольтметра или селективного указателя уровня,

Значительное влияние на точность измерений в схемах на рис. 4-3 оказывает значение входного сопротивления измерителя напряжения. В большинстве случаев требуется, чтобы входное сопротивление измерителя было больше предполагаемого значения модуля исследуемого сопротивления не менее чем в 20—30 раз.

Погрешность измерений может возникнуть также из-за наличия помех (наводок). После сборки схемы измерения при выключенном сигнале Γ измерителем напряжения проверяют наличие напряжения помех в точках измерения. Измерения должны выполняться при напряжении сигнала Γ в точках измерения, превосходящего напряжение помех не менее чем в 10 раз.

Измерение составляющих комплексных сопротивлений, как правило, выполняется с применением мостов переменного тока — измерителей полных сопротивлений или полных проводимостей. При отсутствии таких мостов для измерения полных сопротивлений резонансных контуров и некоторых других двухполюсников широко применяется схема, приведенная на рис. 4-4, являющаяся видоизменением схемы дифференциального моста переменного тока.

Трансформатор T схемы рис. 4-4 — воздушный, трехобмоточный с равным числом витков в каждой обмотке $\omega_1 = \omega_2 = \omega_3$. Намотка трансформатора должна выполняться так, чтобы разность его коэффициентов трансформации $n_{21} = \omega_2/\omega_1$ и $n_{31} = \omega_3/\omega_1$ была не более 1—2% во всем диапазоне частот измерений. В качестве индикатора I следует применять избирательный измеритель уровня (так же, как и при измерении с помощью специальных мостов полных сопротивлений или проводимостей).

Магазин емкостей C_1 может включаться как в плечо магазина сопротивлений (при емкостном характере реактивной составляющей Z_x), так и в плечо измеряемого сопротивления (при индуктивном характере реактивной составляющей Z_x). Перед началом измерений магазин сопротивлений R_1 следует установить в минимальное положение, а магазин емкостей C_1 в максимальное. Балансировка моста производится поочередным изменением величин R_1 и C_1 на минимальные показания индикатора I . Если балансировка моста не может быть достигнута, магазин емкостей переключается в другое плечо. Балансировка считается достаточной, если уро-

вень, измеряемый индикатором, ниже выходного уровня измерительного генератора не менее чем на 40 дБ. Измеряемые значения составляющих полного сопротивления определяются после балансировки моста:

$$R_x = R_1; \quad X_x = \frac{1}{\omega C_1}. \quad (4-31)$$

Знак реактивной составляющей определяется по тому, в какое плечо включен магазин емкостей при полном балансе моста.

Мостовые схемы измерения используются в диапазоне рабочих частот от 200 Гц до 300—400 кГц. Тип индикатора, по которому осуществляется балансировка моста, выбирается с учетом требований к чувствительности моста, рабочей частоты измерения и удобства использования. Обычно для этой цели используются избирательные измерители уровня.

При использовании мостов переменного тока и особенно резонансных мостов к источнику переменного тока предъявляются повышенные требования линейности. Наличие гармонических составляющих в сигнале Γ затрудняет процесс балансировки моста и может вызвать значительные погрешности. Сигнал Γ желательно подавать в схему измерения через измерительный фильтр нижних частот.

При отсутствии мостов измерение полного сопротивления может быть выполнено с помощью более простых, но менее точных схем измерений.

Для примера рассмотрим метод измерения полного сопротивления с помощью конденсатора известной емкости C_0 . Измерение выполняется в следующей последовательности. С помощью одной из схем измерений, рассмотренных выше, измеряется модуль z_1 полного сопротивления исследуемого элемента. В соответствии с полученным значением модуля выбирается емкость известного конденсатора по формуле

$$C_0 = \frac{2}{\omega_1 z_1}, \quad (4-32)$$

где ω_1 — частота сигнала, на которой выполняется измерение.

Соединив конденсатор C_0 последовательно с исследуемым элементом, вновь измеряют модуль полного сопротивления z_2 полученной электрической схемы. Реактивная и активная составляющие полного сопро-

тивления исследуемого элемента определяются выражениями

$$X = \omega_1 C_0 \frac{z_1^2 + z_2^2}{2} + \frac{1}{2\omega_1 C_0}; \quad (4-33)$$

$$R = \sqrt{z_1^2 - X^2}. \quad (4-34)$$

4-3. Измерение затухания

На рис. 4-5 приведена наиболее распространенная схема измерения рабочего затухания четырехполюсника ЧП с помощью эквивалентного генератора ЭГ по схеме на рис. 4-2,а. Значение рабочего затухания, дБ, определяется через напряжения U_E и U_H по формуле

$$a_{\text{раб}} = 20 \lg \frac{U_E}{U_H} - 6 - 10 \lg \frac{R_r}{R_H}. \quad (4-35)$$

Точки измерения напряжений U_E и U_H показаны на рис. 4-5. Следует подробнее остановиться на выборе значений внутреннего сопротивления ЭГ и сопротивления

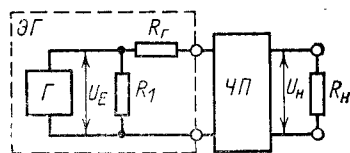


Рис. 4-5. Схема измерения рабочего затухания четырехполюсника.

нагрузки при измерении рабочего затухания четырехполюсника. На рис. 4-6 показан участок электрической цепи, содержащий три четырехполюсника ЧП1, ЧП2 и ЧП3. Из схемы видно, что в рабочих условиях четырехполюсник ЧП2 воспринимает мощность сигнала с выхода ЧП1 и передает ее на вход ЧП3. Участок электрической цепи, расположенный влево от зажимов 3 и 4, для ЧП2 является как бы генератором с внутренним сопротивлением, равным входному сопротивлению Z_3 , измеренному со стороны зажимов 3 и 4. Участок электрической цепи, расположенный вправо от зажимов 5 и 6, является для ЧП2 нагрузкой, сопротивление которой равно входному сопротивлению, измеренному со стороны зажимов 5 и 6.

Поскольку при измерении рабочего затухания должны учитываться реальные условия работы (включения) четырехполюсника, то при исследовании ЧП2 необходимо выбрать ЭГ с внутренним (активным) сопротивлением R_r , численно равным модулю полного сопротивления

z_3 , измеренному на средней частоте рабочей полосы частот. В качестве нагрузки в схеме измерения должно быть выбрано активное сопротивление R_H , численно равное модулю входного сопротивления z_6 , измеренному на средней частоте рабочей полосы частот. Аналогично при измерении ЧП1 выбирается $R_r = z_1$; $R_H = z_4$, а при измерении ЧП3 $R_r = z_5$ и $R_H = z_8$.

На основании изложенного сформулировано основное правило, которое должно выполняться при измерении

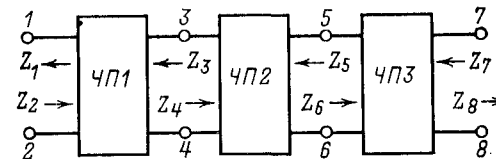
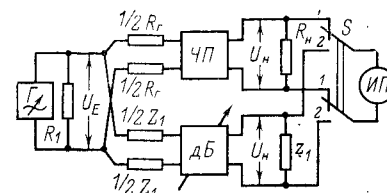


Рис. 4-6. Участок электрической цепи.

рабочего затухания четырехполюсника: внутреннее сопротивление эквивалентного генератора R_r и сопротивление нагрузки R_H схемы измерения должны быть соответственно равны модулю входного сопротивления электрической цепи, включенной на вход ЧП, и модулю входного сопротивления электрической цепи, включенной на выход исследуемого четырехполюсника в реальных условиях его работы.

Рис. 4-7. Схема измерения рабочего затухания четырехполюсника методом сравнения.



Точность измерений по схеме на рис. 4-5 в значительной мере зависит от погрешности вольтметров, с помощью которых измеряются напряжения U_E и U_H . Более точные измерения могут быть получены при измерении рабочего затухания с помощью магазина затуханий, имеющего характеристическое сопротивление z_1 и точность установки затухания не менее 0,5 дБ.

Схема, приведенная на рис. 4-7, рассчитана на измерение уравновешенного четырехполюсника. Методика измерения сводится к следующему. Установив нужную

частоту сигнала измерительного генератора f , высокоомным измерительным прибором $ИП$ измеряют напряжение (уровень) сигнала на нагрузке R_n в положении 1 переключателя S . Заметив значение напряжения, переводят переключатель в положение 2 и, изменяя затухание магазина затухания (МЗ), добиваются того же самого показания $ИП$. Значение рабочего затухания определяется по формуле

$$a_{\text{раб}} = a_{\text{м.з}} + 10 \lg \frac{R_n}{R_r}, \quad (4-36)$$

где $a_{\text{м.з}}$ — затухание МЗ.

При измерении неуравновешенного четырехполосника резистор исключается из одного провода схемы, а резистор $-0,5R_r$ во втором проводе заменяется резистором с сопротивлением R_r . Это же относится и к резисторам $0,5z_1$, если МЗ собран по неуравновешенной схеме.

При измерении и исследовании характера рабочего затухания четырехполосников необходимо учитывать следующие положения:

1. При малых значениях характеристического затухания четырехполосника и значительных коэффициентах отражения рабочее затухание может быть не только меньше характеристического затухания, но и принимать отрицательное значение. Отрицательное значение рабочего затухания объясняется тем, что при определенных соотношениях значений нагрузочных и характеристических сопротивлений четырехполосника создаются условия лучшей передачи мощности, чем в случае работы генератора на согласованную нагрузку. Рабочее затухание будет иметь, например, наибольшую отрицательную величину при условиях, что

$$\left. \begin{aligned} z_r &= z_{c1}; & \varphi_r &= -\varphi_{c1}; \\ z_n &= z_{c2}; & \varphi_n &= -\varphi_{c2}. \end{aligned} \right\} \quad (4-37)$$

2. Если фазовая постоянная $b_{\text{соб}}$ четырехполосника зависит от частоты, то частотная характеристика рабочего затухания такого четырехполосника может иметь волнообразный характер, обусловленный волнообразным изменением фазового угла.

3. Если $Z_r = Z_{c1}$ или $Z_n = Z_{c2}$, то один из коэффициентов отражения превращается в нуль. Рабочее затухание четырехполосника не содержит затухания взаимодействия и определяется собственным затуханием четырех-

полосника и затуханием отражения, обусловленным несогласованием сопротивлений на одном конце четырехполосника. Если $Z_r = Z_{c1}$, $Z_n = Z_{c2}$, рабочее затухание четырехполосника равно собственному затуханию.

Собственное затухание $a_{\text{соб}}$ четырехполосника может быть измерено теми же способами, что и рабочее затухание четырехполосника. Однако поскольку Z_c четырехполосника имеет частотную зависимость, то измерение собственного затухания по схемам на рис. 4-5 и 4-7 будет иметь погрешность. Эта погрешность обусловлена тем, что величины R_r и R_n выбираются равными соответственно модулю характеристического сопротивления z_{c1} со стороны входа и модулю характеристического сопротивления z_{c2} со стороны выхода четырехполосника, измеренным на средней частоте рабочей полосы частот четырехполосника.

Собственное затухание четырехполосника может быть также определено по параметрам $Z_{x,x}$ и $Z_{k,3}$ данного четырехполосника:

$$a_{\text{соб}} = -\frac{1}{2} \arctg \frac{2A}{1-A^2} \cos \varphi_1; \quad Ae^{j\varphi} = \sqrt{\frac{Z_{x,x}}{Z_{k,3}}}. \quad (4-38)$$

Этот способ требует тщательных и кропотливых вычислений и дает достаточную точность только в случае, если значение $a_{\text{соб}}$ лежит в пределах 1—10 дБ. При затухании четырехполосника от 8 до 15 дБ $a_{\text{соб}}$ определяется по формуле

$$a_{\text{соб}} = 10 \lg 2 \left| \frac{Z_{x,x} + Z_{k,3}}{Z_{x,x} - Z_{k,3}} \right|. \quad (4-39)$$

Существуют и другие схемы и методы измерения собственного затухания. Вследствие сложности точного измерения собственного затухания во всех практически возможных случаях исследования четырехполосников выполняются измерения либо рабочего, либо вносимого затухания.

Измерение вносимого затухания четырехполосника выполняют по схеме на рис. 4-8. В положении 1 переключателя S измеряют напряжение сигнала U_n на нагрузке R_n , подключенной на выходе четырехполосника. В положении 2 измеряют напряжение сигнала U_2 на нагрузке $R'_n = R_n$, подключаемой непосредственно на вход ЭГ. Значение вносимого затухания, дБ, определя-

ют по формуле

$$a_{\text{вн}} = 20 \lg \frac{U_2}{U_1} \quad (4-40)$$

Оба измерения напряжений выполняются при постоянном значении напряжения U_E . В тех случаях, когда измерительный генератор Γ имеет нужное значение внутреннего сопротивления и э. д. с. его не меняется при подключении разных нагрузок, измерение вносимого затухания выполняется по схеме на рис. 4-8 с использованием Γ вместо схемы ЭГ.

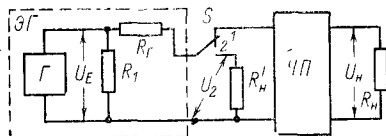


Рис. 4-8. Схема измерения вносимого затухания четырехполюсника.

В практике наладки измерения вносимого затухания выполняют при исследовании ВЧ трактов, шунтирующего влияния разделительных фильтров или параллельно включенных элементов. Если внутреннее сопротивление генератора равно R_n , то измерение вносимого затухания эквивалентно измерению рабочего затухания. Если внутреннее сопротивление генератора неизвестно, то его модуль может быть определен путем измерения напряжения сигнала U_1 на его выходе при нагрузке на известное сопротивление R_1 и напряжение U_2 при нагрузке выхода генератора на другое известное сопротивление R_2 :

$$z_r = \frac{R_1 (U_2 - U_1)}{U_1 - k U_2} \quad (4-41)$$

где $k = R_1 / R_2$.

Поскольку внутреннее сопротивление генератора может иметь частотную зависимость, то в соответствии с требованиями измеряют частотную характеристику модуля внутреннего сопротивления генератора либо значение его на средней частоте рабочей полосы частот, используемой при измерении.

Затухание отражения, вызванное несогласованием входного сопротивления генератора с нагрузкой, определяется по данным измерений входных сопротивлений нагрузки Z_n и генератора Z_r в соответствии с формулой

$$a_{\text{отр}} = 20 \lg \left| \frac{Z_n + Z_r}{2 \sqrt{Z_n Z_r}} \right| \quad (4-42)$$

Чем больше затухание отражения, тем большая часть мощности генератора теряется вследствие несогласования входных сопротивлений генератора и нагрузки.

Измерение затухания передачи четырехполюсника базируется на измерении напряжения сигнала генератора на входе четырехполюсника U_1 , тока I_1 , проходящего от генератора на вход четырехполюсника, и напряжения сигнала U_n на нагрузке, включенной на выходе четырехполюсника. Значение затухания передачи определяется по формуле

$$a_{\text{пер}} = 10 \lg \frac{U_1 I_1}{U_n} R_n \quad (4-43)$$

При отсутствии миллиамперметра для измерения тока I_1 значение затухания передачи можно определить по формуле

$$a_{\text{пер}} = 10 \lg \frac{U_1^2 R_n}{z_{\text{вх}} U_n^2} = 20 \lg \frac{U_1}{U_n} + 10 \lg \frac{R_n}{z_{\text{вх}}} \quad (4-44)$$

выполнив предварительно измерение модуля входного сопротивления $z_{\text{вх}}$ четырехполюсника.

Затухание несогласованности может быть определено с использованием формулы (4-19) по данным измерений составляющих полных сопротивлений или же непосредственно измерено с помощью специальных схем, одна из которых приведена на рис. 4-9. В этой схеме ЧП — четырехполюсник с входным сопротивлением $Z_{\text{вх}}$, а сопротивление Z_2 — рабочая нагрузка этого ЧП. Указанные сопротивления составляют два плеча измерительного моста, два других плеча которого образованы резисторами R_1 и R_2 , сопротивления которых равны. С помощью электронного вольтметра V измеряется напряжение U_1 , поступающее с измерительного генератора Γ в первой диагонали моста, и напряжение U_2 во второй диагонали моста. Затухание несогласованности и коэф-

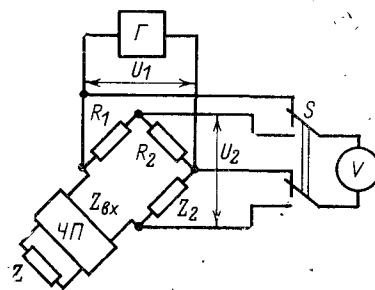


Рис. 4-9. Схема измерения затухания несогласованности четырехполюсника.

коэффициент отражения определяются по формулам

$$\alpha_{\text{ис}} = 20 \lg \frac{U_1}{2U_2}; \quad (4-45)$$

$$K_{\text{н}} = \frac{2U_2}{U_1}. \quad (4-46)$$

Данная схема позволяет также измерить полное входное сопротивление четырехполюсника. Для этого сопротивление нагрузки Z_2 заменяется магазином сопротивлений. Подбором значения сопротивления этого магазина R добиваются получения максимального затухания несогласованности $\alpha'_{\text{ис}}$, дБ, которая соответствует моменту, когда напряжение U_2 становится минимальным. Модуль входного сопротивления и фазовый угол его определяются выражениями

$$z = R; \quad \varphi = \arccos \left| \frac{e^{0,23\alpha'_{\text{ис}}} - 1}{e^{0,23\alpha'_{\text{ис}}} + 1} \right|. \quad (4-47)$$

Для определения знака угла необходимо повторить измерение, включив последовательно с $Z_{\text{вх}}$ конденсатор. Если при этом затухание несогласованности возрастет, значит, первоначальный фазовый угол был положительным, если затухание несогласованности уменьшится, значит, измеренный угол имеет отрицательный знак.

При выполнении наладочных и эксплуатационных работ значительное внимание уделяется измерению частотных характеристик затухания.

Измерение частотной характеристики выполняется с помощью схем измерения затухания, описанных выше. В зависимости от того, какое затухание измеряется, частотные характеристики подразделяются на частотные характеристики рабочего, вносимого или собственного затухания. В практике наладки и эксплуатации аппаратуры уплотнения чаще всего измеряют частотные характеристики рабочего затухания. При измерении частотных характеристик уровень сигнала измерительного генератора в процессе всего измерения поддерживают постоянным, а частоту сигнала меняют ступенями, выполняя измерение затухания при каждом значении частоты сигнала генератора. Диапазон изменения частоты и частотные интервалы между точками измерений определяются конкретными условиями с учетом назначения исследуемого элемента или узла, диапазона рабочих ча-

стот, рабочих частот соседних каналов и т. д. Данные измерения оформляются в виде таблицы и графика.

Для оценки качества частотных характеристик используется величина $\Delta\alpha_{\text{ч.х}}$, которая называется неравномерностью частотной характеристики затухания и определяется из выражения

$$\Delta\alpha_{\text{ч.х}} = \alpha_f - \alpha_{f_0}, \quad (4-48)$$

где α_f — затухание, измеренное на данной частоте; α_{f_0} — затухание, измеренное на нормирующей частоте данного элемента (узла).

В некоторых случаях удобно брать в качестве нормирующей частоту, на которой рабочее затухание имеет минимальное значение.

На рис. 4-10 для примера приведены частотная характеристика затухания высокочастотного фильтра 1 и частотная характеристика неравномерности затуханий этого же фильтра 2. Кривая 1 представляет зависимость $\alpha_f = \psi(f)$, а кривая 2 — зависимость $\Delta\alpha_{\text{ч.х}} = \psi(f)$.

Для фильтров и резонансных контуров характеристику $\Delta\alpha_{\text{ч.х}} = \psi(f)$ вне полосы пропускания часто называют частотной характеристикой избирательности, понимая под избирательностью фильтра (контра) разность затуханий, вносимых фильтром на частоте сигнала, лежащего вне полосы частот пропускания и на средней частоте полосы пропускания фильтра.

Избирательность приемного тракта аппаратуры является одним из важнейших параметров, характеризующих возможность работы аппаратуры в условиях линейных помех и помех со стороны соседних передатчиков. Непосредственно измерить характеристику $\Delta\alpha_{\text{ч.х}} = \psi(f)$ приемного тракта в большинстве случаев невозможно из-за больших значений затухания, поэтому избирательность приемного тракта определяется как сумма

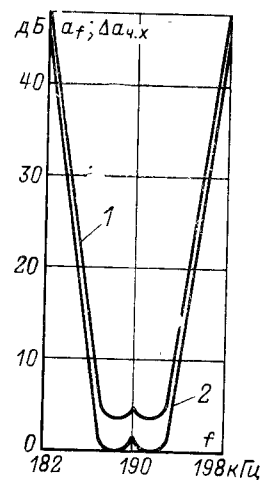


Рис. 4-10. Частотная характеристика затухания ВЧ фильтра.

избирательности всех фильтров и корректирующих устройств, входящих в схему тракта приема аппаратуры.

Измерения упрощаются в тех случаях, когда необходима только частотная характеристика избирательности. В качестве основной схемы измерения используется схема на рис. 4-5. Установив частоту сигнала генератора Γ равной нормирующей частоте исследуемого фильтра, измеряют напряжение сигнала U_H на выходной нагрузке фильтра. Оставляя неизменным уровень сигнала на выходе измерительного генератора Γ , меняют его частоту и для каждой точки измерения записывают значение напряжения U_f на нагрузке. Избирательность определяется выражением

$$\Delta a_{\text{ч.х}} = 20 \lg \frac{U_H}{U_f}. \quad (4-49)$$

По данным измерения строят графическое изображение частотной характеристики избирательности.

При измерении частотных характеристик затухания в обязательном порядке измеряется затухание на крайних частотах рабочего спектра, а также фиксируются все частоты, на которых затухание имеет экстремальные значения. На графике частотных характеристик должны быть отмечены измеренные точки.

Погрешность при измерении частотной характеристики затухания может быть вызвана не только погрешностью приборов и отсчетов, но и небрежностью установки частоты сигнала генератора Γ , а также наличием гармонических составляющих в сигнале измерительного генератора.

4-4. Измерение усиления

Измерение значений усиления или коэффициента усиления как отдельного усилителя или усилительного каскада, так и целого тракта выполняется при подаче на вход исследуемой электрической цепи сигнала, частота которого соответствует средней частоте рабочей полосы.

При выполнении измерения обращается внимание на состояние всех элементов схем усилителей, влияющих на усиление (регуляторов усиления, корректирующих цепочек и элементов), а также на значение питающих напряжений. Все эти данные заносятся в протокол измерения.

На вход усилителя необходимо подавать строго определенное напряжение измерительного сигнала, соответствующее с точностью $\pm 30\%$ напряжению сигнала, поступающего на вход усилителя в рабочих условиях. Нарушение этого положения в сторону увеличения напряжения входного сигнала может вызвать погрешность измерения, обусловленную нелинейностью усилителя.

При выборе схемы эквивалентного генератора, с помощью которого предполагается выполнение измерения

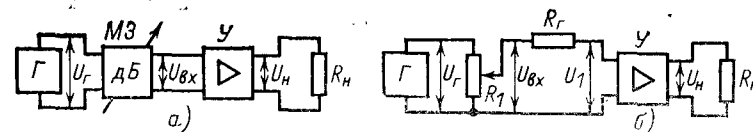


Рис. 4-11. Измерение усиления с помощью магазина затухания (а) и потенциометра (б).

усиления усилителя, следует учитывать, что в ряде случаев значение усиления усилителя зависит от внутреннего сопротивления источника сигнала, подключаемого на вход усилителя. В этих случаях схема эквивалентного генератора должна иметь входное сопротивление со стороны выходных зажимов, равное входному сопротивлению участка электрической цепи, подключенной в реальных условиях к входным зажимам исследуемого усилителя.

Во всех случаях при измерении на выход исследуемого усилителя включается реальная нагрузка либо резистор, сопротивление которого выбирается равным модулю входного сопротивления участка электрической цепи, подключенной к выходу усилителя в реальных условиях.

На рис. 4-11 приведены две наиболее распространенные схемы измерения усиления усилителя. В схеме на рис. 4-11, а сигнал с генератора Γ поступает на вход усилителя $У$ через магазин затуханий $МЗ$, имеющий характеристическое сопротивление z_r , равное сопротивлению эквивалентного генератора. Напряжение сигнала U_r на выходе Γ выбирается таким, чтобы на $МЗ$ можно было установить затухание не менее 10—15 дБ и напряжение $U_{вх}$ на входе усилителя соответствовало бы норме. Рабочее усиление усилителя определяется по формуле

$$s_{\text{раб}} = 20 \lg \frac{U_H}{U_r} + a_{\text{м.з}} - 10 \lg \frac{R_H}{z_r}. \quad (4-50)$$

Напряжения U_r и U_n измеряются электронным вольтметром с большим входным сопротивлением. Величина $a_{м.з}$ определяется по шкалам МЗ.

В схеме на рис. 4-11,б выход Γ нагружается на переменный резистор R_1 , сопротивление которого должно быть равно или меньше внутреннего сопротивления R_1 эквивалентного генератора. Напряжение выходного сигнала Γ U_r обычно устанавливают следующим образом. Подав с измерительного генератора Γ какое-то напряжение сигнала, движком переменного резистора устанавливают на входе усилителя напряжение U_1 , соответствующее норме, и замеряют напряжение U_n на выходе усилителя. После этого меняют выходное напряжение Γ до $U_r = U_n$, а движок переменного резистора ставят в такое положение, при котором напряжение на выходе усилителя будет равным ранее замеренному значению U_n . Значение рабочего усиления усилителя определяется путем измерений напряжений $U_{вх}$ и U_n согласно формуле

$$s_{раб} = 20 \lg \frac{U_n}{U_{вх}} + 6 - 10 \lg \frac{R_n}{R_r}. \quad (4-51)$$

Для измерения коэффициента усиления по напряжению могут быть использованы эти же схемы измерения. Коэффициент усиления при измерении по схеме на рис. 4-11,а определяется выражением

$$K = \frac{U_n}{U_{вх}}, \quad (4-52)$$

а при измерении по схеме на рис. 4-11,б выражением

$$K = \frac{U_n}{U_1}. \quad (4-53)$$

На основании этих измерений значение усиления усилителя определяется согласно выражению (4-24).

При исследовании усилителя без выключения его из схемы аппаратуры чаще всего измеряется усиление по напряжению. Сигнал Γ в этом случае подается на вход исследуемого тракта аппаратуры. Напряжение сигнала устанавливается равным напряжению рабочего сигнала, соответствующего диаграмме уровней в точке подключения измерительного генератора.

Электронным вольтметром измеряются напряжения сигнала на входе усилителя, после чего усиление определяется согласно выражению (4-24).

При исследовании многокаскадных усилителей обычно измеряется значение рабочего усиления всего усилителя, а также усиление по напряжению отдельных каскадов этого усилителя.

Для определения усиления усилительного каскада измеряются напряжения сигнала на входе усилительного каскада (на сетке электронной лампы или на входе транзистора) и на выходе его (входе последующего усилительного каскада или на внешней нагрузке в случае измерения выходного усилительного каскада).

Для избежания погрешности, вызванной нарушением режима усилителя, измерения необходимо выполнять измерителями с большим входным сопротивлением; при выполнении измерений применять короткие измерительные шнуры и переключать оба конца измерительных шнуров, стремясь к тому, чтобы измеритель был всегда подключенным непосредственно к обеим точкам входа или выхода исследуемого усилительного каскада.

При измерении на высоких частотах, особенно при подключении измерителя к высокоомным нагрузкам усилительных каскадов, не рекомендуется параллельно измерителю напряжения подключать электронный осциллограф. Проверка формы сигнала на входах и выходах усилительных каскадов с помощью осциллографа должна выполняться до проведения измерения усиления.

Методика измерения усиления с помощью измерителей уровня (с высокоомным выходным сопротивлением) ничем не отличается от измерений с помощью вольтметра. Если обозначить измеренные уровни сигнала теми же индексами, что и напряжения в схемах на рис. 4-11, то величины усиления определяются выражениями

$$s_{раб} = p_n - p_r + a_{м.з} - 10 \lg \frac{R_n}{Z_r}; \quad (4-54)$$

$$s = p_n - p_{вх} \quad (4-55)$$

при измерении по схеме на рис. 4-11,а;

$$s_{раб} = p_n - p_{вх} + 6 - 10 \lg \frac{R_n}{R_r}; \quad (4-56)$$

$$s = p_n - p_1 \quad (4-57)$$

при измерении по схеме на рис. 4-11,б.

Амплитудной характеристикой усилителя называется зависимость напряжения или уровня измерительного сигнала на выходе усилителя от напряжения или уровня этого сигнала на входе усилителя. В этом случае амплитудная характеристика усилителя называется

тудная характеристика усилителя описывается зависимостью вида $U_{\text{вых}} = \varphi(U_{\text{вх}})$ или $p_{\text{вых}} = \varphi(p_{\text{вх}})$. В ряде случаев амплитудную характеристику усилителя представляют зависимостью усиления усилителя от напряжения сигнала на входе усилителя $S = \varphi(U_{\text{вх}})$ или зависимостью усиления усилителя от напряжения сигнала на его выходе $S = \varphi(U_{\text{вых}})$.

Измерение амплитудных характеристик выполняется на одной заданной частоте изменением напряжения входного сигнала от измерительного генератора ступенями обычно в 5 дБ как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения относительно номинального напряжения рабочего сигнала на входе усилителя. При измерении амплитудных характеристик используются схемы, приведенные на рис. 4-11. При использовании схемы на рис. 4-11,а поступают следующим образом. Включив затухание МЗ порядка 60 дБ, изменением выходного напряжения сигнала Γ устанавливают напряжение сигнала на входе усилителя равным $0,1U_{\text{раб}}$, где $U_{\text{раб}}$ — нормированное напряжение сигнала на входе усилителя в реальных условиях его работы. Измерив напряжение сигнала на выходе усилителя, определяют значение рабочего усиления согласно (4-51). При неизменном напряжении сигнала на входе МЗ уменьшают затухание МЗ ступенями в 5 дБ, измеряя для каждого случая напряжение сигнала на выходе усилителя и вычисляя значение рабочего усиления. Данные измерений и вычислений заносятся в таблицу.

Величина неравномерности амплитудной характеристики определяется по формуле

$$\Delta s_a = s_1 - s_0, \quad (4-58)$$

где s_0 — рабочее усиление при данном рабочем напряжении входного сигнала; s_1 — рабочее усиление при уменьшении затухания МЗ на 20 дБ относительно начальной точки измерения.

Уменьшение затухания МЗ производится до тех пор, пока неравномерность амплитудной характеристики Δs будет равна 1 дБ. Если затухание МЗ достигло 10 дБ, а неравномерность амплитудной характеристики еще меньше 1 дБ, дальнейшие измерения выполняются при неизменном затухании МЗ увеличением напряжения сигнала Γ ступенями в 5 дБ, что соответствует увеличению напряжения в 1,78 раза.

При использовании схемы на рис. 4-11,б процесс измерения сводится к следующему. Перед началом измерений с максимальной тщательностью устанавливаются, как это было указано выше, напряжения на выходе Γ , входе усилителя и его выходе. При этом должны выполняться условия $U_{\Gamma} = U_{\text{н}}$; $U_1 = U_{\text{раб}}$. Измерив напряжение $U_{\text{вх}}$, определяют по (4-53) рабочее усиление усилителя в нормальном режиме работы усилителя. С помощью регулятора выходного напряжения Γ устанавливают напряжение сигнала на выходе Γ равным $0,1U_{\Gamma}$, где U_{Γ} — напряжение, установленное при первом измерении. Измерив для этого случая напряжение сигнала $U'_{\text{н}}$ на выходе усилителя, вычисляют значение неравномерности амплитудной характеристики по формуле

$$\Delta s = 20 \lg \frac{10U'_{\text{н}}}{U_{\text{н}}}. \quad (4-59)$$

Значение рабочего усиления усилителя для данной точки измерения определяется выражением

$$s = s_{\text{раб}} + \Delta s_a.$$

Увеличивая напряжение сигнала на выходе Γ ступенями в 1,78 раза (5 дБ), для каждой точки измерения выполняют измерение величины Δs_a . По данным измерений и вычислений строится графическая зависимость $s_{\text{раб}} = \varphi(U_{\text{н}})$. В общем случае амплитудная характеристика усиления имеет вид, показанный на рис. 4-12.

Амплитудная характеристика усилителя определяет допустимые пределы изменения напряжения входного сигнала, при которых нелинейные искажения выходного сигнала не превышают нормы, установленной для данного усилителя. В первом приближении рабочим участком амплитудной характеристики принято считать участок, в котором неравномерность амплитудной характеристики Δs не превышает величины ± 1 дБ. Применительно к рис. 4-12 рабочим участком является участок входных напряжений ab . Неравномерность амплитудной характеристики в области малых входных напряжений (до точки a) определяется в большинстве случаев наличием собственных шумов усилителя и схе-

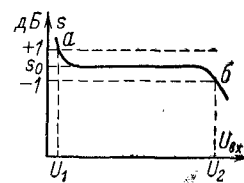


Рис. 4-12. Амплитудная характеристика усилителя.

мы измерения. Неравномерность характеристики в области входных напряжений после точки б вызывается появлением значительных нелинейных искажений. Следует отметить, что измерение амплитудной характеристики усиления дает приближенную оценку нелинейных искажений.

Частотной характеристикой усилителя называется зависимость усиления от частоты сигнала на входе усилителя при постоянстве напряжения этого сигнала. Частотная характеристика описывается зависимостью вида $s=\varphi(f)$.

Измерение частотной характеристики выполняется с использованием схем, приведенных на рис. 4-11. Напряжение сигнала на входе усилителя при измерении характеристики, как правило, выбирается в 2—3 раза меньше напряжения рабочего сигнала, при котором усилитель работает в реальных условиях. В общем случае напряжение измерительного сигнала на входе усилителя должно соответствовать условию работы на прямолинейной части амплитудной характеристики усилителя.

В процессе измерения напряжение сигнала на входе усилителя поддерживается постоянным, а частота сигнала меняется. Пределы изменения частоты сигнала обусловлены назначением усилителя, но в любом случае полоса частот, в пределах которой выполняется измерение, должна охватывать диапазон рабочих частот, на который рассчитан усилитель.

Частотный интервал между двумя соседними точками измерений также выбирают, исходя из типа и назначения усилителя. При измерении апериодических усилителей низких и промежуточных частот интервал обычно берется равным 200 Гц, а при измерении апериодических высокочастотных усилителей 200—500 Гц. В полосе частот пропускания резонансных (избирательных) усилителей каналов телемеханики, вызова и контрольных частот измерения выполняются через 5—10 Гц, а за пределами рабочей полосы частот с интервалом 200—500 Гц.

Частотная характеристика усиления оценивается значением неравномерности, определяемой из выражения

$$\Delta s_f = s_f - s_{f_0}, \quad (4-60)$$

где s_f — усиление на данной частоте сигнала; s_{f_0} — усиление на средней частоте рабочей полосы частот.

В практике наладки и эксплуатации аппаратуры удобнее пользоваться другим критерием оценки частотной характеристики усилителя — неравномерностью затухания, вносимого усилителем в тракт передачи:

$$\Delta a_{ч.х} = -\Delta s_f. \quad (4-61)$$

Частотную характеристику неравномерности затухания, вносимого усилителем вне полосы пропускания $\Delta a_{ч.х} = \varphi(f)$, часто называют частотной характеристикой избирательности усилителя.

При измерении частотных характеристик узкополосных избирательных усилителей целесообразно поступать следующим образом. Установив частоту сигнала f , соответствующую средней частоте полосы пропускания избирательного усилителя, на вход усилителя подают напряжение этого сигнала такой величины, которая требуется для получения максимального уровня передачи. Выполняют измерение выходного напряжения $U_{вых}$ и усиления s_0 для этого случая. Поддерживая постоянство напряжения сигнала на выходе f , меняют частоту и для каждой точки измерения определяют напряжение $U'_{вых}$ на выходе усилителя. Значение избирательности для каждой точки измерения вычисляется по формуле

$$\Delta a_{ч.х} = 20 \lg \frac{U_{вых}}{U'_{вых}}. \quad (4-62)$$

Соответственно усиление, дБ, для каждой точки измерения определяется выражением

$$s = s_0 - \Delta a_{ч.х}. \quad (4-63)$$

Данные измерений используются для выполнения графика частотной характеристики усиления $s=\varphi(f)$ или частотной характеристики избирательности усилителя $\Delta s=\varphi(f)$.

4-5. Измерение фазовых характеристик

Измерение фазовых параметров четырехполюсников (элементов аппаратуры, трактов передачи, каналов связи), как правило, выполняется для определения возможности качественной передачи через эти четырехполюсники дискретных сигналов. Если φ_1 — значение фазы синусоидального сигнала на входе, а φ_2 — на выходе четырехполюсника, то величина $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ называется относительным фазовым сдвигом сигнала при прохождении его

через данную электрическую цепь. Если время распространения сигнала в четырехполюснике t_0 , то абсолютное значение фазового угла, на который изменяется фаза сигнала при прохождении через четырехполюсник, определяется величиной $\varphi = \omega t_0$ (радиан). В четырехполюснике с идеальной, равномерной фазочастотной характеристикой время распространения для сигналов разных частот одинаково. На рис. 4-13,а приведены идеальная 1 и реальная 2 фазочастотные характеристики телефонного канала. Фазовые искажения, вносимые каналом, определяются разностью значений реальной и идеальной характеристик. Чем выше качество канала, тем меньше отклонение реальной фазочастотной характеристики от идеальной.

Между групповым временем запаздывания сигнала $t_{гр}$ и максимальным отклонением реальной фазочастотной характеристики от реальной $\Delta\varphi_{\max}$ существует зависимость

$$t_{гр} = t_0 - \Delta\varphi_{\max} \frac{1}{\Delta F} \cos 2\pi \frac{\omega - \omega_H}{\omega_B - \omega_H}, \quad (4-64)$$

где ω_H и ω_B — нижняя и верхняя граничные частоты рабочей полосы; ΔF — эффективно передаваемая полоса частот канала.

На рис. 4-13,б приведена частотная характеристика группового времени запаздывания, соответствующая фазочастотной характеристике рис. 4-13,а.

В канале связи, имеющем значительные фазовые искажения, при передаче дискретного сигнала возникают помехи, искажающие форму этого сигнала. Объясняется это тем, что частотные составляющие дискретного сигнала приходят на приемный конец канала в разное

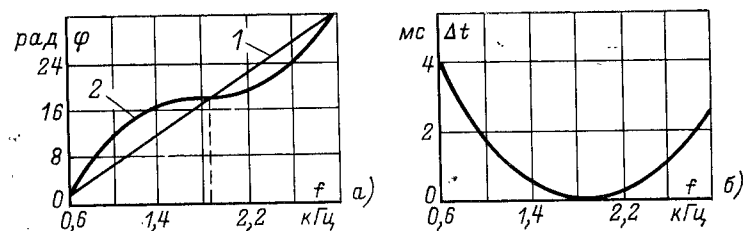


Рис. 4-13. Фазочастотная характеристика телефонного канала (а) и частотная характеристика группового времени запаздывания (б).

время с разными фазовыми соотношениями: на рис. 4-14 кривая 1 соответствует процессу нарастания напряжения на приемном конце канала основной составляющей передаваемого по каналу импульса. Часть частотных составляющих переданного импульса распространяется по каналу с большей скоростью и создает напряжение отражающего эхо-импульса 2. Другая часть частотных составляющих импульса более медленно распространяется по каналу и проявляется в виде напряжения отстающего эхо-импульса 3. Наличие эхо-импульсов искажает форму напряжения приемного импульса 4, что ведет к снижению помехозащищенности и достоверности передачи. Чем более прямолинейна фазочастотная характеристика канала связи, тем меньше амплитуды эхо-импульсов и тем выше качество передачи дискретных сигналов по каналу. Для оценки фазовых искажений выполняются измерения фазовых характеристик либо группового времени запаздывания четырехполюсников.

Осциллографический метод измерения разности фаз двух синусоидальных напряжений с использованием двухлучевого осциллографа позволяет по осциллограмме, пример которой приведен на рис. 4-15,а, определить разность фаз по формуле

$$\Delta\varphi = 360^\circ \frac{A}{B}. \quad (4-65)$$

Кривые на рис. 4-15,а могут быть получены и на экране однолучевого осциллографа, если на его вход подать напряжение двух исследуемых напряжений через электронное коммутирующее устройство. Точность такого измерения составляет $\pm(5-10)^\circ$. Разность фаз может быть измерена также на экране однолучевого осциллографа по фигуре Лиссажу, показанной на рис. 4-15,б, при подаче на вертикальный и горизонтальный входы осциллографа исследуемых напряжений.

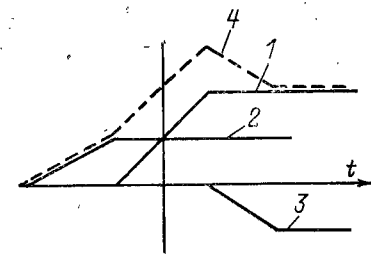


Рис. 4-14. Процесс формирования импульсного сигнала на приемном конце канала.

1 — основной сигнал; 2 — опережающий эхо-импульс; 3 — отстающий эхо-импульс; 4 — суммарный сигнал.

Измерив величины a и b данной фигуры, определяют значение фазового сдвига по формуле

$$\Delta\varphi = 2 \arctg \frac{a}{b}. \quad (4-66)$$

Точность измерения при правильной установке значений усиления блоков горизонтальной и вертикальной развертки осциллографа может быть достигнута равной $\pm(1-2)^\circ$ независимо от значения угла сдвига фаз исследуемых напряжений. Значения усиления устанавливаются следующим образом. Подав напряжение сиг-

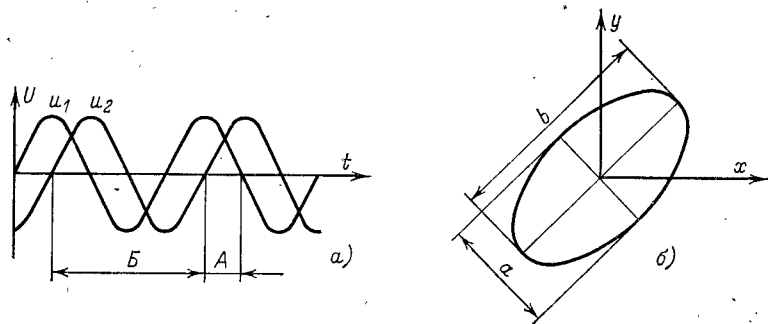


Рис. 4-15. Измерение фазового сдвига двух напряжений осциллографическим способом.

a — двухлучевым осциллографом; b — по фигуре Лиссажу.

нала только на вход блока горизонтальной развертки осциллографа, устанавливают его усиление такого значения, чтобы длина светящейся горизонтальной линии на экране равнялась, например, C , см. Затем, отключив напряжение с горизонтального входа, подают напряже-

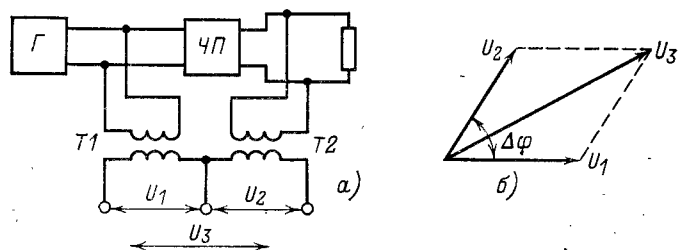


Рис. 4-16. Измерение фазового сдвига по методу суммарных напряжений.

a — схема измерения; b — векторная диаграмма напряжений.

ние второго сигнала на вход блока вертикальной развертки осциллографа и устанавливают его усиление такого значения, при котором светящаяся вертикальная линия на экране будет также равна C , см. После этого подключают к осциллографу оба сигнала и производят измерение разности фаз.

Измерение разности фаз напряжений входного и выходного сигнала четырехполюсника ЧП может быть выполнено по схеме рис. 4-16, a с использованием двух одинаковых измерительных трансформаторов $T1$ и $T2$. Измерив вольтметром напряжения U_1 , U_2 и U_3 , фазовый сдвиг определяют по формуле

$$\Delta\varphi = \arccos \frac{U_3^2 - U_1^2 - U_2^2}{2U_1U_2}. \quad (4-67)$$

Большую точность измерения можно получить при условии, что $U_1 = U_2$. В этом случае

$$\Delta\varphi = \arccos \frac{U_3}{2U_1}. \quad (4-68)$$

На рис. 4-16, b приведена векторная диаграмма напряжений, из которой выведена основная зависимость

$$U_3^2 = U_1^2 + U_2^2 + 2U_1U_2 \cos \Delta\varphi. \quad (4-69)$$

Точность измерения зависит от многих факторов и в первую очередь от точности уравнивания напряжений U_1 , U_2 , погрешности схемы сумматора и измеряемой разности фаз. Ошибка измерения лежит в пределах от $\pm(1-2)^\circ$ до $\pm(10-15)^\circ$.

Измерение разности фаз двух напряжений с использованием элементов дискретной техники может быть проиллюстрировано диаграммами рис. 4-17. На рис. 4-17, a и b приведены диаграммы двух измеряемых синусоидальных сигнала одинаковой частоты, на рис. 4-17, $в$ и $г$ —

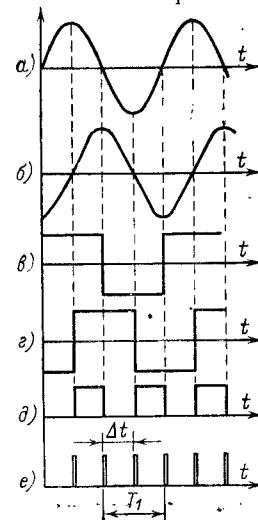


Рис. 4-17. Измерение фазового сдвига двух напряжений дискретным методом.

осциллограммы дискретных сигналов, сформированных соответственно из сигнала на рис. 4-17,а и сигнала на рис. 4-17,б. Сравнение этих сигналов, строго ориентированных относительно нулевого напряжения сигналов на рис. 4-17,а и б, обеспечивает получение дискретных сигналов на рис. 4-17,б, длительность которых прямо

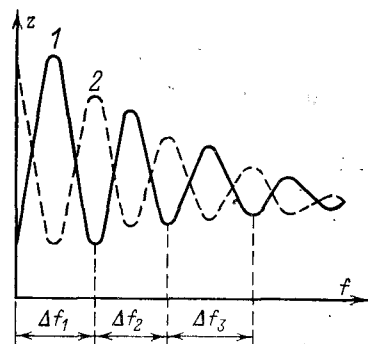


Рис. 4-18. Частотная характеристика входного сопротивления четырехполюсника в режиме короткого замыкания (кривая 1) и холостого хода (кривая 2).

пропорциональна измеряемому сдвигу фаз двух синусоидальных напряжений. Среднее значение выпрямленного напряжения указанных дискретных сигналов также прямо пропорционально значению фазового сдвига, и измерительный прибор может быть проградуирован в значениях фазового сдвига. Точность данного метода измерения $\pm (2-6)^\circ$.

Если образовать импульсы, показанные на рис. 4-17,е, соответствующие нулевым значениям

$$\Delta\varphi = 360^\circ \frac{\Delta t}{T_i} \quad (4-70)$$

напряжения сигналов на рис. 4-17,а и б, то фазовый сдвиг можно определить по данным измерения временных интервалов T_i ; Δt :

Если для измерения интервалов времени использовать метод заполнения и дискретного счета, то точность измерения составит не менее $2,78 \cdot T \cdot 10^{-3}$ с. Фазовый коэффициент и групповое время запаздывания могут быть определены путем измерения входного сопротивления четырехполюсника в режимах короткого замыкания и холостого хода. При этом собственная фазовая постоянная определяется по формуле

$$b = \frac{1}{2} \arctg \frac{2\sqrt{z_{x,x}z_{k,z}} \sin \frac{1}{2}(\varphi_{k,z} - \varphi_{x,x})}{z_{x,x}z_{k,z}} + 2k\pi, \quad (4-71)$$

где $\varphi_{x,x}$ и $\varphi_{k,z}$ — фазовые углы полного сопротивления в режиме холостого хода и короткого замыкания.

На рис. 4-18 приведены частотные характеристики входного сопротивления некоторого четырехполюсника, измеренные в режиме холостого хода и короткого замыкания. Если из этой характеристики определить величину

$$\Delta f_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta f_i, \quad (4-72)$$

то фазовую постоянную и групповое время запаздывания можно определить по формулам

$$b_{cos} = 2\pi \frac{f}{\Delta f_{cp}}; \quad (4-73)$$

$$t_{гр} = \frac{1}{\Delta f_{cp}}. \quad (4-74)$$

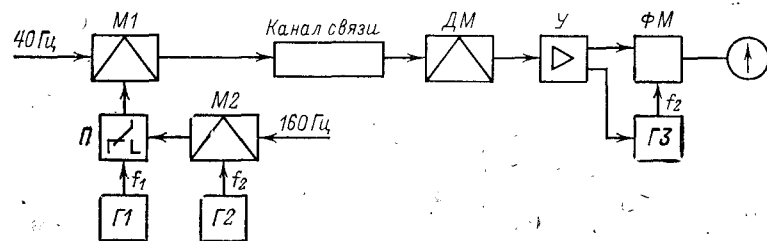


Рис. 4-19. Функциональная схема устройства для измерения группового времени запаздывания канала связи.

Для измерения группового времени запаздывания широко используется метод модулированного сигнала, например метод Найквиста. Измерительный сигнал частоты ω модулируют сигналом низкой частоты Ω . Полученный амплитудно-модулированный сигнал вида

$$u = U_m [\sin \omega t + 0,5m_a \cos (\omega - \Omega)t - 0,5m_a \cos (\omega + \Omega)t]$$

подается на вход исследуемого четырехполюсника. Сигналы на выходе четырехполюсника имеют разные частоты $[\omega; (\omega - \Omega); (\omega + \Omega)]$, разные амплитуды и разные фазовые сдвиги. Поскольку модулирующий сигнал берется низкой частоты, то разностью амплитуд сигналов $(\omega - \Omega)$ и $(\omega + \Omega)$ пренебрегают и выходной сигнал мож-

но представить формулой

$$u = U \{ \sin(\omega t + \varphi_0) + 0,5m_a \cos[(\omega - \Omega)t + \varphi_1] - 0,5m_a \cos[(\omega + \Omega)t + \varphi_2] \}, \quad (4-75)$$

где $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2$ — сдвиг фазы в исследуемом четырехполоснике сигналов с частотами $\omega, (\omega - \Omega)$ и $(\omega + \Omega)$.

В случае отсутствия фазовых искажений в полосе частот от $(\omega - \Omega)$ до $(\omega + \Omega)$ выражение (4-75) можно записать в виде

$$u = U \sin(\omega t + \varphi_0) [1 - m_a \sin(\Omega - \varphi_0)]. \quad (4-76)$$

Таким образом, изменение фазы огибающей низкой частоты соответствует изменению фазы сигналов $(\omega - \Omega)$ и $(\omega + \Omega)$

$$t_{гр} = \varphi_0 / \Omega = \varphi_0 / 360F. \quad (4-77)$$

Выполнив измерения фазового сдвига огибающей низкой частоты φ_0 , по формуле (4-77) определяют групповое время запаздывания сигнала ω (поскольку частота Ω выбирается малого значения).

На рис. 4-19 приведена функциональная схема измерения группового времени запаздывания канала связи с помощью специальных устройств. На передающем конце канала связи располагается переключающее устройство Π , которое периодически подключает ко входу модулятора $M1$ измерительный сигнал от генератора $G1$ или опорный сигнал от генератора $G2$. Частота опорного сигнала f_2 выбирается равной средней частоте полосы пропускания канала связи. Скорость работы переключающего устройства Π — 4 Гц. В модуляторе $M1$ сигнал (измерительный или опорный) модулируется сигналом частоты 40 Гц. Модулированный сигнал поступает на вход исследуемого канала связи. На приемном конце канала этот сигнал детектируется в демодуляторе DM и огибающая низкочастотного сигнала через усилитель $У$ подается на первый вход фазоизмерительного устройства $ФМ$, на второй вход которого подается сигнал от высокостабильного генератора $G3$. Частота сигнала этого генератора равна частоте опорного сигнала f_2 . Если сдвиг фаз для сигналов измерительной частоты f_1 и опорной частоты f_2 различен, то это изменение фазового сдвига отразится на низкочастотной огибающей, фаза которой будет меняться так же дискретно, как фаза сигналов частот f_1 и f_2 на входе $M1$. На выходе $ФМ$ появля-

ются прямоугольные импульсы, длительность которых пропорциональна разности фазовых сдвигов частот f_1 и f_2 . Индикаторное устройство $ФМ$ выполнено в виде стрелочного прибора с нулем посередине шкалы, а шкала проградуирована в значениях относительного фазового сдвига или относительного времени запаздывания. Генератор $G3$ синхронизируется опорной частотой, передаваемой импульсами по каналу. Для маркировки сигнала этой частоты (в целях правильного выделения ее на приемном конце) на передающем конце предусмотрен модулятор $M2$, в котором сигнал опорной частоты модулируется сигналом 160 Гц.

4-6. Измерение нелинейности

При наладке и эксплуатации многоканальных и комбинированных систем связи значительное внимание уделяется измерениям нелинейности элементов тракта аппаратуры. Нелинейность является основной причиной снижения качества систем связи и снижения достоверности передачи информации.

При прохождении электрического сигнала через систему, содержащую нелинейные элементы, этот сигнал претерпевает искажения, в результате которых, кроме составляющих с исходными частотами, появляются новые синусоидальные составляющие, которые называются продуктами нелинейности. В составе продуктов нелинейности имеются гармонические и комбинационные колебания.

Практически приходится считаться с продуктами нелинейности второго и третьего порядка, влияние которых наиболее ощутимо. В табл. 4-1 приведены значения частот и амплитуд продуктов нелинейности, соответствующих случаю воздействия на нелинейный элемент трех напряжений синусоидальных колебаний с амплитудами U_1, U_2 и U_3 и частотами f_1, f_2 и f_3 .

Степень нелинейности элемента или участка схемы оценивается коэффициентами нелинейных искажений или затуханиями нелинейности (их несколько). Наиболее простой оценкой нелинейности является оценка по гармоникам, которые возникают на выходе нелинейного элемента при воздействии на его вход одночастотного сигнала. Коэффициентом нелинейности в этом случае называют отношение действующего значения напряже-

Таблица 4-1

Значения частот и амплитуд продуктов нелинейности

Частота колебания	Амплитуда колебания	Наименование колебания
f_1 f_2 f_3	U_1 U_2 U_3	Основные
$2f_1$ $2f_2$ $2f_3$	$\frac{1}{2} a_2 U_1^2$ $\frac{1}{2} a_2 U_2^2$ $\frac{1}{2} a_2 U_3^2$	Вторые гармонические
$f_1 \pm f_2$ $f_1 \pm f_3$ $f_2 \pm f_3$	$a_2 U_1 U_2$ $a_2 U_1 U_3$ $a_2 U_2 U_3$	Комбинационные второго порядка
$2f_1 \pm f_2$ $2f_1 \pm f_3$ $2f_2 \pm f_3$ $2f_2 \pm f_1$ $2f_3 \pm f_1$ $2f_3 \pm f_2$ $f_1 \pm f_2 \pm f_3$	$\frac{3}{4} a_2 U_1^2 U_2$ $\frac{3}{4} a_2 U_1^2 U_3$ $\frac{3}{4} a_2 U_2^2 U_3$ $\frac{3}{4} a_2 U_2^2 U_1$ $\frac{3}{4} a_2 U_3^2 U_1$ $\frac{3}{4} a_2 U_3^2 U_2$ $\frac{3}{2} a_2 U_1 U_2 U_3$	Комбинационные третьего порядка
$3f_1$ $3f_2$ $3f_3$	$\frac{1}{4} a_2 U_1^3$ $\frac{1}{4} a_2 U_2^3$ $\frac{1}{4} a_2 U_3^3$	Третьи гармонические

ния (тока) всех гармоник к действующему значению напряжения (тока) основной частоты

$$K_{н1} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{U_1} \quad (4-78)$$

или к действующему значению всего напряжения (тока) на выходе элемента

$$K_{н2} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}, \quad (4-79)$$

где $U_1, U_2, \dots, U_n$ — соответственно действующее значение напряжения 1, 2 и n -й гармоник.

Затухание нелинейности a_n , затухание нелинейности по 2-й ($a_{2г}$), 3-й ($a_{3г}$) и n -й ($a_{nг}$) гармоникам определяются выражениями

$$\left. \begin{aligned} a_n &= 20 \lg K_{н1}; & a_{2г} &= 20 \lg \frac{U_1}{U_2} = p_1 - p_2; \\ a_{3г} &= 20 \lg \frac{U_1}{U_3} = p_1 - p_3; & a_{nг} &= 20 \lg \frac{U_1}{U_n}, \end{aligned} \right\} \quad (4-80)$$

где $p_1, p_2, \dots, p_n$ — соответственно уровни 1, 2 и n -й гармоник, измеренные указателем уровня.

Приближенно коэффициент нелинейности может быть определен по искривлению амплитудной характеристики нелинейного элемента, но этот способ дает большую погрешность.

Затухание нелинейности и коэффициент нелинейности могут быть измерены с помощью анализаторов гармоник. При этих измерениях необходимо считаться с возможностью появления погрешности из-за недостаточной разрешающей способности анализатора. Специальные приборы — измерители нелинейных искажений — позволяют непосредственно и с достаточной точностью измерить коэффициент нелинейности.

Существующие методы измерения нелинейности подразделяются на методы прямого и косвенного измерения амплитудных характеристик. На рис. 4-20,а приведена функциональная схема измерения нелинейности прямым методом, при котором на экране осциллографа ЭО появляется изображение амплитудной характеристики исследуемого четырехполюсника ЧП. Значение нелинейности оценивается по отклонению амплитудной

характеристики $\text{ЧП } 1$ от идеальной амплитудной характеристики — прямой линии 2 (рис. 4-20, б). В данном случае настроечное устройство НУ представляет собой фазовращатель. Если в настроечном устройстве предусмотреть, кроме фазовращателя, ячейку алгебраического суммирования напряжений измеряемого и опорного сигнала, то на экране осциллографа (рис. 4-20, в) можно получить кривую отклонения реальной амплитудной характеристики от идеальной, т. е. амплитудную характеристику нелинейности исследуемого четырехполюсника.

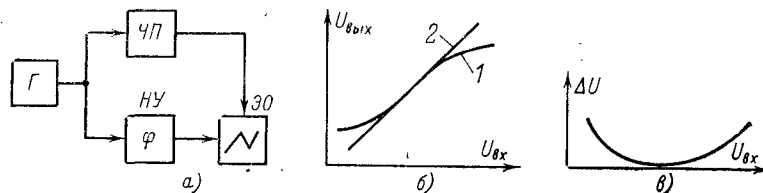


Рис. 4-20. Функциональная схема устройства для измерения осциллографом нелинейности.

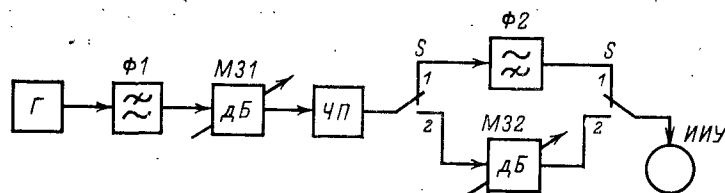


Рис. 4-21. Функциональная схема устройства для измерения нелинейности одночастотным сигналом.

Преимущество прямых методов измерения заключается в возможности непосредственно наблюдать характер амплитудной характеристики, что весьма важно при проведении наладочных работ. Недостатком является малая чувствительность этих методов. На рис. 4-21 приведена схема измерения нелинейности косвенным методом при использовании одночастотного сигнала. Измерительный сигнал от Γ подается на вход исследуемого четырехполюсника ЧП через фильтр нижних частот $\Phi 1$ и магазин затухания $\text{МЗ}1$, с помощью которого измеряют в заданных пределах напряжение измерительного сигнала на входе ЧП . В положении 1 переключателя S избирательный измеритель уровня ИИУ подключают к выходу

ЧП через фильтр верхних частот $\Phi 2$ и производят измерение уровня заданной гармонической составляющей измерительного сигнала. Переведя S в положение 2 и настроив ИИУ на частоту измерительного сигнала, меняют затухание $\text{МЗ}2$ до величины $a_{\text{м.з.}}$, при которой показание ИИУ будет соответствовать показанию в положении 1 переключателя S . Затухание нелинейности по измеренной гармонике определяется по формуле

$$A_{\Gamma} = a_{\text{м.з.}} - a_{\Phi}, \quad (4-81)$$

где a_{Φ} — затухание $\Phi 2$ на частоте гармоники.

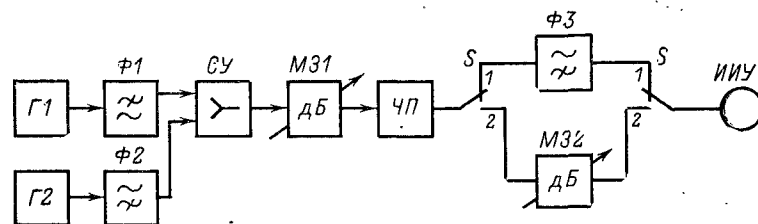


Рис. 4-22. Функциональная схема устройства для измерения нелинейности двухчастотным сигналом.

При использовании одночастотного косвенного метода измерений необходимо обеспечить следующие требования:

а) затухание нелинейности по гармоникам измерительного сигнала на входе ЧП должно быть не менее $A \geq +15$ дБ, где A — ожидаемое затухание нелинейности измеряемого ЧП ;

б) ИИУ не должен иметь внутренних гармонических помех с уровнем, превышающим величину $p_{\text{и}} - 80$, где $p_{\text{и}}$ — измеряемый уровень сигнала, дБ.

Измерение двухчастотным косвенным методом выполняется в соответствии с рис. 4-22. Измерительные сигналы от $\Gamma 1$ и $\Gamma 2$ через соответствующие фильтры $\Phi 1$ и $\Phi 2$, исключаящие высшие гармонические составляющие сигналов, поступают на согласовывающее устройство СУ , а с выхода СУ на $\text{МЗ}1$, с помощью которого измеряют уровни обоих сигналов на входе ЧП . Фильтр $\Phi 3$ рассчитан на пропускание сигналов комбинационных частот и подавление измерительных сигналов. Напряжения (уровни) первого и второго измерительного сигналов на выходе ЧП устанавливаются одинаковой вели-

чины. В положении 1 переключателя S выполняют измерение уровня сигнала заданной комбинационной частоты на выходе $\Phi 3$. Установив переключатель S в положение 2 и настроив ИИУ на частоту одного из измерительных сигналов, добиваются предыдущего показания измерительного прибора ИИУ, изменяя затухание $M32$. Выполнив это, величину затухания нелинейности по комбинационной частоте определяют по формуле (4-81). При отсутствии магазина затухания $M32$ после определения уровня продукта нелинейности p_n ИИУ подключают непосредственно на выход ЧП и измеряют уровень измерительного сигнала p_c . Затухание нелинейности в этом случае вычисляют по формуле

$$A_n = p_c - p_n + a_{\Phi}. \quad (4-82)$$

Достоинством двухчастотного метода измерения является возможность формирования частоты продукта нелинейности в полосе рабочих частот системы связи, что очень важно при измерении нелинейности каналов связи и трактов аппаратуры, содержащих полосовые фильтры. Поскольку комбинационные составляющие продуктов нелинейности имеют более высокий уровень, чем гармонические, двухчастотный метод измерения проще и точнее одночастотного.

При использовании данного метода необходимо обеспечить выполнение следующих требований:

а) частоты сигналов $G1$, $G2$ и комбинационная частота должны располагаться на прямолинейном участке частотной характеристики исследуемого ЧП;

б) частоты сигналов $G1$ и $G2$ не должны быть гармониками одной частоты.

При измерении методом двухчастотного сигнала необходимо учитывать, что при равенстве уровней измерительных сигналов $G1$ и $G2$ уровни комбинационных частот вида $2f_1 \pm f_2$ и $2f_2 \pm f_1$ имеют одинаковые значения только при наличии одного очага нелинейности в исследуемом элементе. В общем случае, когда исследуемый элемент (узел, схема) имеет значительное количество очагов нелинейности, амплитуды напряжения комбинационных частот могут отличаться друг от друга.

На рис. 4-23,а приведена схема, состоящая из n элементов нелинейности, имеющих одинаковые характеристики. Добавочным условием при рассмотрении этой схемы является равенство напряжений измерительных

сигналов U на входе каждого элемента. На рис. 4-23,б показано, во сколько раз (s) результирующее напряжение продуктов нелинейности от n элементов больше напряжения, создаваемого одним элементом.

Если частотно-фазовая характеристика всей цепи прямолинейна, то напряжения комбинационных колебаний вида $2f_1 - f_2$, $2f_2 - f_1$ складываются арифметически, что представлено прямой a (рис. 4-23,б). Если указанная характеристика отклоняется от прямой линии, то закон сложения напряжений данных продуктов нелинейности меняется. Кривые β — δ соответствуют случаям отклонения частотно-фазовой характеристики на 5, 10 и 15° от прямой. Напряжения комбинационных частот вида $2f_1 + f_2$ и $2f_2 + f_1$ складываются геометрически, и зависимость результирующего напряжения этих колебаний представлена кривой δ на рис. 4-23,б.

Из сказанного ясно, что измерения нелинейности сложных узлов и схем целесообразно выполнять по комбинационной частоте вида $2f_1 - f_2$ или $2f_2 - f_1$, так как напряжение других комбинационных частот, как правило, будет меньше.

При проверке многоканальных систем связи, например 12-канальных систем, используют трехчастотный метод измерения, при котором в тракт передачи вводят сигналы трех разных частот и измеряют комбинационный сигнал вида $f_1 \pm f_2 \pm f_3$.

При использовании для измерения нелинейности измерительного сигнала со сплошным спектром частот на вход исследуемого четырехполюсника (рис. 4-24) через полосовой фильтр ПФ и заграждающий фильтр Ф1 подается сигнал шумового генератора ГШ. На выходе ПФ имеет место шумовой сигнал с полосой частот, соответствующей рабочей полосе частот ЧП. Наличие Ф1 обеспечивает появление в указанной полосе частот частотного интервала, в котором отсутствуют сигналы ГШ. Измеритель уровня ИУ подключен к выходу ЧП через полосо-

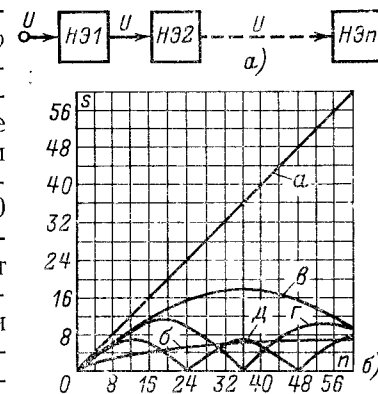


Рис. 4-23. Сложная электрическая цепь (а) и зависимость продуктов нелинейности от числа элементов цепи (б).

вой фильтр $\Phi 2$, полоса частот пропускания которого соответствует полосе частот записи $\Phi 1$. Частотные характеристики затухания фильтров $\Phi 1$ и $\Phi 2$ приведены на рис. 4-24, б и в. Измерение выполняется в следующей последовательности. Выключив магазин затуханий $M3$, производят измерение уровня помех, которые вследствие наличия нелинейных искажений $ЧП$ появляются в полосе частот пропускания $\Phi 2$. Выключив на передающей стороне $\Phi 1$ и включив $M3$, изменяя затухание последнего, добиваются показания $ИУ$, соответствующего значению измеренного ранее уровня помех.

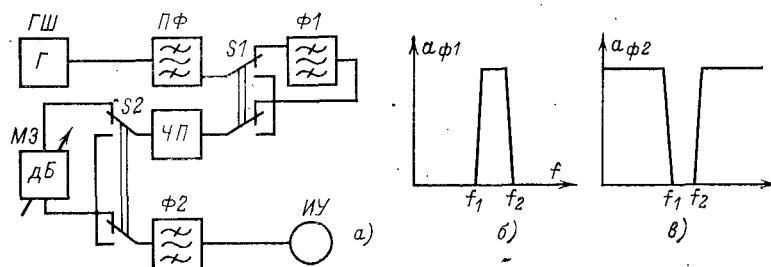


Рис. 4-24. Функциональная схема устройства для измерения нелинейности сигналом сплошного спектра (а) и частотные характеристики затухания фильтров $\Phi 1$ (б) и $\Phi 2$ (в).

Величина затухания $M3$ будет соответствовать превышению уровнем полезного сигнала уровня помех, и в случае отсутствия собственных помех $ЧП$ эта величина характеризует затухание нелинейности $ЧП$. При наличии собственных помех $ЧП$ необходимо выполнить комплекс измерений для определения их доли в общем уровне измеренных помех и уточнения уровня помех, обусловленных только наличием нелинейности в $ЧП$.

Для измерения нелинейных искажений в телефонных каналах применяется метод взаимной модуляции. Сущность метода заключается в том, что на вход телефонного канала подаются напряжения двух сигналов: сигнала частоты $F_1=300-400$ Гц уровнем p_1 , дБ, и сигнала частоты $F_2=1400-1600$ Гц уровнем p_2 , дБ.

На приемном конце канала спектр частот $(F_2-2F_1) - (F_2+2F_1)$ выделяется полосовым фильтром, представляющим значительное затухание для частоты F_1 . Напряжение выделенного спектра частот усиливается и детектируется. На выходе детектора, кроме напряжения

постоянного тока U_0 , будет напряжение U_m колебания частоты F_1 . Измерив эти напряжения соответственно измерителями постоянного и переменного тока, определяют коэффициент взаимной модуляции m_n по формуле

$$m_n = \frac{U_m}{U_0}, \quad (4-83)$$

который характеризует нелинейность.

При выполнении измерения выдерживается условие

$$p_1 = p_2 + (12-14) \text{ дБ.}$$

ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ТРАКТОВ

Глава пятая

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ТРАКТОВ

Высокочастотным (ВЧ) трактом канала связи по ВЛ называется составной четырехполюсник, заключенный между входными и выходными ВЧ зажимами оконечной или промежуточной аппаратуры уплотнения. Он включает в себя многополюсники (многопроводные воздушные или кабельные линии электропередачи и ответвления от них, подстанции с установленным на них оборудованием высокого напряжения), четырехполюсники (фильтры присоединения, ВЧ кабели, разделительные фильтры) и двухполюсники (высокочастотные заградители, разделительные контуры, шунтирующие сопротивления). На рис. 5-1 приведена одна из возможных схем ВЧ тракта.

Высокочастотные тракты каналов по линиям электропередачи отличаются от линейных трактов каналов по проводным линиям связи сложностью процессов, происходящих в них при передаче сигнала. Эта сложность обусловлена тем, что основным назначением линий электропередачи и всего оборудования высокого напряжения является передача электрической энергии промышленной частоты, и мы можем лишь в большей или меньшей степени приспособлять электрические сети для организации ВЧ трактов.

Основные особенности ВЧ трактов, усложняющие происходящие в них процессы, обуславливаются следующими факторами:

1. Линии электропередачи, входящие в схему ВЧ тракта, являются многопроводными несиммет-

ричными системами, в которых расстояние между проводами и высота подвеса проводов над землей соизмеримы. Поэтому в передаче сигнала в общем случае участвуют все провода, несмотря на то, что присоединение, как правило, осуществляется к одному или двум проводам. При этом изменение коммутационного состояния линии электропередачи, т. е. изменение сопротивления, через которое необработанные (нерабочие) провода соединены с землей, приводит к изменению (в ряде случаев значительному) параметров четырехполюсника ВЧ тракта.

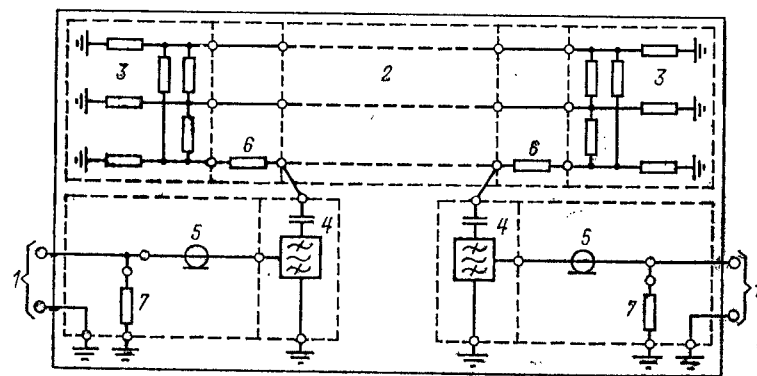


Рис. 5-1. Схема высокочастотного тракта.

1 — входные и выходные зажимы четырехполюсника; 2, 3 — многополюсники, входящие в схему тракта (соответственно трехпроводная ВЛ и входное сопротивление подстанции); 4, 5 — четырехполюсники, входящие в схему тракта (соответственно фильтр присоединения ФП с конденсатором связи КС и ВЧ кабель); 6, 7 — двухполюсники, входящие в схему тракта (соответственно ВЧ заградитель ВЗ и параллельно включенная аппаратура уплотнения АУ).

2. Передача энергии сигнала вдоль однородной многопроводной линии электропередачи происходит в общем случае по нескольким волновым каналам (общее число каналов равно числу проводов) с разными коэффициентами затухания и фазовыми скоростями распространения. Многоскоростной процесс распространения энергии вдоль линии обуславливает возможность интерференции между токами различных волновых каналов в нагрузке рабочего провода в конце линии и как следствие резкого увеличения затухания линии вблизи частот, при которых эта интерференция происходит.

3. Однородность линии электропередачи резко нарушается в местах транспозиций, ответвлений, последовательно включенных в провод в середине ВЛ заградителей, изменения профиля подвески проводов, включения промежуточных подстанций и т. д. В местах неоднородностей энергия падающей волны в каждом из волновых каналов переходит в энергию проходящих и отраженных волн в общем случае в нескольких волновых каналах, что оказывает значительное влияние на параметры ВЧ тракта.

Степень рассогласования по концам линии электропередачи, а также в таких местах нарушения однородности линии, как ответвление, обработанная или необработанная подстанция, может изменяться при изменении схем соединения оборудования высокого напряжения, включенного на подстанции в конце ответвления или на промежуточной подстанции.

4. В ряде случаев паразитная электромагнитная связь между смежными участками ВЧ тракта с обходом промежуточной подстанции может вызывать увеличение затухания тракта в некотором диапазоне частот. Переключения линий и другого оборудования на подстанции, где осуществляется обход, изменяют величину электромагнитной связи, обуславливая нестабильность параметров ВЧ тракта с обходом.

5. Наличие высокого напряжения обуславливает появление помех от короны на проводах и от разрядов в поврежденной изоляции. Уровень помех от короны весьма велик и в большинстве случаев ограничивает затухание, перекрываемое аппаратурой уплотнения ВЛ. Кроме помех от короны, в сети высокого напряжения возникают помехи при переключениях и коротких замыканиях в сети и помехи от атмосферных электрических разрядов.

Перечисленные особенности ВЧ трактов должны учитываться при измерениях их параметров и при анализе результатов измерений.

Измерения параметров ВЧ тракта и составляющих его элементов производятся при наладке ВЧ каналов, в процессе их эксплуатации (плановые измерения, измерения для определения неисправных элементов тракта и т. д.) и при научно-исследовательских работах для экспериментальной проверки тех или иных теоретических положений.

Целью измерений являются определение параметров, характеризующих ВЧ тракт и составляющие его элементы в рабочем диапазоне частот, и сопоставление измеренных величин с паспортными данными, нормами или данными, полученными при расчетах.

Иногда достаточно точный расчет параметров ВЧ тракта затруднен или даже невозможен. В этих случаях только результаты измерений позволяют определить параметры тракта и оценить возможность организации по этому тракту ВЧ каналов связи.

Обработку результатов измерений и сравнение экспериментально полученных и паспортных или расчетных данных выборочно производят уже по ходу измерений. При значительном расхождении сравниваемых величин следует произвести дополнительные уточняющие измерения.

Если для измеряемого элемента ВЧ тракта или всего тракта в целом отсутствуют паспортные или расчетные данные, измерения параметров должен предшествовать их расчет.

Результаты измерений оформляются в протоколе, в котором указываются дата измерений, типы и номера измерительных приборов, схема измерений и другие данные, необходимые для анализа результатов измерений. Результаты измерений следует оформлять графически. Точки измерения на графиках обязательно должны отмечаться каким-либо знаком.

Оценку качества измеряемого ВЧ тракта или его элемента производят на основании полного анализа результатов измерений и расчетных или паспортных данных.

При проведении измерений принимают все возможные меры для сведения к минимуму погрешностей измерений, вызываемых погрешностями приборов, плохими заземлениями, длинными измерительными шнурами и т. д.

Измерения ВЧ тракта и составляющих его элементов разбиваются на три группы:

1. Измерение параметров устройств обработки и присоединения к линии электропередачи; разделительных фильтров и ВЧ соединительных кабелей; шунтирующего действия параллельно включенной аппаратуры уплотнения; ВЧ помех. Методика проведения этих измерений не

зависит от схемы ВЧ тракта, составными частями которого являются измеряемые элементы.

2. Измерение параметров ВЧ тракта в целом. Методика проведения этих измерений должна учитывать специфические особенности различных схем организации ВЧ трактов.

3. Специальные измерения ВЧ параметров воздушных линий электропередачи, которые производят в основном на линиях высоких и сверхвысоких напряжений.

При определении параметров ВЧ тракта и составляющих его элементов в основном используются схемы измерений и расчетные зависимости, приведенные в первой части, или модификация этих схем и зависимостей.

Глава шестая

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ТРАКТА И УРОВНЯ ПОМЕХ

6-1. Определение электрических характеристик изоляции измеряемых элементов и разрядников

Перед проведением измерений ВЧ параметров элементов ВЧ тракта: конденсаторов связи, фильтров присоединения, заградителей, разделительных фильтров и ВЧ соединительных кабелей — производят тщательный осмотр схемы измеряемого элемента, проверку сопротивления изоляции, испытание электрической прочности изоляции деталей схемы и измерение пробивного напряжения разрядников, если они имеются в схеме.

Сопротивление изоляции деталей и соединительных проводников испытуемого элемента ВЧ тракта измеряют мегаомметром на напряжение 1000—2500 В. Выбор напряжения мегаомметра зависит от электрической прочности изоляции испытуемого элемента. Грязь и пыль на поверхности изоляции влияют на результаты измерения, поэтому перед производством измерений их необходимо удалять.

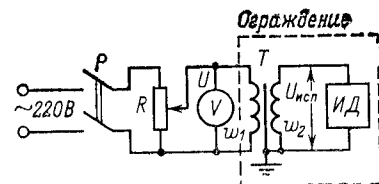
Сопротивление изоляции деталей фильтра присоединения, заградителя и разделительного фильтра измеряют относительно корпуса. Сопротивление изоляции жилы ВЧ кабеля измеряют относительно его заземленной оболочки. Если в схеме имеются разрядники, они отключаются и испытываются отдельно. Сопротивление изоляции конденсатора измеряют не только относительно

корпуса, но и между выводами. Если деталь соединена одним из зажимов с корпусом, то ее перед измерением от корпуса отключают. Все детали схемы, которые в данный момент не измеряются, должны быть заземлены.

Проверку электрической прочности изоляции деталей и соединительных проводников элементов ВЧ тракта

Рис. 6-1. Схема испытания электрической прочности изоляции деталей или пробивного напряжения разрядника.

R — проволоочный потенциометр или лабораторный автотрансформатор; T — измерительный трансформатор напряжения; $ИД$ — испытуемая деталь.



повышенным напряжением производят в том же порядке, что и измерение сопротивления изоляции. Электрическая прочность изоляции испытывается напряжением промышленной частоты, которое обуславливается соответствующими нормами. Продолжительность испытания 1 мин. Испытание производят на специальной пробойной установке. Если действующее значение испытательного напряжения меньше 10 кВ, испытание можно производить по схеме на рис. 6-1 с помощью измерительного трансформатора.

При работе с этой схемой следует тщательно соблюдать правила техники безопасности. Схему испытаний собирают при выключенном рубильнике P и выведенном потенциометре R . Рубильник включают только после проверки всей схемы и установки ограждения в соответствии с правилами техники безопасности. Потенциометром плавно поднимают напряжение на испытуемой детали $ИД$ до нужного значения. После необходимой выдержки времени напряжение с помощью потенциометра уменьшают до нуля и отключают рубильник. Напряжение на испытуемой детали определяют по показаниям вольтметра с учетом коэффициента трансформации трансформатора T по формуле

$$U_{исп} = U \frac{w_2}{w_1}, \quad (6-1)$$

где w_1 и w_2 — число витков первичной и вторичной обмоток трансформатора.

Пробивное напряжение разрядников измеряют на тех же установках, на которых проверяется прочность изо-

ляции. Напряжение на разряднике плавно поднимается до момента пробоя, который фиксируют по резкому уменьшению показания вольтметра. Пробивное напряжение разрядника измеряют несколько раз, так как оно имеет некоторый разброс. По полученным значениям определяют среднее арифметическое значение пробивного напряжения.

Таблица 6-1

Электрические характеристики изоляции и разрядников

Измеряемый элемент	Сопротивление изоляции не менее, МОм	Испытательное напряжение, кВ	Пробивное напряжение разрядника, кВ
ВЧ кабель:			
ФКБ 1×1,3	5000*	2	—
РК-75-7-11	5000*	8	—
РК-75-7-15	5000*	8	—
РК-75-9-12	5000*	10	—
РК-75-9-13	5000*	9	—
Фильтр присоединения:			
ОФП-4	100	4	1,5
ФП-500	100	5	2,5
ФПУ	100	7	2,5
Элемент настройки заградителя:			
ЭН-0,25	100	6	1,8
ЭН-600-50	100	8,5	5,0
ЭН-0,6	100	8,5	5,2
ЭН-0,6 М	100	15,6	11
ЭН-1,2	100	25	19

* Сопротивление изоляции дается на 1 км длины кабеля.

В табл. 6-1 приведены нормы на сопротивление и электрическую прочность изоляции некоторых элементов тракта, а также номинальное напряжение срабатывания разрядников.

6-2. Измерение параметров устройств присоединения к линии электропередачи

Устройством присоединения к ВЛ называется обычно конденсатор связи с фильтром присоединения. Оба эти элемента, объединенные одной схемой, обеспечивают передачу ВЧ сигнала с малыми потерями. Кроме того, они обеспечивают защиту обслуживающего персонала и всего оборудования уплотнения канала от опасного воздействия высокого напряжения ВЛ.

Конденсатор связи характеризуется номинальным рабочим напряжением U_n , емкостью C и тангенсом угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg} \frac{R}{\omega C}$. Так как конденса-

тор связи является элементом высокого напряжения, измерение его параметров производится специальными методами, и их описание выходит за рамки настоящего курса. Отметим лишь, что для конденсаторов связи типа СМР и СММ отклонение измеренной для частоты 50 Гц емкости от номинальной не должно превышать $\pm 5\%$ (для некоторых конденсаторов типа СМР $+10\%$; -5%), а тангенс угла диэлектрических потерь, измеренный при действующем значении напряжения 10 кВ, не должен быть больше 0,3% для вновь вводимых конденсаторов и 1% для конденсаторов, находящихся в эксплуатации.

Фильтр присоединения (с входящим в его схему конденсатором связи) является несимметричным четырехполюсником с разными характеристическими сопротивлениями со стороны входа, к которому подключается линия высокого напряжения (первичные зажимы) и со стороны входа, к которому подключается ВЧ кабель (вторичные зажимы). При этом фильтр присоединения играет роль согласующего элемента между ВЛ с характеристическим сопротивлением, равным 300—450 Ом, и ВЧ кабелем с характеристическим сопротивлением, равным 75 Ом.

Фильтр присоединения (как и любой несимметричный четырехполюсник) может быть описан характеристическими параметрами, которые определяются только элементами схемы фильтра или рабочими параметрами, определяющими режим работы фильтра в рабочих условиях. В практике принято характеризовать фильтр присоединения рабочими параметрами — рабочим затуханием и входными сопротивлениями со стороны первичных и вторичных зажимов при нагрузке фильтра на характеристические сопротивления ВЛ при данной схеме присоединения и волновое сопротивление ВЧ кабеля. Кроме того, фильтр характеризуется полосой пропускания — полосой частот, в которой рабочее затухание и входное сопротивление не выходят за установленные пределы. Если в схеме фильтра присоединения используются ферромагнитные материалы, то фильтр дополнительно характеризуется нелинейными искажениями.

Все указанные величины подлежат определению при измерениях параметров фильтра присоединения.

Согласно рекомендациям Международной электротехнической комиссии (МЭК) измерение входного сопротивления фильтра присоединения можно заменить измерением затухания несогласованности, которое является мерой отличия входного сопротивления фильтра присоединения от характеристического сопротивления ВЛ (первичные зажимы) и ВЧ кабеля (вторичные зажимы).

Принято, что в полосе пропускания фильтра присоединения его рабочее затухание должно быть не более 1,3 дБ, а затухание несогласованности должно быть не менее 10 дБ.

Хотя по рекомендациям МЭК измерение входного сопротивления заменяется измерением затухания несогласованности, в ряде случаев в практике эксплуатации может оказаться необходимым и измерение входного сопротивления со стороны первичных зажимов. Эта необходимость вызывается тем, что входное сопротивление

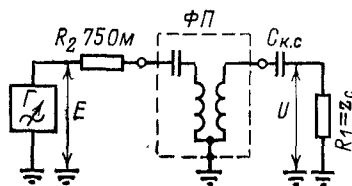


Рис. 6-2. Схема измерения рабочего затухания фильтра присоединения ФП со стороны вторичных зажимов.

ление фильтра присоединения со стороны ВЛ определяет условия согласования конца линии для междофазных волн. При этом в общем случае условия лучшего согласования конца линии для междофазных волн не совпадают с условием согласования фильтра с характеристическим сопротивлением линии при данной схеме присоединения и поэтому не могут быть определены по результатам измерения затухания несогласованности.

Кроме того, входное сопротивление фильтра присоединения со стороны первичных зажимов определяет затухание, вносимое заградителями по концам линии.

Рабочее затухание фильтра присоединения $a_{ф.п}$ измеряют по схеме, которая показана на рис. 6-2. Схема эквивалентного генератора подключается к кабельному входу фильтра присоединения. Сопротивления резисторов R_1 и R_2 в схеме на рис. 6-2 принимают равными расчетным значениям соответственно

характеристического сопротивления линейного тракта и волнового сопротивления кабеля. Емкость конденсатора $C_{к.с}$ принимают равной емкости конденсатора связи.

Сопротивление резистора R_2 принимают равным 75 Ом, а сопротивление резистора R_1 выбирается с учетом того, на сколько проводов расщеплена фаза линии электропередачи:

Число проводов в фазе	1	2	3
Сопротивление R_1 , Ом	450	330	310

Для уменьшения погрешности, обусловленной погрешностью вольтметра, измерение напряжений E и U производят одним и тем же вольтметром.

Рабочее затухание определяется по формуле (4-35), которая может быть преобразована:

$$a_{ф.п} = 20 \lg \frac{E}{U} - \Delta a, \quad (6-2)$$

где

$$\Delta a = 6 + 10 \lg \frac{R_2}{R_1}.$$

Значение поправки Δa для приведенных выше значений сопротивления резисторов R_1 и R_2 может быть определено по следующим данным:

R_1 , Ом	450	330	310
Δa , дБ	-1,8	-0,4	-0,2

Существует схема измерений, в которой эквивалентный генератор подключают со стороны линейного входа, как показано на рис. 6-3.

В этом случае внутреннее сопротивление эквивалентного генератора R_1 принимается равным характеристическому сопротивлению линии Z_c , а сопротивление резистора R_2 , подключенное к кабельному входу, принимается равным 75 Ом.

Рабочее затухание при измерении по этой схеме может быть рассчитано по формуле (6-2), в которой следует брать следующее значение поправки Δa в зависимости от сопротивления:

R_1 , Ом	450	330	310
Δa , дБ	-13,8	-12,4	-12,2

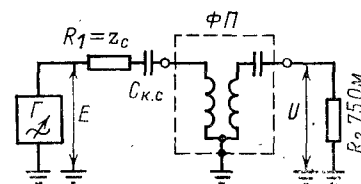


Рис. 6-3. Схема измерения рабочего затухания фильтра присоединения со стороны первичных зажимов.

Из двух схем измерения рабочего затухания фильтра присоединения предпочтение отдают схеме на рис. 6-2, которая обеспечивает большую точность измерения. Точность измерения рабочего затухания по схеме на рис. 6-2 мало зависит от точности вольтметров, так как в полосе пропускания фильтра присоединения $E = (0,87 \pm 1,2) U$ и отсчет ведется по одной и той же шкале вольтметра при близких значениях измеряемого напряжения. При измерениях по схеме на рис. 6-3 $E = (4 \pm 6) U$ и относительно малое затухание фильтра присоединения определяется по (6-2) как разность двух больших величин, близких по значению друг к другу.

Кроме того, отсчет напряжения производится на разных шкалах вольтметра. Все это может привести к большим погрешностям измерения.

Пример.

а) При измерении фильтра присоединения по схеме на рис. 6-2 при $R_2 = 450$ Ом получены результаты: $E = 2,8$ В; $U = 3,0$ В. Измерения производились вольтметром типа ВЗ-38 по шкале 3 В. Известно, что погрешность вольтметра по шкале 3 В составляет $\pm 5\%$.

Рабочее затухание, рассчитанное по (6-2) по результатам отсчета на шкале вольтметра,

$$a_{ф.п} = 20 \lg \frac{2,8}{3,0} + 1,8 = 1,1 \text{ дБ.}$$

С учетом известной погрешности вольтметра

$$a_{ф.п} = 20 \lg \frac{(2,8 \pm 0,15)}{(3,0 \pm 0,15)} + 1,8 \approx 1,1 \text{ дБ.}$$

б) При измерении того же фильтра присоединения по схеме на рис. 6-3 получены результаты: $E = 4,2$ В; $U = 0,9$ В.

Измерения производились на шкалах 10 и 1 В соответственно. Известно, что погрешность вольтметра на шкале 1 В составляет $\pm 5\%$, а на шкале 10 В — 5% .

Рабочее затухание, определенное по результатам отсчета на шкале вольтметра,

$$a_{ф.п} = 20 \lg \frac{4,2}{0,9} - 13,8 = 0,6 \text{ дБ,}$$

а с учетом погрешности вольтметра

$$a_{ф.п} = 20 \lg \frac{4,2 \pm 0,5}{0,9 \pm 0,05} - 13,8 = 1,1 \text{ дБ.}$$

Как видно из примера, при измерении по схеме на рис. 6-3 погрешность много больше, чем при измерении по схеме на рис. 6-2.

Рабочее затухание фильтра присоединения измеряют в полосе пропускания данного фильтра с интервалом

между соседними частотами, на которых производят измерения (точками измерений), от 5 до 10 кГц. Точки измерений выбирают таким образом, чтобы измерить экстремальные значения затухания фильтра в полосе пропускания.

Если фильтр присоединения имеет небольшую полосу пропускания (порядка 10 или 15 кГц), интервал между соседними точками измерений выбирают от 1 до 2 кГц.

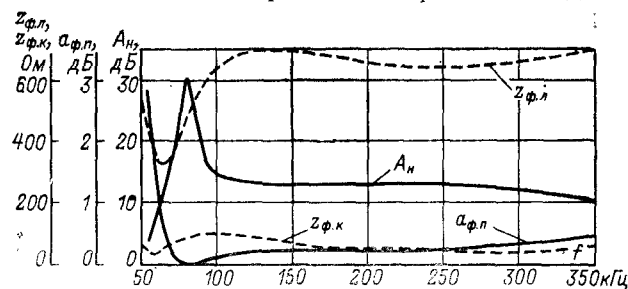


Рис. 6-4. Частотная характеристика рабочего затухания фильтра присоединения $a_{ф.п}$, входного сопротивления со стороны первичных $z_{ф.л}$ и вторичных $z_{ф.к}$ зажимов и затухание несогласованности со стороны первичных и вторичных зажимов A_n .

На рис. 6-4 приведена в качестве примера частотная характеристика рабочего затухания фильтра присоединения типа ФПУ-3200, включенного на диапазон частот 60—300 кГц.

Затухание несогласованности фильтра присоединения $\Phi П$ измеряют по схеме на рис. 6-5, которая является одной из разновидностей схемы, описанной в гл. 4.

Сопротивления резисторов R_1 и R_2 принимаются такими же, как и при измерении рабочего затухания.

Затухание несогласованности определяется по результатам измерений напряжения U при замкнутом (U') и разомкнутом (U'') положении ключа K с помощью формулы

$$A_n = 20 \lg \frac{U'}{U''}. \quad (6-3)$$

При измерениях с замкнутым и разомкнутым ключом K напряжение U_0 должно оставаться неизменным.

Затухания несогласованности со стороны первичных и вторичных зажимов фильтра присоединения равны между собой, и поэтому измерения затухания несогласо-

ванности производят обычно только со стороны первичных зажимов.

На рис. 6-4 приведена примерная частотная зависимость затухания несогласованности A_n фильтра присоединения типа ФПУ.

Входное сопротивление фильтра присоединения можно измерить с помощью миллиамперметра и вольтметра (схема на рис. 4-3,а). При отсутствии ВЧ миллиамперметра измерение производят методом сравнения или методом малого сопротивления (рис. 4-3,б и з). Если измерение производится методом малого сопротивления, корпус фильтра присоединения удаляют от поверхности земли и окружающих металлических предметов не менее чем на 1 м, чтобы на точность измерений не влияла емкость корпуса на землю.

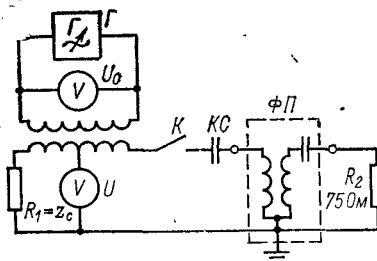


Рис. 6-5. Схема измерения затухания несогласованности фильтра присоединения со стороны первичных зажимов. КС — конденсатор связи.

На точность измерений в значительной мере влияет форма кривой выходного напряжения и тока генератора. Поэтому форму кривой при измерениях всегда контролируют с помощью электронного осциллографа.

Примерная частотная зависимость входного сопротивления со стороны первичных $Z_{ф.л}$ и вторичных $Z_{ф.к}$ зажимов фильтра присоединения типа ФПУ-3200, включенного на диапазон частот 60—300 кГц и нагруженного на характеристическое сопротивление линейного тракта (при измерении $Z_{ф.к}$) и волновое сопротивление кабеля (при измерении $Z_{ф.л}$), приведена на рис. 6-4.

Измерение характеристических параметров фильтра присоединения — собственного затухания, коэффициента фазы и характеристических сопротивлений — производят методом холостого хода и короткого замыкания, описанным в гл. 4. Так как фильтр присоединения является несимметричным четырех-полусником, измерения входных сопротивлений при холостом ходе и коротком замыкании входных зажимов производится дважды как со стороны первичных, так и со стороны вторичных зажимов. Измерения входных сопротивлений производятся с помощью моста полных проводимостей.

Измерения характеристических параметров фильтра присоединения, как правило, производятся лишь при исследовательских работах.

6-3. Измерение параметров высокочастотных загрядителей

Высокочастотный загрядитель служит для уменьшения влияния шунтирующего действия входного сопротивления подстанции или ответвления от линии, а также влияния заземления линии заземляющими ножами линейных разъединителей на параметры ВЧ тракта. Кроме того, в ряде случаев загрядитель дополнительно обеспечивает такое затухание перехода подстанции, которое необходимо для нормальной работы промежуточного усилителя, установленного на этой подстанции, и уменьшения взаимного влияния каналов, работающих в разных пунктах энергосистемы.

Высокочастотными параметрами, которые полностью определяют качество загрядителя, являются активная составляющая полного сопротивления загрядителя (номинальное загрядяющее сопротивление), полное сопротивление загрядителя (загрядяющее сопротивление) и полоса загрядения — полоса частот, в которой номинальное или полное загрядяющее сопротивление не менее нормируемой величины (полосу загрядения, определенную по активному сопротивлению загрядителя, называют номинальной полосой загрядения).

Кроме указанных параметров, загрядитель может характеризоваться вносимым затуханием, измеренным при компенсации реактивной составляющей полного сопротивления загрядителя (номинальное вносимое затухание) и без компенсации этой составляющей.

Согласно рекомендациям МЭК номинальное загрядяющее сопротивление загрядителя не должно быть меньше характеристического сопротивления линейного тракта, увеличенного в 1,41 раза. При этом номинальное вносимое затухание должно быть не более 2 дБ.

В СССР минимальное значение номинального загрядяющего сопротивления принято равным 500—600 Ом, что примерно соответствует нормам МЭК.

Модуль полного сопротивления загрядителя может быть измерен как методом малого сопротивления (схема на рис. 4-3,б), так и методом сравнения (схема на рис. 4-3,з).

Обычно для измерения полного сопротивления принимается метод малого сопротивления. Для уменьшения погрешности в измерениях загрядитель устанавливают

так, чтобы он был отдален от пола и окружающих предметов (в особенности металлических) не менее чем на 1 м. В процессе измерений необходимо следить за тем, чтобы форма кривой тока измерительного генератора была близка к синусоидальной. Контроль за формой кривой тока осуществляют с помощью электронного осциллографа.

Активная и реактивная составляющие полного сопротивления заградителя измеряются с помощью моста полных сопротивлений или моста полных проводимостей. При отсутствии этих приборов измерение производят с помощью простейшей схемы моста переменного тока, которая приведена на рис. 4-4. Балансировка измери-

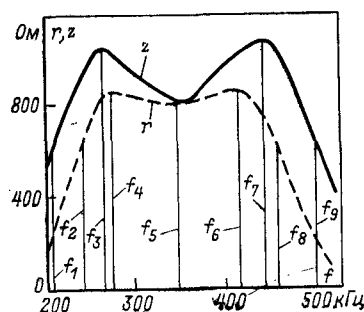


Рис. 6-6.

Рис. 6-6. Примерный вид частотной характеристики сопротивления заградителя, настроенного по широкополосной двухконтурной схеме.

Рис. 6-7. Схемы измерения затухания, вносимого заградителем. а — в эквивалентной схеме; б — с использованием фильтра присоединения.

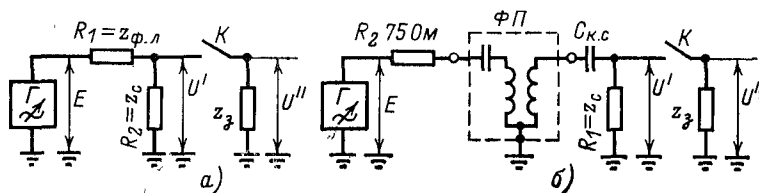


Рис. 6-7.

тельного моста при измерении заградителя облегчается тем, что знак реактивной составляющей полного сопротивления заградителя (при правильной его настройке) заранее известен. На частотах, лежащих ниже средней геометрической частоты полосы заграждения f_m , реактивная составляющая имеет индуктивный характер, а на частотах выше f_m — емкостный характер.

Полное сопротивление заградителя и активную и реактивную составляющие этого сопротивления измеряют в диапазоне частот, в котором значения этих параметров оказываются не меньше нормируемой величин

ны или не менее полученного при расчете параметров ВЧ тракта.

Интервал между частотами, для которых производятся измерения, может изменяться в пределах от 1 до 10 кГц. Он выбирается таким образом, чтобы достаточно полно обрисовать ход частотной зависимости сопротивления заградителя. При измерении обязательно фиксируются экстремальные точки частотной характеристики сопротивления заградителя и начало и конец полосы заграждения. Например, при измерении частотной характеристики сопротивления заградителя, настроенного по широкополосной двухконтурной схеме (примерный вид характеристики приведен на рис. 6-6), обязательно измеряют сопротивления для частот $f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6, f_7, f_8$ и f_9 . Вид частотной характеристики полного сопротивления заградителя является критерием правильности настройки заградителя.

Затухание, вносимое заградителем, измеряют по схеме на рис. 6-7, а, которая является модификацией обычной схемы измерения вносимого затухания четырехполосника. (В данном случае заградитель рассматривается как неполный четырехполосник.)

Согласно рекомендациям МЭК сопротивления резисторов R_1 и R_2 принимаются равными характеристическому сопротивлению линейного тракта (см. с. 139).

Затухание, вносимое заградителем, рассчитывается по формуле

$$\alpha_s = 20 \lg \frac{U'}{U''}, \quad (6-4)$$

где U' — напряжение при разомкнутом ключе K ;
 U'' — напряжение при замкнутом ключе K .

При измерениях напряжение E генератора поддерживается неизменным как при отключенном, так и при включенном ключе K .

При определении номинального затухания, вносимого заградителем, по схеме на рис. 6-7, а МЭК рекомендует компенсировать реактивное сопротивление заградителя, как это показано на рис. 6-8. Такая компенсация может быть в реальных условиях работы заградителя, когда знаки реактивных составляющих полного сопротивления заградителя и входного сопротивления подстанции или ответвления разные.

Измерение номинального затухания, вносимого заградителем, производится следующим образом.

На каждой из частот, для которых производится измерение, реактивная составляющая полного сопротивления заградителя компенсируется последовательно включенным реактивным сопротивлением. Это сопротивление должно иметь знак, противоположный знаку реактивной составляющей полного сопротивления заградителя. Момент резонанса на каждой из частот соответствует минимальному напряжению U'' (рис. 6-7,а).

К ключу К
схемы рис. 6-7

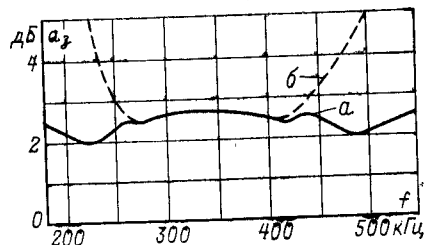
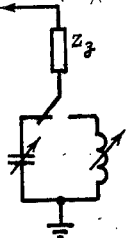


Рис. 6-8. К определению номинального затухания, вносимого заградителем.

Рис. 6-9. Примерный вид частотной характеристики затухания, вносимого заградителем.

а — с учетом полного сопротивления заградителя; б — с учетом компенсации реактивной составляющей полного сопротивления заградителя (номинальное затухание).

Затухание, вносимое заградителем, измеряют для тех же частот, на которых измеряется сопротивление заградителя. Примерный вид частотной характеристики вносимого затухания приведен на рис. 6-9.

Обычно входное сопротивление фильтра присоединения со стороны первичных зажимов отличается от характеристического сопротивления линии Z_c (нормами допускается отличие до 2 раз). Поэтому вносимое затухание заградителя, измеренное по схеме на рис. 6-7,а, при $R_1=R_2=Z_c$ будет отличаться от вносимого затухания заградителя в реальной схеме тракта.

Для определения затухания, вносимого заградителем, работающим в схеме ВЧ тракта совместно с конкретным фильтром присоединения, можно использовать схему на рис. 6-7,а, в которой сопротивление резистора R_1 выбирается равным среднему значению входного сопротивления фильтра присоединения со стороны пер-

вичных зажимов (со стороны линии), а сопротивление резистора R_2 — равным характеристическому сопротивлению линии.

Затухание, вносимое заградителем, можно измерить и по схеме на рис. 6-7,б с использованием реального фильтра присоединения, который будет работать совместно с измеряемым заградителем. Это измерение можно совместить с измерением рабочего затухания фильтра присоединения.

6-4. Измерение параметров разделительных фильтров и шунтирующего действия параллельно включенных сопротивлений

Разделительные фильтры служат для уменьшения взаимных помех между каналами и взаимного шунтирующего действия между аппаратурой уплотнения различных ВЧ каналов, подключаемой к ВЛ через общее устройство присоединения. В ряде случаев разделительные фильтры, устанавливаемые на ВЧ обходе, служат также для уменьшения шунтирующего действия входного сопротивления одного ВЧ тракта на другой. На

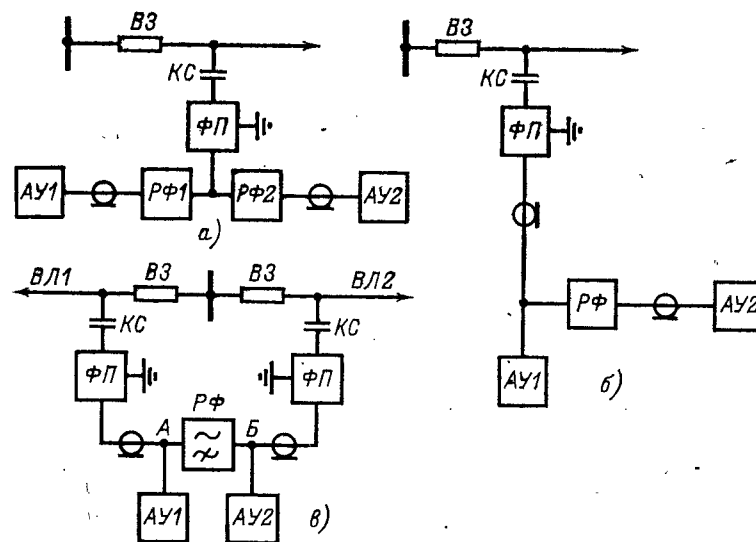


Рис. 6-10. Включение разделительных фильтров в схему ВЧ тракта. ВЗ — высокочастотный заградитель.

рис. 6-10 приведены наиболее характерные случаи упрощения разделительных фильтров.

Так, например, в схеме, изображенной на рис. 6-10,а, разделительный фильтр $P\Phi$ ограничивает распространение токов в диапазоне ниже граничной частоты в сторону линии $ВЛ2$, уменьшает взаимное шунтирующее действие, обусловленное входными сопротивлениями ВЧ трактов, начинающихся от точки A в сторону $ВЛ1$ и от точки B в сторону $ВЛ2$, и уменьшает взаимные влияния и взаимное шунтирующее действие между аппаратурой $AУ1$ и $AУ2$.

По схемному выполнению разделительные фильтры могут быть двухполюсниками (разделительный контур), четырехполюсниками (полосовой фильтр, фильтр верхних и нижних частот, режекторный фильтр) и шестиполюсниками (фильтр типа ДК). Основными параметрами разделительных фильтров являются рабочее затухание (в направлении $A-B$ на рис. 6-10,а), входное сопротивление (для разделительных контуров этот параметр заменяют сопротивлением контура) и вносимое затухание, обусловленное шунтирующим действием входного сопротивления фильтра.

Численные значения указанных параметров разделительных фильтров приводятся в паспортных данных разделительных фильтров. Рабочее затухание в полосе пропускания фильтра обычно не превышает 1 дБ, характеристическое сопротивление в полосе пропускания принимается равным 75 Ом и вносимое затухание вне полосы пропускания не превышает 1 дБ.

Рабочее затухание разделительных фильтров, выполненных как двухполюсники и четырехполюсники, измеряют по схеме на рис. 4-5, в которой внутреннее сопротивление эквивалентного генератора R_r и сопротивление нагрузки R_n принимают равными расчетному входному сопротивлению аппаратуры уплотнения и волновому сопротивлению ВЧ кабеля, т. е. 75 Ом.

При измерении $P\Phi$, выполненного по схеме двухполюсника, его включают как неполный четырехполюсник, схема которого показана на рис. 6-11.

Если разделительный фильтр выполнен по схеме шестиполюсника, измерение его рабочего затухания производят по схеме на рис. 6-12.

Так как при измерениях разделительных фильтров сопротивления резисторов R_1 , R_2 и R_3 равны между со-

бой, общая формула (4-35) для расчета рабочего затухания четырехполюсника упрощается:

$$\alpha_{p.\Phi} = 20 \lg \frac{E}{2U}. \quad (6-5)$$

Частоты, для которых производится измерение, выбирают таким образом, чтобы достаточно полно обрисовать частотную зависимость рабочего затухания разделительного фильтра в полосе пропускания и в полосе заграждения. При этом обязательно фиксирование экстремальных значений затухания.

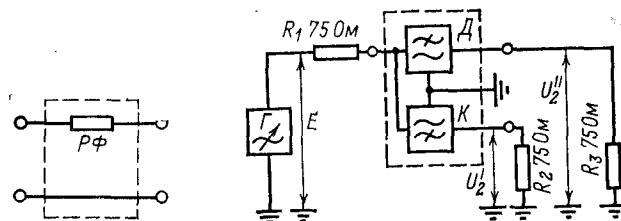


Рис. 6-11. Представление двухполюсника неполным четырехполюсником.

Рис. 6-12. Схема измерения рабочего затухания шестиполюсника.

Входное сопротивление разделительного фильтра определяют, нагрузив выход фильтра на расчетное характеристическое сопротивление, которое, как правило, равно 75 Ом. Для разделительного контура просто измеряют его сопротивление. Измерение производят с помощью вольтметра и миллиамперметра (см. рис. 4-3,а), а при отсутствии ВЧ миллиамперметра методом сравнения (см. рис. 4-3,б) или методом малого сопротивления (см. рис. 4-3,в).

Частоты, для которых производят измерение, выбирают в полосе пропускания разделительного фильтра так же, как при измерении рабочего затухания.

Вносимое затухание, обусловленное шунтирующим действием входного сопротивления фильтра, измеряют по схеме на рис. 6-13, которая является модификацией

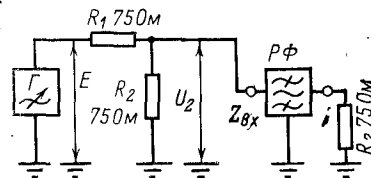


Рис. 6-13. Схема измерения затухания, вносимого разделительным фильтром.

обычной схемы измерения вносимого затухания. Вносимое затухание рассчитывается по формуле

$$a_{\text{ш}} = 20 \lg \frac{E}{2U}. \quad (6-6)$$

Измерение вносимого затухания по рис. 6-13 дает величину этого затухания в некоторой эквивалентной схеме, где внутреннее сопротивление генератора R_1 и сопротивление нагрузки R_2 принимаются равными волновому сопротивлению ВЧ кабеля и расчетному входному сопротивлению аппаратуры уплотнения в полосе рабочих частот.

Для обеспечения точности измерений значения сопротивлений резисторов R_1 и R_2 , равные 75 Ом, не должны отличаться друг от друга более чем на 1—2%.

Вносимое затухание измеряют в полосе записывания разделительного фильтра. Частоты, для которых производят измерение, выбирают таким образом, чтобы получить частотную зависимость вносимого затухания в интересующем диапазоне частот.

Как видно из рис. 6-13, при измерении вносимого затухания выход разделительного фильтра нагружается на сопротивление 75 Ом. В том случае, когда фильтр включается для разделения каналов релейной защиты или телеавтоматики от каналов другого назначения, необходимо дополнительно провести измерение вносимого затухания, обусловленного шунтирующим действием входного сопротивления разделительного фильтра при закорачивании выхода фильтра. Это измерение выполняется для частот каналов релейной защиты и телеавтоматики.

В ряде случаев измерение вносимого затухания от шунтирующего действия входного сопротивления разделительного фильтра производят не в эквивалентной схеме на рис. 6-13, а непосредственно в схеме ВЧ тракта. Для этого измеряют затухание тракта в полной схеме с учетом шунтирующего действия разделительного фильтра (например, затухание тракта 1 от точки А в сторону ВЛ1 рис. 6-10,а) и при отключенном разделительном фильтре (перемычка от точки А к разделительному фильтру рис. 6-10,а отключена). Затухание, вносимое разделительным фильтром, определяют как разность измеренных затуханий.

Часто аппаратура уплотнения различных каналов подключается к линии через одно устройство присоеди-

нения без разделительных фильтров, как показано на рис. 6-14.

При таком подключении должно определяться затухание от шунтирующего действия входного сопротивления аппаратуры уплотнения (на подстанции 1 и подстанции 2) и входного сопротивления ВЧ тракта на подстанции 2, включенных параллельно рассматривае-

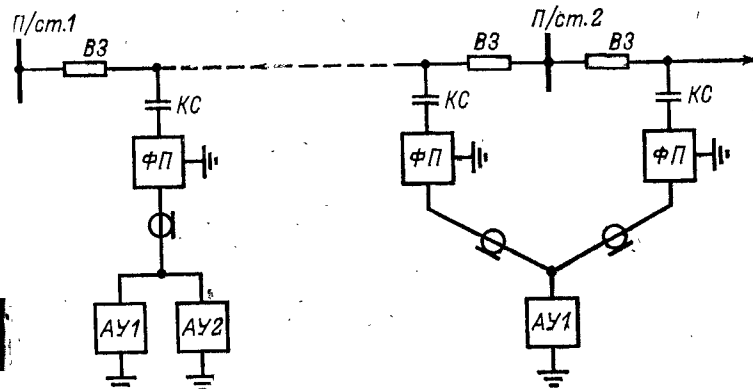


Рис. 6-14. К определению шунтирующего действия аппаратуры уплотнения.

мому тракту. Это измерение производится аналогично измерению шунтирующего действия входного сопротивления разделительных фильтров по схеме рис. 6-13 или непосредственно в схеме ВЧ тракта.

6-5. Измерение параметров высокочастотного кабеля

Высокочастотный кабель служит для соединения аппаратуры уплотнения, установленной в соответствующих помещениях, с аппаратурой присоединения к линии электропередачи, установленной на территории распределительных устройств высокого напряжения, а также для соединения между собой устройств присоединения к линии при организации ВЧ обходов промежуточных подстанций.

Обычно качество ВЧ кабеля вполне определяется по результатам измерений сопротивления его изоляции (см. табл. 6-1) и сопротивления постоянному току цепи жила — оболочка, которое составляет от 12 до 17 Ом/км.

Рабочее затухание и входное сопротивление ВЧ кабеля, близкие по своему значению к собственному затуханию и волновому сопротивлению, можно определить измерениями по схеме на рис. 6-15, являющейся обычной схемой измерения рабочего затухания.

Сопротивление R резисторов Z_r и Z_n выбирают равным предполагаемому волновому сопротивлению кабеля (обычно 75 Ом).

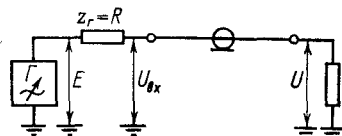


Рис. 6-15. Схема измерения рабочего затухания и входного сопротивления ВЧ кабеля.

Рабочее затухание и входное сопротивление определяют по формулам:

$$a_{\text{раб}} = 20 \lg \frac{E}{2U}; \quad (6-7)$$

$$Z_{\text{вх}} \approx \frac{U_{\text{вх}}}{E - U_{\text{вх}}} Z_r. \quad (6-8)$$

Если $Z_{\text{вх}}$, вычисленное по (6-8), на каких-либо частотах в измеряемом диапазоне отличается от сопротивления R более чем на 15%, то это говорит о недостаточном хорошем согласовании сопротивления нагрузки с волновым сопротивлением кабеля. В этом случае следует подбирать такое значение сопротивления R , при котором $Z_{\text{вх}}$ не отличалось бы от него более чем на 15%.

6-6. Измерение помех на выходе высокочастотного тракта

Напряжением помех на выходе ВЧ тракта называется результирующая величина постороннего напряжения, не связанная с сигналом, передаваемым по каналу связи, работающим по данному ВЧ тракту. Принимая во внимание различие в методике проведения измерений, помехи на линиях электропередачи можно разделить на следующие основные категории:

а) сосредоточенные помехи от соседних ВЧ каналов по линиям электропередачи и радиостанций;

б) помехи от коронирования линейных проводов и частичных разрядов в изоляторах;

в) помехи при коммутационных операциях в сети и атмосферных разрядах, а также при перекрытии дефектной изоляции.

Уровень сосредоточенных помех измеряют обычно для определения мешающих влияний существующих каналов по линиям электропередачи и радиостанций на установленную в месте

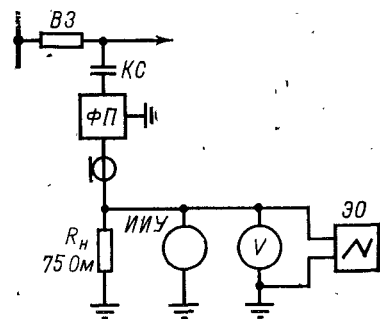


Рис. 6-16. Схема измерения помех.

измерений аппаратуру уплотнения запроектированного или действующего канала. Часто подобные измерения в узловых точках энергосистемы предшествуют разработке графика распределения частот в энергосистемах. Измерения производят по схеме на рис. 6-16 избирательным измерителем уровня ИИУ

с высокоомным входом в интересующем интервале частот (обычно в полосе рабочих частот аппаратуры обработки и присоединения). Измерение производится в широкой полосе пропускания ИИУ (1—2 кГц), а при необходимости результаты уточняются измерениями в узкой полосе пропускания ИИУ (50—300 Гц). При измерениях определяют источник сосредоточенной помехи. Это определение производят путем сопоставления частоты сосредоточенной помехи с частотами действующих каналов, а также прослушиванием характера помехи (радиовещание, радиотелеграф и т. д.) с помощью наушников, включенных на выходе детектора ИИУ.

Уровень помех определяют по показаниям ИИУ с учетом поправки на неравенство сопротивления нагрузки R_n , на котором измеряется уровень помех, и сопротивления $R_{\text{тр}}$, для которого произведена градуировка указателя уровня (обычно $R_{\text{тр}} = 600$ или 135 Ом):

$$P_{\text{пом}} = P'_{\text{пом}} + 10 \lg \frac{R_{\text{тр}}}{R_n}, \quad (6-9)$$

где $P'_{\text{пом}}$ — уровень помех, измеренный ИИУ.

Уровень помех от коронирования линейных проводов определяет в большинстве случаев минимально допусти-

мый приемный уровень сигнала данного канала при отсутствии мешающих влияний соседних каналов.

Измеренное значение уровня помех от короны в значительной степени зависит от типа детектора, применяемого в измерительном приборе (вольтметр, избирательный указатель уровня). Для получения сопоставимых результатов измерение помех от короны рекомендуется производить прибором, реагирующим на действующее или среднее выпрямленное напряжение.

Следует учитывать, что при измерении помех от короны в схеме фаза—земля и фаза—фаза значение уровня помех, соответствующее средневыпрямленному напряжению, примерно на 3 дБ меньше, чем при измерении прибором, реагирующим на действующее значение.

Уровень помех измеряют избирательным указателем уровня с высокоомным входом по схеме на рис. 6-16.

Измерение производят при широкой (1—2 кГц) полосе избирательного уровня в пяти—восьми точках (начало, середина и конец) измеряемого диапазона частот.

Ширина диапазона частот, в котором производят измерение уровня помех, определяется шириной полосы пропускания фильтра присоединения и полосы заграждения ВЧ заградителя. Точки измерений следует выбирать таким образом, чтобы на частотах измерения отсутствовали сосредоточенные помехи. Отсутствие сосредоточенных помех фиксируют прослушиванием характера помех с помощью наушников, подключаемых к выходу детектора ИИУ, или просматриванием характера помех на экране электронного осциллографа ЭО. Помехи от короны создают в наушниках характерный шум, похожий на шум идущего дождя. При измерении уровня помех (как и вообще при измерениях малых уровней избирательным указателем уровня) следует помнить, что измерение с помощью ИИУ может дать значительную погрешность, если на вход ИИУ дополнительно подается сигнал, превышающий на 30—40 дБ измеряемый сигнал. Погрешность обуславливается перегрузкой входного усилительного каскада большим сигналом. Поэтому при измерениях контролируют вольтметром (рис. 6-16) суммарное напряжение на входе ИИУ и, если оно превышает на 30—40 дБ измеряемое

напряжение помех, принимают меры к отключению соответствующей аппаратуры уплотнения.

Так как уровень помех от короны зависит от ширины полосы частот, в которой этот уровень определяется, значение его приводится всегда с указанием полосы частот измерительного прибора.

Уровень помех на проводах линии при измерении по схеме на рис. 6-16 определяют с учетом поправки на затухание фильтра присоединения, ВЧ кабеля и неравенства сопротивлений, для которого произведена градуировка указателя уровня $R_{гр}$ и сопротивления нагрузки R_n :

$$p_{пом \Delta f} = p'_{пом \Delta f} + a_{ф.п} + a_{каб} + 10 \lg \frac{R_{гр}}{R_n}, \quad (6-10)$$

где $p'_{пом \Delta f}$ — уровень помех, измеренный ИИУ;

Δf — полоса пропускания ИИУ, кГц.

Пересчет измеренного уровня помех от короны в другую полосу частот Δf_1 производится по формуле

$$p_{пом \Delta f_1} = p_{пом \Delta f} + 10 \lg \frac{\Delta f_1}{\Delta f}, \quad (6-11)$$

Обычно результаты измерений приводят к расчетной полосе частот $\Delta f_1 = 1$ кГц. В этом случае формула (6-11) упрощается:

$$p_{пом 1} = p_{пом \Delta f} - 10 \lg \Delta f. \quad (6-11a)$$

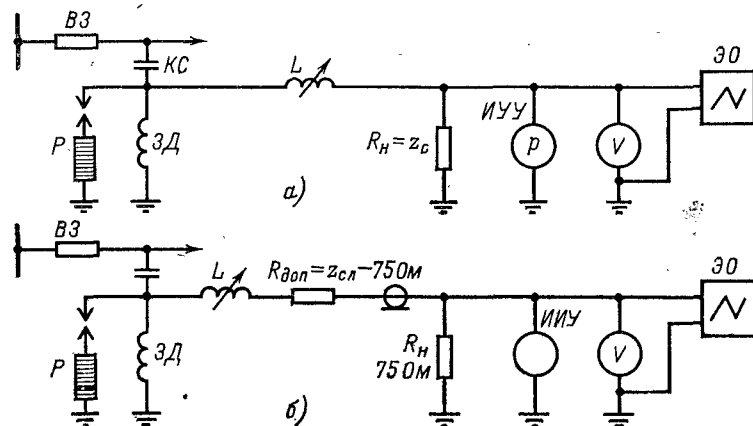


Рис. 6-17. Специальная схема измерения уровня помех.

а — при измерении около конденсатора связи; б — при измерении из помещения узла связи.

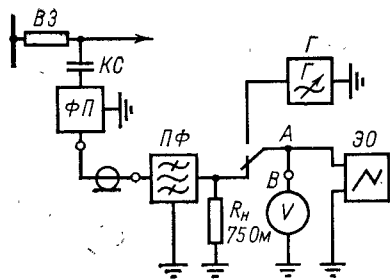


Рис. 6-18. Измерение пикового значения напряжения помех.

что $a_{ф.п} + a_{каб} = 0$. Заземляющий дроссель ЗД и разрядник Р обеспечивают безопасность измерения. Параметры дросселя должны быть выбраны таким образом, чтобы полное сопротивление дросселя вместе с защитным разрядником в диапазоне частот измерений не было меньше 10 кОм. Обычно индуктивность дросселя выбирается в пределах от 20 до 40 мГ.

В случае необходимости измерения помех на конце ВЧ кабеля применяют схему на рис. 6-17,б. При этом значение сопротивления дополнительного резистора $R_{доп}$ принимают равным разности характеристического сопротивления линии ($Z_{с.л}$) и кабеля (75 Ом). Уровень помех на линии в этом случае равен сумме уровня, определяемого по (6-10) с учетом того, что $a_{ф.п} = 0$, и поправки, вычисляемой как

$$\Delta p = 20 \lg (Z_{с.л} / 75).$$

С помощью схемы на рис. 6-18 можно измерить и действующее и пиковое значения напряжения помех. Измерительные приборы в этой схеме подключаются к тракту через полосовой фильтр ПФ шириной пропускания 1—2 кГц. Средняя частота полосы пропускания и кривая избирательности этого фильтра выбираются таким образом, чтобы напряжения сосредоточенных помех на его выходе были по крайней мере на 20 дБ ниже уровня помех от короны.

Действующее значение напряжения помех от короны измеряют с помощью вольтметра, а пиковое значение напряжения этих помех — методом сравнения с помощью электронного осциллографа.

Измерение методом сравнения заключается в следующем. При помощи масштабной сетки измеряют пиковое напряжение помех. Затем вход электронного осциллографа ЭО отключают от ВЧ кабеля и подключают к измерительному генератору Г. Напряжение измерительного генератора $U_{вых}$ регулируют так, чтобы по масштабной сетке оно было равно пиковому значению помехи. Положение регулятора вертикального усиления осциллографа при этом не изменяется. Пиковое значение напряжения помехи определяют из выражения

$$U_{пик} = \sqrt{2} U_{вых}. \quad (6-12)$$

Уровень помех от короны в значительной степени зависит от состояния поверхности проводов ВЛ и от по-

годных условий. Зимой уровень помех в среднем несколько ниже, чем летом. Наибольший уровень помех отмечают обычно при сильном дожде и снегопаде. При загрязнении поверхности проводов линии уровень помех выше, чем при чистой поверхности. Из-за множества факторов, влияющих на интенсивность коронирования проводов, уровни помех от короны, измеренные, казалось бы, при одинаковых условиях, могут отличаться от 10 дБ и более. Поэтому для определения среднего уровня помех и других статистических характеристик помех (например, распределения вероятности появления различных уровней помех) измерения уровней помех от короны производят многократно при различных погодных условиях и соответствующим образом обрабатывают полученные статистические данные.

Так, например, на рис. 6-19 показана интегральная функция распределения уровней помех, полученная на основании примерно 1000 замеров на одной из ВЛ 500 кВ, которые производились в течение 1 года. На рис. 6-19 по оси абсцисс отложены значения уровней помех от короны, а по оси ординат — вероятность того, что уровень помех не превысит заданное значение. Такие зависимости позволяют определить уровни помех, которые не будут превышены с заданной вероятностью, в том числе и средний уровень помех, соответствующий 50% вероятности.

Зависимость напряжения помех короны от времени в течение периода промышленной частоты имеет характерное повторение всплесков напряжения помехи.

Для обычных схем присоединения к линии (фаза — земля или фаза — фаза) периодичность повторения всплесков напряжения помехи равна 150 Гц, что хорошо видно из рассмотрения типовой осциллограммы помех от короны в тракте с присоединением фаза — земля, приведенной на рис. 6-20,а.

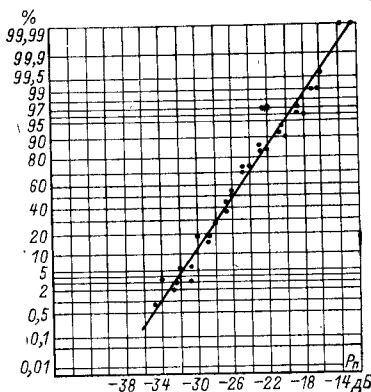


Рис. 6-19. Интегральная функция распределения уровня помех от короны ВЛ 500 кВ. • — результаты измерений.

Максимальные всплески напряжения помех соответствуют положительным максимумам напряжения промышленной частоты на измеряемом проводе и поэтому имеют периодичность повторения 50 Гц. Меньшие всплески напряжения помех соответствуют положительным максимумам напряжения промышленной частоты остальных фаз, сдвинутых на 120° .

Для внутрифазных схем присоединения (схемы присоединения к изолированным проводам расщепленной

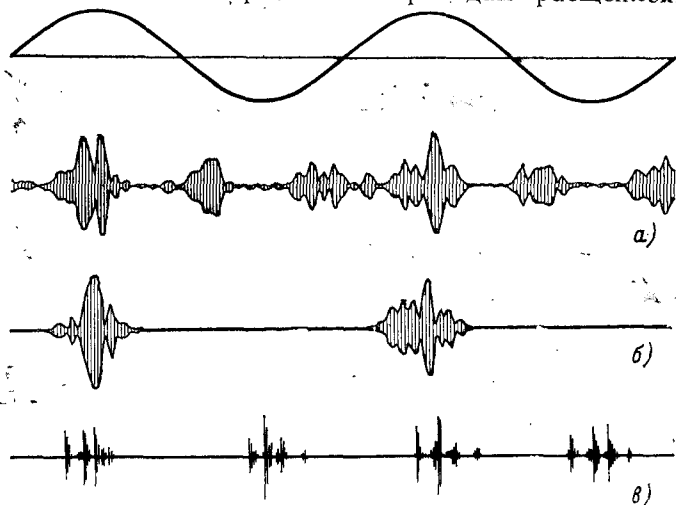


Рис. 6-20. Осциллограммы помех.

а — от короны при схеме присоединения фаза — земля; б — от короны при внутрифазном присоединении; в — от пробоя изоляции.

фазы) всплески напряжения помех соответствуют во времени положительным максимумам напряжения промышленной частоты только на измеряемой фазе и имеют периодичность повторения 50 Гц (рис. 6-20, б).

Значительные помехи могут быть обусловлены частичным перекрытием дефектной изоляции без полного пробоя этой изоляции, а также перекрытием искровых промежутков на грозозащитных тросах. Оборудование высокого напряжения с подобного рода дефектами может работать достаточно долгое время, в результате чего все ВЧ каналы по линиям электропередачи в прилегающем районе могут выйти из строя. Для такого рода помех характерной является их осциллограмма, приведенная на рис. 6-20, в. Периодичность повторения

всплесков напряжения помех составляет 100 Гц, так как пробой в изоляции происходит вблизи максимумов как положительной, так и отрицательной полуволны напряжения или тока. Измерение пикового значения напряжения периодически повторяющихся всплесков напряжения помех не отличается от измерения пикового значения напряжения помех от короны.

Визуальное наблюдение за формой огибающей напряжения помех осуществляют на экране осциллографа, включенного по схеме на рис. 6-18, выбрав соответствующую частоту развертки и осуществив ее синхронизацию частотой 50 Гц.

Сопоставление периодичности повторения всплесков напряжения ВЧ помех с напряжением промышленной частоты 50 Гц можно производить с помощью изображенного на схеме рис. 6-21 приспособления. В этом приспособлении конденсатор C емкостью 5000 пФ и дроссель L индуктивностью 20 мГ служат для взаимного разделения напряжения ВЧ помех и напряжения 50 Гц (5—10 В), по которому определяется периодичность повторения всплесков помех.

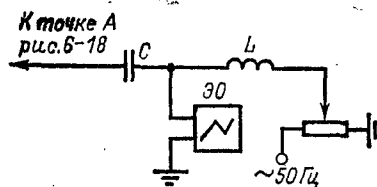


Рис. 6-21. Сопоставление периодичности всплесков помех с частотой 50 Гц.

Осциллографирование помех может быть осуществлено фотографированием с экрана осциллографа в схеме на рис. 6-18. Однако обычно при исследованиях помех осциллографирование производится с помощью электронного осциллографа с механической разверткой типа ЭЛО-9 или с помощью шлейфового осциллографа (например, типа Н004-М1), в которых запись осциллографируемого явления производится непосредственно на фотобумаге.

С помощью электронного осциллографа с механической разверткой записывают напряжение помехи непосредственно в ВЧ спектре. При этом напряжение помех предварительно усиливается до необходимого значения специальным усилителем, который подключается к выходу полосового фильтра ПФ на рис. 6-18.

С помощью шлейфового осциллографа записывают огибающую напряжения помех, полученную после предварительного усиления и детектирования напряжения помехи от короны, причем усилитель-детектор подключают к выходу ПФ (рис. 6-18). Скорость движения бумаги принимают равной от 2 до 3 м/с.

Амплитудная характеристика усилителя (усилителя-детектора), применяемого при осциллографировании, должна быть линейна до напряжения, превышающего среднеквадратичное напряжение помехи примерно в 10 раз для того, чтобы записать все всплески напряжения помех без искажения.

Запись помех от короны совмещают с записью напряжения промышленной частоты рабочей фазы ВЛ, для чего используют другие лучи (шлейфы) осциллографа, подключаемые к трансформаторам напряжения соответствующей фазы.

Помехи при коммутационных операциях и коротких замыканиях в сети кратковременны, и их воздействие существенно только для каналов релейной защиты и системной автоматики. Измерение этих помех производят с помощью электронного осциллографа с механической разверткой или с помощью шлейфного осциллографа с использованием дополнительных усилителей или усилителей-детекторов, о которых было сказано выше.

Обычно осциллографирование коммутационных помех и помех от коротких замыканий производят, подключая усилитель или усилитель-детектор к выходу ПФ в схеме на рис. 6-18. Ширину полосы пропускания фильтра обычно выбирают равной ширине полосы пропускания входного фильтра приемника ВЧ защиты или автоматики.

Напряжение коммутационных помех и помех от коротких замыканий изменяется в течение времени коммутации или короткого замыкания в очень широких пределах от нескольких вольт (а в широкой полосе и сотен вольт) до сотен милливольт. Для того чтобы записать и большие и малые значения напряжения помех, это напряжение одновременно подают через два-три усилителя с разными коэффициентами усиления на разные шлейфы. При этом по записям шлейфа, подключенного к усилителю с большим коэффициентом усиления, анализируются помехи с малым напряжением и, наоборот, большие всплески напряжения помех анализируются по записям шлейфа, подключенного через усилитель с меньшим коэффициентом усиления.

Запуск осциллографа синхронизируют с началом коммутационной операции (например, включение — отключение выключателя, начало опыта короткого замыкания), запуская его несколько раньше (на 50—100 мс) начала операции для того, чтобы скорость движения бумаги к началу записываемого процесса была установившейся.

Глава седьмая

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ТРАКТА

7.1. Методы измерения

Высокочастотный тракт можно представить в виде составного несимметричного четырехполюсника. Как любой четырехполюсник, он характеризуется величиной затухания и входного сопротивления, которые измеряют в схеме, где внутреннее сопротивление генератора и сопротивление нагрузки принимают равными номинальному сопротивлению аппаратуры уплотнения (обычно 75 Ом).

Для того чтобы полностью охарактеризовать ВЧ тракт, важно знать затухание и входное сопротивление не для какой-либо одной частоты, а в диапазоне, охватывающем все полосы частот, передаваемые по тракту. Зависимость затухания и входного сопротивления ВЧ тракта от частоты принято называть частотной характеристикой затухания и входного сопротивления тракта.

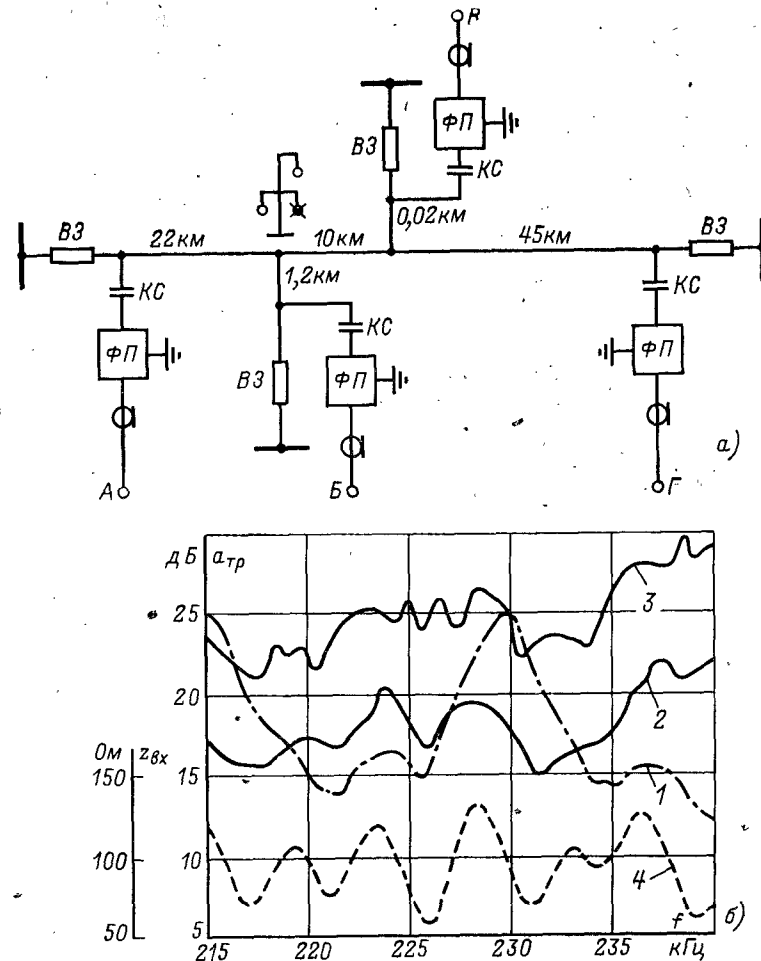


Рис. 7-1. Схема ВЧ тракта (а) и частотная характеристика затухания и входного сопротивления тракта (б).

1, 2 и 3 — затухание тракта между точками А-Б, А-В и А-Г соответственно; 4 — входное сопротивление тракта в точке А.

Как уже отмечалось ранее, процессы, протекающие в ВЧ тракте при передаче сигнала, весьма сложны. Распространение энергии сигнала по нескольким волновым каналам, значительное нарушение однородности ВЛ в местах включения ответвлений, промежуточных подстанций и т. п., связь между смежными участками ВЧ тракта с обходом через шины подстанции — все это обуславливает сложную зависимость затухания и входного сопротивления тракта от частоты.

Для примера на рис. 7-1 приведена частотная характеристика затухания и модуля входного сопротивления ВЧ тракта, схема которого изображена на этом же рисунке. Из рис. 7-1 видно, что даже в узкой полосе частот одного направления передачи канала связи (обычно 3 или 4 кГц) затухание и входное сопротивление тракта могут резко изменяться, колеблясь между максимальными и минимальными значениями.

Разность $\Delta\alpha_{\text{тр}}$ между максимальным и минимальным затуханиями тракта в полосе частот Δf называется неравномерностью затухания тракта в этой полосе частот.

Расчет параметров ВЧ тракта всегда производится с упрощающими допущениями, что может привести к значительным погрешностям. Поэтому в ряде случаев данные, полученные при измерении, позволяют произвести окончательную оценку параметров тракта и определить возможность организации по этому тракту ВЧ канала связи. Учитывая это, измерение параметров ВЧ трактов производят с особой тщательностью.

Измерение частотных характеристик затуханий и входного сопротивления тракта производят в частотном диапазоне, соответствующем рабочей полосе частот элементов обработки и присоединения. В большинстве случаев определяющей является полоса заграждения заградителя, т. е. полоса частот, в которой сопротивление заградителя не падает меньше некоторого наперед заданного граничного значения.

Характер изменения затухания и входного сопротивления тракта при изменении частоты может быть периодически повторяющийся и неповторяющийся.

Изменения затухания и входного сопротивления тракта, имеющие периодический характер, обуславливаются в основном волнами, отраженными от мест нарушения однородности линии электропередачи (начало и конец линии, ответвление и т. д.). Эти изменения ха-

рактеризуются тем, что частоты, соответствующие максимумам и минимумам затухания и входного сопротивления тракта, повторяются периодически с интервалом частот Δf , кГц, определяемым приближенным соотношением:

$$\Delta f_{\text{макс мин}} \approx \frac{v}{4l}, \quad (7-1)$$

где $\Delta f_{\text{макс мин}}$ — частотный интервал между близлежащими максимумом и минимумом затухания или входного сопротивления, кГц; l — расстояние между пунктами нарушения однородности линии, км; v — скорость распространения волн вдоль линии, тыс. км/с (обычно для воздушных линий электропередачи принимают $v = 300$ тыс. км/с).

Изменения затухания и входного сопротивления тракта, отмеченные вблизи какой-либо одной частоты, могут при дальнейшем изменении частоты и не повторяться. Обычно такое непериодическое изменение затухания и входного сопротивления обуславливается взаимодействием реактивных составляющих сопротивления заградителя и входного сопротивления подстанции или ответвления; взаимодействием реактивных сопротивлений двух последовательно подвешенных заградителей или другими причинами.

Выбор частот, для которых измеряют затухание и входное сопротивление ВЧ тракта, производят таким образом, чтобы достаточно полно обрисовать частотную зависимость этих параметров во всей полосе частот, в которой производятся измерения, и в особенности в полосе рабочих частот каналов, работающих по измеряемому тракту.

С учетом специфических особенностей частотных характеристик затухания и входного сопротивления, которые будут рассмотрены ниже, ВЧ тракты можно разбить на пять основных групп:

- с простой схемой по нетранспонированной линии (рис. 7-2,а);
- с простой схемой по транспонированной линии (рис. 7-2,а);
- с одним ответвлением, как неиспользуемым (рис. 7-2,б), так и используемым (рис. 7-2,в) для организации связи;

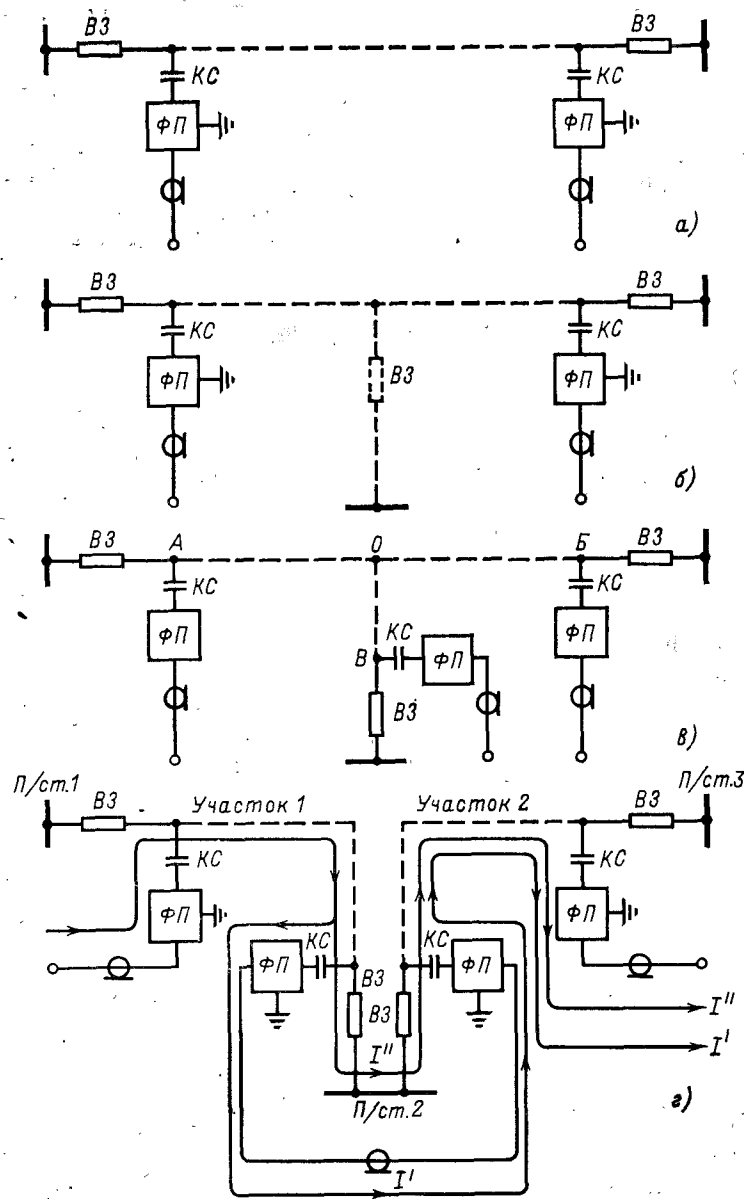


Рис. 7-2. Однолинейные схемы трактов.

с одним обходом промежуточной подстанции (рис. 7-2,г);

сложные высокочастотные тракты, в схему которых могут входить несколько ответвлений и обходов.

Методика проведения измерений частотных характеристик затухания и входного сопротивления ВЧ тракта (выбор условий, при которых производят измерения, выбор частот, для которых измеряют входное сопротивление и затухание тракта) должна учитывать особенности частотных характеристик затухания и входного сопротивления измеряемого тракта. Поэтому эта методика определяется в зависимости от того, к какой классификационной группе относится измеряемый тракт.

В то же время методика измерения входного сопротивления и затухания для каждой из частот, естественно, не зависит от того, к какой классификационной группе относится ВЧ тракт. Поэтому измерения этих величин производят с учетом некоторых общих положений, в равной степени справедливых для трактов любой схемы.

Обычно интересуются оценкой параметров ВЧ тракта в реальных условиях, когда внутреннее сопротивление аппаратуры уплотнения по концам тракта не согласовано с его характеристическим сопротивлением. Поэтому при определении параметров ВЧ тракта измеряют его рабочее (а в ряде случаев вносимое) затухание. При этом следует отметить, что значение характеристического сопротивления ВЧ тракта как составной цепи — величина не постоянная, довольно резко изменяющаяся с изменением частоты и коммутационного состояния оборудования высокого напряжения, входящего в схему тракта, например, выключателей по концам линии. Поэтому осуществить полное согласование передатчика и приемника с характеристическим сопротивлением тракта практически невозможно.

Измерение модуля входного сопротивления ВЧ тракта производят по схеме на рис. 4-3,а с помощью ВЧ миллиамперметра и вольтметра. При отсутствии миллиамперметра входное сопротивление ВЧ тракта может быть измерено методом сравнения (рис. 4-3,г).

В ряде случаев уровень помех на входе ВЧ тракта (сосредоточенные помехи от соседних ВЧ каналов) настолько велик, что измерения методом сравнения, а иногда и методом вольтметра — миллиамперметра

дают недопустимо большую погрешность. При невозможности временного отключения ВЧ каналов, создающих помехи, для измерения входного сопротивления применяют метод сравнения (рис. 4-3,2) с использованием в качестве измерительного прибора не вольтметра, а избирательного измерителя уровня. В этом случае значение модуля входного сопротивления определяется по формуле

$$z_{вх} = 10^{0,05(p_1 - p_2)} R_2, \quad (7-2)$$

где p_1 — уровень, измеренный ИИУ с высокоомным входом, соответствующий напряжению U_1 на входе ВЧ тракта; p_2 — уровень, измеренный ИИУ с высокоомным входом, соответствующий напряжению U_2 на измерительном резисторе; R_2 — сопротивление измерительного резистора, включенного последовательно с входным сопротивлением тракта.

Так как ВЧ тракт является несимметричным четырехполюсником, входное сопротивление тракта в общем случае для каждого конца различно.

Средняя величина входного сопротивления ВЧ тракта, принятая за номинальную величину, составляет 75 Ом. Однако в реальных схемах ВЧ тракта входное сопротивление изменяется в довольно значительных пределах 30—300 Ом.

Пример. При измерениях входного сопротивления тракта методом сравнения (в качестве измерительного прибора использован избирательный указатель уровня) получены следующие данные: $p_1 = +10$ дБ; $p_2 = +7,0$ дБ. Сопротивление резистора R_2 в схеме измерений было установлено равным 75 Ом. Определить модуль входного сопротивления тракта $z_{вх}$ можно по (7-2):

$$z_{вх} = 75 \cdot 10^{0,05(10 - 7)} = 75 \cdot 1,42 = 106 \text{ Ом.}$$

Измерение рабочего затухания ВЧ тракта производят по схеме измерения рабочего затухания четырехполюсника (см. рис. 4-5), в которой внутреннее сопротивление эквивалентного генератора и сопротивление нагрузки принимаются равными номинальному значению входного сопротивления аппаратуры уплотнения и волнового сопротивления ВЧ кабеля, т. е. 75 Ом. Схема измерения рабочего затухания ВЧ тракта для присоединения к линии по схеме фаза — земля приведена на рис. 7-3.

При измерении затухания ВЧ тракта с присоединением к линии по схеме фаза — фаза эквивалентный генератор и вольтметры (избирательные указатели уров-

ня) должны иметь уравнивающий вход, а внутреннее сопротивление эквивалентного генератора и сопротивление нагрузки должны быть равны 150 Ом.

Рабочее затухание определяется по формуле (4-35), которая с учетом того, что сопротивления резисторов R_1 и R_2 равны между собой, упрощается:

$$a_{тр.раб} = 20 \lg \frac{U_1}{2U_2}. \quad (7-3)$$

При измерении затухания ВЧ тракта, на входе которого напряжение сигнала соизмеримо с напряжением помех, в качестве измерительного прибора в схеме на рис. 7-3 применяют избирательный указатель уровня с высокоомным входом. При этом, если избирательный указатель уровня используется для измерения на передающем и приемном концах тракта, рабочее затухание, дБ, определяется по формуле

$$a_{тр.раб} = p_1 - p_2 - 6. \quad (7-4)$$

В некоторых современных генераторах, например серии ЕТ-41, измерительный прибор, показывающий уровень выхода, подключен так, что он измеряет э. д. с. генератора (аналогично тому, как это показано на рис. 7-3), а отградуирован с учетом поправки 6 дБ, т. е. $p_{приб} = p_1 - 6$ дБ. В этом случае, если установить необходимое внутреннее сопротивление генератора, рабочее затухание, дБ, определяется по формуле

$$a_{тр.раб} = p_{приб} - p_2.$$

Если избирательный измеритель уровня используют для измерения только на приемном конце тракта, то рабочее затухание, дБ, определяется по формуле

$$a_{тр.раб} = 20 \lg \frac{U_1}{U_{гр}} - p_2 - 6, \quad (7-4a)$$

где $U_{гр}$ — напряжение, соответствующее градуировке ИИУ на 0 дБ.

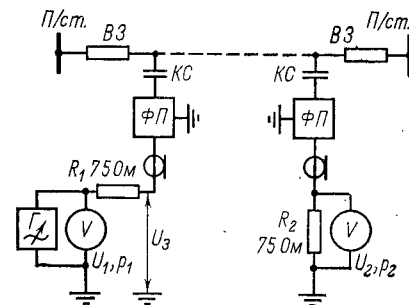


Рис. 7-3. Схема измерения рабочего затухания ВЧ тракта.

При измерениях рабочего затухания ВЧ тракта по схеме на рис. 7-3, как правило, измеряют напряжение U_3 на входе тракта, что позволяет оценить входное сопротивление $z_{вх.тр}$:

$$z_{вх.тр} \approx \frac{1}{U_1/U_3 - 1} R_1 = \frac{1}{10^{0.05(p_1 - p_3)} - 1} R_1. \quad (7-5)$$

Вопрос о возможности применения при измерениях рабочего затухания вольтметров или о необходимости применения избирательных указателей уровня решается в зависимости от соотношения между суммарным напряжением сигнала и помехи U_Σ и напряжением помехи $U_{пом}$.

Принято, что при измерении можно применять вольтметры, если соблюдается неравенство

$$\frac{U_\Sigma}{U_{пом}} \geq 1,5. \quad (7-6)$$

При этом, если

$$2,5 \geq \frac{U_\Sigma}{U_{пом}} \geq 1,5, \quad (7-7)$$

напряжение сигнала определяется по формуле

$$U_c = \sqrt{U_\Sigma^2 - U_{пом}^2}. \quad (7-8)$$

В том случае, если

$$\frac{U_\Sigma}{U_{пом}} \geq 2,5, \quad (7-9)$$

с погрешностью, не превышающей 10%, напряжение сигнала можно принимать равным суммарному напряжению:

$$U_c \approx U_\Sigma. \quad (7-10)$$

Соотношения (7-7) — (7-10) получены для вольтметров, имеющих квадратичный детектор, т. е. измеряющих действующее значение напряжения. Однако эти соотношения могут быть использованы и для вольтметров типа ВЗ-38, измеряющих средневывпрямленное значение напряжения.

Измерение уровней передачи и приема при помощи избирательных указателей уровня усложняет производство измерений, увеличивает время, необходимое для их проведения. Поэтому при измерении стараются выдерживать условие (7-6), соблюдение которого позволяет применять для измерения вольтметры,

Улучшить соотношение между сигналом и помехой на приемном конце тракта в 2 раза и вообще не считаться с напряжением помехи на передающем конце (т. е. увеличить возможность применения для измерений вольтметров) можно, измеряя не рабочее, а вносимое затухание ВЧ тракта. Для получения сопоставимых результатов измерение вносимого затухания производят с помощью генератора, внутреннее сопротивление которого равно 75 Ом. Как легко видеть, при соблюдении этого условия вносимое затухание тракта будет равно рабочему затуханию.

Измерение вносимого затухания ВЧ тракта производят по схеме на рис. 7-4, а расчет вносимого затухания по формуле, если измерения производят вольтметрами:

$$a_{тр.вн} = 20 \lg \frac{U_1}{U_2}, \quad (7-11)$$

или по формуле, если измерения на приемном конце тракта производят избирательным указателем уровня:

$$a_{тр.вн} = 20 \lg \frac{U_1}{U_{гр}} - p_2. \quad (7-11a)$$

Измерение затухания ВЧ тракта производят, как правило, только в одном направлении, потому что рабочее и вносимое затухания тракта, как и любого четырехполюсника, не зависят от направления передачи сигнала.

Несмотря на то, что теоретически рабочее затухание четырехполюсника не зависит от направления передачи, затухания, измеренные в разных направлениях передачи, могут отличаться друг от друга. Эта разница обуславливается погрешностью измерительных приборов передающего и приемного концов, неточностью в установке частоты, для которой производится измерение, и отклонением от номинальных значений сопротивлений резисторов R_1 и R_2 .

Пример. При измерении вносимого затухания ВЧ тракта в одном из направлений ($A \rightarrow B$) получены следующие данные: $U'_1 = 20$ В (шкала 30 В); $U'_2 = 1,4$ В (шкала 3,0 В).

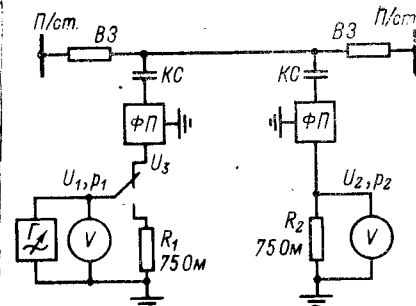


Рис. 7-4. Схема измерения вносимого затухания ВЧ тракта.

Определить вносимое затухание тракта по результатам отсчета на шкале вольтметров и с учетом погрешности вольтметров, если известно, что погрешность вольтметров на всех шкалах составляет в пункте А $\pm 5\%$ и в пункте В $\pm 5\%$. Определить рабочее затухание в направлении В $\rightarrow$ А по результатам отсчета на шкале вольтметров, если напряжение в пункте В будет установлено равным 20 В (принять, что частоты измерительных генераторов в обоих пунктах совпадают, а внутренние сопротивления генераторов и нагрузочные сопротивления одинаковы).

Рабочее затухание ВЧ тракта в направлении А $\rightarrow$ В по (7-11а):

$$a_{\text{тр.раб А} \rightarrow \text{В}} = 20 \lg \frac{U'_1}{2U'_2} = 20 \lg \frac{20}{2 \cdot 1,4} = 17,1 \text{ дБ.}$$

Рабочее затухание тракта с учетом погрешности приборов ΔU :

$$\begin{aligned} a_{\text{тр.раб А} \rightarrow \text{В}} &= 20 \lg \frac{U'_1 - \Delta U'_1}{2(U'_2 + \Delta U'_2)} = \\ &= 20 \lg \frac{20 - 1,5}{2(1,4 + 0,15)} = 20 \lg 5,97 = 15,5 \text{ дБ.} \end{aligned}$$

Истинное значение напряжения приема в пункте А $U''_2 - \Delta U''_2$ при измерении затухания в направлении В $\rightarrow$ А рассчитывают, исходя из условия

$$\frac{U''_1 + \Delta U''_1}{2(U''_2 - \Delta U''_2)} = \frac{U'_1 - \Delta U'_1}{2(U'_2 + \Delta U'_2)} = 5,95,$$

соответствующего равенству рабочих затуханий в обоих направлениях:

$$\begin{aligned} U''_2 - \Delta U''_2 &= (U''_1 + \Delta U''_1) \frac{U'_2 + \Delta U'_2}{U'_1 - \Delta U'_1} = \\ &= (20 + 1,5) \frac{1}{2 \cdot 5,95} = 1,8 \text{ В.} \end{aligned}$$

Значение напряжения U''_2 в направлении В $\rightarrow$ А равно:

$$U''_2 = 1,8 + \Delta U''_2 = 1,8 + 0,19 = 1,99 \text{ В.}$$

Рабочее затухание в направлении В $\rightarrow$ А

$$a_{\text{тр.раб В} \rightarrow \text{А}} = 20 \lg \frac{20}{2 \cdot 1,99} = 14 \text{ дБ.}$$

Вызванная погрешностью прибора разница в рабочем затухании тракта, измеренном в разных направлениях, получается в данном случае равной 3,1 дБ.

Для того чтобы можно было произвести анализ результатов, полученных при измерениях, к протоколу измерений прикладывают подробную схему ВЧ тракта. В протоколе отмечают метеорологические условия, при которых производились измерения (температура воздуха, ясно или осадки, сухо или сыро и т. д.). В протоколе измерений и на схеме ВЧ тракта указывают данные

всех элементов тракта, которые оказывают влияние на измеряемые параметры: а) элементов обработки и присоединения, а также сопротивления шунтов на рабочем и соседних (нерабочих) проводах (в том числе данные ВЧ кабеля, разделительных фильтров и параллельно включенной аппаратуры уплотнения); б) линий электропередачи, входящих в схему тракта (номинальное напряжение, длину, расположение проводов и грозозащитных тросов на опоре, тип промежуточных опор или геометрию расположения проводов на них, если опора нестандартная, марку линейных проводов и грозозащитных тросов, схему транспозиции проводов линий с указанием длины участков транспозиции); в) коммутационное состояние оборудования высокого напряжения подстанций, на которые заходит линия (положение выключателей и разъединителей по концам линии, схему коммутации подстанции на конце ответвления и т. д.).

7-2. Особенности частотных характеристик затухания и входного сопротивления простого тракта по нетранспонированной линии

Согласно Правилам устройств электроустановок (ПУЭ) линии электропередачи, длина которых не превышает 100 км, сооружаются без транспозиций фазных проводов. Особенности частотных характеристик затухания и входного сопротивления простого тракта по нетранспонированной линии (схема тракта приведена на рис. 7-2,а) определяются особенностями передачи ВЧ сигнала по линии, когда на затухание могут оказывать влияние интерференционные явления между токами различных волновых составляющих в сопротивлении нагрузки приемного конца линии и взаимодействие волн, многократно отраженных от концов линии.

Высокочастотные тракты с присоединением к нетранспонированным линиям можно разделить на два типа, которые имеют характерные особенности частотных зависимостей затухания и входного сопротивления тракта.

К первому типу относятся простые тракты с любыми схемами присоединения к так называемым симметричным линиям и с оптимальными схемами присоединения к несимметричным линиям. При этом под симметричными линиями понимают линии с любым расположением проводов напряжением 110 кВ и ниже. У таких

линий затухание ВЧ тракта мало зависит от того, к какому проводу осуществлено присоединение.

Линии напряжением 330 кВ и выше (и частично линии 220 и 110 кВ с горизонтальным расположением проводов) считаются несимметричными.

Оптимальными схемами присоединения к несимметричным линиям называются схемы с присоединением к таким фазам линии, при которых передача энергии сигнала происходит в основном по одному междуфазному волновому каналу (если не считать волновой канал «все фазы — земля»).

При таких схемах присоединения исключается возможность интерференционных явлений между токами различных волновых каналов в сопротивлении нагрузки конца линии.

Для трехпроводных линий оптимальными являются схемы присоединения *средняя фаза — земля* к линии с горизонтальным расположением проводов, *верхняя фаза — земля* к линии с треугольным расположением проводов и *все фазы — земля* к линии с треугольным расположением проводов и все фазы присоединения *фаза — фаза*.

Среднее значение затухания линии в трактах первого типа монотонно увеличивается с увеличением частоты, а неравномерность затухания, вызванная многократно отраженными волнами, уменьшается. Примерная частотная характеристика затухания и входного сопротивления такого тракта при широкополосной схеме настройки ВЧ заградителей приведена на

рис. 7-5. Как видно из этого рисунка, характер изменения среднего значения входного сопротивления тракта с частотой совпадает с характером частотной зависимости входного сопротивления фильтра присоединения со стороны кабеля при нагрузке фильтра на характеристическое сопротивление линейного тракта (см. рис. 6-4). Отклонение от среднего значения входного сопротивления с ростом частоты уменьшается.

Ко второму типу относятся простые тракты с неоптимальными схемами присоединения к несимметричным линиям. При таких схемах присоединения в передаче энергии сигнала участвуют несколько междуфазных каналов, если не считать канала *все фазы — земля*. Для трехпроводных линий это схемы *крайняя фаза — земля* линии с горизонтальным расположением проводов и *нижняя фаза — земля* линии с треугольным расположением проводов.

Частотная характеристика затухания линии в трактах второго типа представляет собой кривую с резонансным увеличением среднего значения затухания и неравномерности затухания вблизи некоторой резонансной частоты. Такой характер частотной характеристики затухания вызывается интерференцией токов различных междуфазных каналов на приемном конце линии из-за разного значения коэффициентов фазы этих волновых каналов.

Численное значение резонансной частоты зависит от многих факторов и может быть определено расчетом или измерением. Для большей части линий 110 кВ резонансные частоты лежат выше 500 кГц, а для линий 500—220 кВ в области частот 60—400 кГц.

При измерении параметров простых трактов с неоптимальной схемой присоединения можно ожидать повышенного значения затухания и его неравномерности даже на частотах, сравнительно далеко отстоящих от резонансной частоты. Примерная частотная характеристика затухания и входного сопротивления такого тракта при широкополосной схеме настройки ВЧ заградителей приведена на рис. 7-6. Как видно из этого рисунка, общий вид частотной характеристики входного сопротивления простого тракта второго типа мало отличается от аналогичной характеристики простого тракта первого типа, в то время как частотная характеристика затухания отличается значительно.

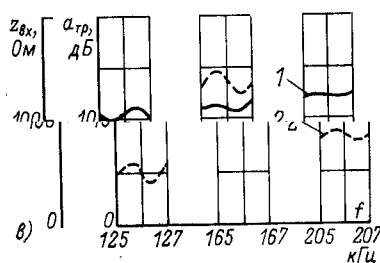
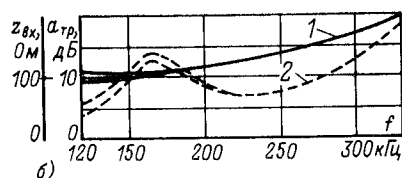
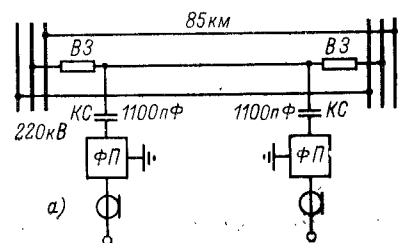
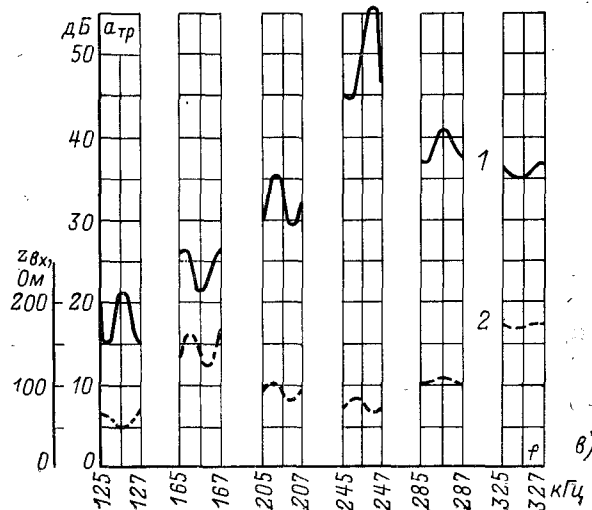
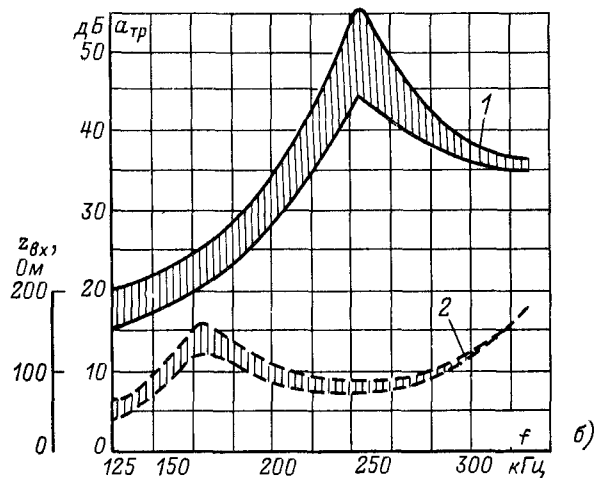
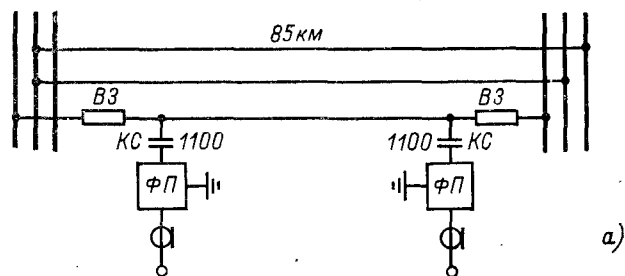


Рис. 7-5. Частотная характеристика затухания и входного сопротивления простого высокочастотного тракта первого типа.

а — схема ВЧ тракта; б — огибающая экстремальных значений затухания (кривая 1) и входного сопротивления (кривая 2) тракта; в — характер периодического изменения затухания и входного сопротивления тракта в узкой полосе частот.



Следует отметить, что значение резонансной частоты для данной линии не остается неизменным. Оно в значительной степени зависит от средней высоты подвеса проводов линии, которая изменяется при изменении температуры окружающего воздуха. При увеличении температуры средняя высота подвеса проводов уменьшается и резонансная частота сдвигается в более низкую область частот. При уменьшении температуры средняя высота подвеса проводов увеличивается и резонансная частота сдвигается в область более высоких частот.

При переходе от самых высоких температур (летом) к самым низким температурам (зимой) значение резонансной частоты может изменяться в 2 раза и более.

При рассмотрении процессов, происходящих при передаче сигнала в простом ВЧ тракте первого и второго типов, для упрощения принимают, что местами, в которых возникают отраженные волны, являются начало и конец линии электропередачи.

В этом случае простой тракт по нетранспонированной линии электропередачи характеризуется наличием периодически повторяющегося изменения затухания и входного сопротивления, обусловленных отражениями волн только от концов линии. Частотный интервал между близлежащими максимумами и минимумами затуханий и входного сопротивления вычисляют по формуле (7-1), в которой значение l принимают равным длине линии, а значение v равным 300. Следует отметить, что частоты, соответствующие экстремальным значениям затухания и входного сопротивления тракта, в общем случае не совпадают (см. рис. 7-5 и 7-6).

Степень рассогласования по концам линии, т. е. величина и знак коэффициента отражения междофазных волн от концов линии, а следовательно, и вид частотной характеристики затухания и входного сопротивления тракта зависят не только от значения входного сопротивления фильтров присоединения со стороны линии, но и от значения сопротивлений, через которые заземлены

Рис. 7-6. Частотная характеристика затухания и входного сопротивления простого высокочастотного тракта второго типа.

а — схема ВЧ тракта; б — огибающая экстремальных значений затухания (1) и входного сопротивления (2) тракта; в — характер периодического изменения затухания и входного сопротивления тракта в узкой полосе частот.

нерабочие фазы¹ линии. Значения сопротивлений, через которые заземлены нерабочие фазы линии, зависят от коммутационного состояния оборудования высокого напряжения по концам линии. Как видно из рис. 7-7, они могут изменяться от нуля (режим к. з., когда линия отключена и заземлена заземляющими ножами линейных разъединителей, рис. 7-7,в) до десятков килоом (режим х. х., когда линия отключена линейными разъединителями и сопротивление заземления определяется емкостью отключенного разъединителя, рис. 7-7,б).

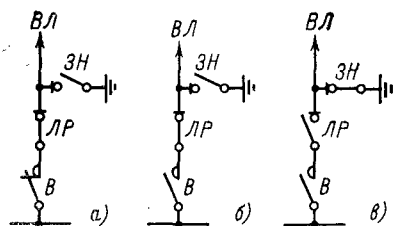


Рис. 7-7. Возможные коммутационные состояния оборудования высокого напряжения по концам ВЛ.

а — рабочий режим; б — режим холостого хода; в — режим короткого замыкания; В — выключатель; ЛР — линейный разъединитель; ЗН — заземляющий нож линейного разъединителя.

При включенной линии сопротивление, через которое заземлены нерабочие фазы, равно входному сопротивлению подстанции (рис. 7-7,а).

В процессе эксплуатации при изменениях коммутационного состояния концов линии электропередачи изменяются и частотные характеристики затухания и входного сопротивления тракта. Особенно важно отметить изменение частотной характеристики относительного затухания тракта в узкой полосе частот одного направления передачи канала связи, которое может привести к прекращению работы канала из-за нарушения диаграммы уровней приемного тракта аппаратуры уплотнения. *Относительным затуханием на какой-либо частоте называется разность между затуханием на этой и некоторой произвольной (базисной) частоте.* Обычно за базисную частоту принимают контрольную частоту канала.

Иллюстрацией к сказанному могут служить частот-

¹ Термин *нерабочие фазы* применяется условно, так как в пространстве сигнала участвуют все фазы линии.

ные характеристики затухания простого тракта второго типа при разных коммутационных состояниях оборудования высокого напряжения по концам линии, приведенные на рис. 7-8.

Выбор частот, при которых делают измерения входного сопротивления тракта, производят, ориентируясь на показания вольтметра в точке U_3 (см. рис. 7-3 и 7-4). Так как показания вольтметра пропорциональны входному сопротивлению тракта, то при плавном изменении частоты измерительного генератора по показаниям

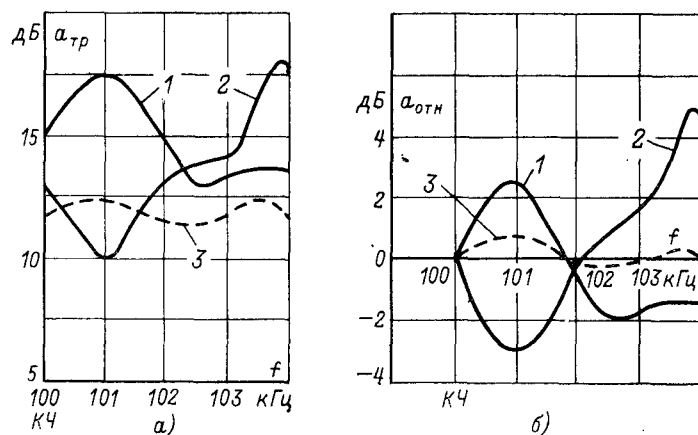


Рис. 7-8. Частотные характеристики затухания (а) и относительного затухания (б) простого ВЧ тракта при различных коммутационных состояниях концов линии.

1 — рабочий режим; 2 — режим холостого хода; 3 — режим короткого замыкания.

вольтметра можно определить частоты, соответствующие экстремальным значениям входного сопротивления.

Определение частот, соответствующих экстремальным значениям затухания тракта, которые в общем случае не совпадают с частотами, соответствующими экстремальным значениям входного сопротивления тракта, производят, ориентируясь по показаниям измерительного прибора на приемном конце тракта, или при отсутствии хорошей связи между передающим и приемным концами тракта выбором достаточно малого интервала частот между точками измерений.

Следует отметить, что не всегда увеличение неравномерности затухания сопровождается увеличением от-

клонения значения входного сопротивления от среднего значения, и поэтому судить о неравномерности затухания по отклонению значения входного сопротивления во многих случаях нельзя. Примером этого являются частотные характеристики затухания и входного сопротивления тракта на рис. 7-6.

Если измерения производить подряд для всех частот, при которых затухание и входное сопротивление тракта имеют экстремальное значение, объем измерений и время, необходимое для их проведения, неоправданно возрастут. Имея в виду, что изменения затухания и входного сопротивления тракта периодически повторяются, измерения производят не для всех частот, а выборочно, но таким образом, чтобы результаты измерений достаточно полно охарактеризовали периодические изменения входного сопротивления и затухания тракта.

Для того чтобы получить полное представление о параметрах ВЧ тракта при возможных режимах работы линии электропередачи и определить надежность

характеристиках затухания соединения может быть вблизи некоторой частоты, как и в случае линии, интерференцией в приемном конце линии. с оптимальными схемами и в больших количествах используемого

с горизонтальным расположением проводов, в пунктах транспозиции, присоединения по которому на длине периметра является средним (фаза С — земля, рис. 7-9), на обоих концах линии (фаза А — земля на левом, фаза С — земля на правом конце), оптимальным является присоединение к проводу, который на длине периметра является средним (фаза С — земля, рис. 7-9).

Например частотные характеристики затухания и входного сопротивления трак-

правило, транспонируют в двух пунктах, как это показано на рис. 7-9. В этом случае отраженные от одного конца линии волны, подходя к другому концу, затухают настолько, что с ними можно не считаться. Поэтому неравномерность затухания и периодическое отклонение входного сопротивления от среднего значения для простого тракта по транспонированной линии, как правило, невелики и коммутационные операции по концам линии заметного влияния на частотную характеристику затухания и входного сопротивления не оказывают.

Затухание простого тракта по транспонированной ВЛ зависит от выбора рабочих фаз. Так же, как и в случае нетранспонированной линии, различают оптимальные и неоптимальные схемы присоединения

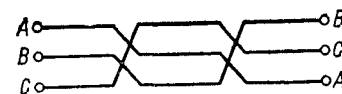


Рис. 7-9. Схема транспозиции линии.

каналов связи, организованных по измеряемому тракту, измерение параметров простого тракта по нетранспонированной линии производят в двух режимах.

Первое измерение производят в рабочем режиме линии электропередачи, когда она подключена к подстанции. Второе измерение производят в том коммутационном режиме линии, при котором ожидают максимальное изменение (относительно рабочего режима) коэффициента отражения междуфазной волны от концов линии, т. е. максимальное изменение частотной характеристики относительного затухания тракта. Так, например, если входное сопротивление подстанций по концам линии мало (в 2—3 раза меньше характеристического сопротивления линии), то второе измерение производят при изолированных по концам линии проводах. Иногда интерес представляют измерения, при которых линия с одной стороны отключена (провода изолированы), а с другой включена в подстанцию.

7-3. Особенности частотных характеристик затухания и входного сопротивления простого тракта по транспонированной линии

Если длина линии электропередачи превышает 100 км (обычно это линии напряжением 220 кВ и выше, т. е. несимметричные линии), то ее фазные провода, как

к транспонированной ВЛ.

При этом в частотных характеристиках с обоими типами присоединения резонансное увеличение затухания на резонансной частоте, обусловленное токами междуфазных каналов на резонансных частотах для тракто-в, лежат все частоты для трактов с неоптимальным числом случаев лежат за пределами частотного диапазона.

Для транспонированных ВЛ положением проводов и двумя оптимальными являются, например, схема фаза — земля к проводу, первого или последнего шага транспозиции (фаза В — земля или фаза С — земля к средним проводам на обоих концах линии, рис. 7-9). Неоптимальными являются схемы присоединения по схеме фаза — земля на длине первого и последнего шага транспозиции (фаза А — земля, рис. 7-10).

На рис. 7-10 приведены для характеристики затухания и входного сопротивления

та при различных схемах присоединения к трехпроводной транспонированной линии со стандартным циклом транспозиции. На этом рисунке хорошо видны особенности частотных характеристик затухания, о которых говорилось выше. Частотные характеристики входного сопротивления тракта почти совпадают с входным сопротивлением системы ВЧ кабель — фильтр присоединения, нагруженной на характеристическое сопротивление линии.

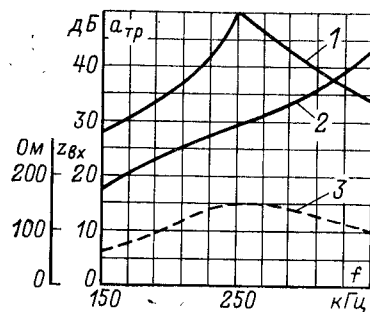


Рис. 7-10. Частотные характеристики затухания и входного сопротивления ВЧ тракта при присоединении к трехпроводной транспонированной линии с горизонтальным расположением проводов.

1 и 2 — затухание тракта с присоединением по неоптимальной и оптимальной схемам; 3 — входное сопротивление.

Так как переключения оборудования высокого напряжения по концам линии мало влияют на частотную характеристику затухания, измерения производят только для рабочего режима линии, когда она подключена к подстанциям с обоих концов.

7-4. Особенности частотных характеристик затухания и входного сопротивления высокочастотного тракта с ответвлением

Схемы ВЧ тракта с ответвлением приведены на рис. 7-2,б, в. В схеме на рис. 7-2,в имеются три тракта: тракт АБ с ответвлением ОВ; тракт АВ с ответвлением ОБ и тракт БВ с ответвлением ОА.

Эквивалентную упрощенную схему тракта с ответвлением можно представить, как показано на рис. 7-11, где ответвление представлено в виде шунта с переменным сопротивлением, равным входному сопротивлению от-

ветвления с учетом элементов обработки и присоединения в начале и конце ответвления.

Особенности частотной характеристики затухания ВЧ тракта с ответвлением определяются особенностями частотной характеристики затухания, обусловленного шунтирующим действием входного сопротивления ответвления.

Характерные особенности частотной зависимости затухания, вносимого ответвлением, удобно рассматривать, разделив это затухание условно на две составляющие — затухание, обусловленное шунтирующим действием сопротивления $Z_{ш}$ (рис. 7-11), и затухание, обусловленное наличием в тракте многократно отраженных волн от точки О и концов линии.

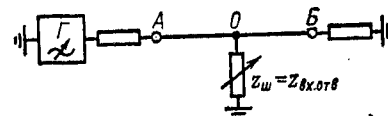


Рис. 7-11. Эквивалентная упрощенная схема тракта с ответвлением.

Частотная характеристика входного сопротивления ответвления, а следовательно, и затухания, обусловленного шунтирующим действием сопротивления $Z_{ш}$, эквивалентного входному сопротивлению ответвления, имеет периодическое чередование довольно ярко выраженных максимумов и минимумов.

Интервал между смежными максимумом и минимумом затухания (входного сопротивления ответвления) приближенно определяют по (7-1), при этом значение l принимается равным длине ответвления.

Значения частот, соответствующих максимумам и минимумам затухания и входного сопротивления, находятся в зависимости от многих факторов, из которых основными являются скорость распространения электромагнитной волны вдоль ответвления (обычно принимают $v=300\,000$ км/с), длина ответвления и сопротивления нагрузки проводов в конце ответвления, т. е. параметры элементов обработки и присоединения, и коммутационное состояние линии в конце ответвления.

Так, например, для частного случая, когда ответвление не используется для организации связи, а провода в конце ответвления изолированы (холостой ход), частоты, кГц, соответствующие максимумам и минимумам затухания и коэффициента отражения от точки О, при-

ближенно могут быть определены соответственно из выражений

$$f_{\max k} \approx \frac{300}{4l_{\text{отв}}} (2n + 1); \quad (7-12)$$

$$f_{\min k} \approx \frac{300}{4l_{\text{отв}}} 2n, \quad (7-12a)$$

где $l_{\text{отв}}$ — длина ответвления, км; $n=0, 1, 2 \dots$; $k=1, 2, 3 \dots$

Если провода в конце ответвления закорочены и заземлены (короткое замыкание), то частоты, соответствующие максимумам и минимумам затухания и коэффициента отражения от точки O , могут быть определены по тем же выражениям (7-12). При этом частоты, определенные по (7-12), соответствуют минимумам, а по (7-12a) — максимумам указанных величин.

Если провода в конце ответвления нагружены на входное сопротивление подстанции (нормальный режим), частоты, соответствующие минимумам и максимумам затухания, занимают промежуточное значение между определенными для режимов холостого хода и короткого замыкания.

Экстремальные, т. е. максимальное и минимальное, значения затухания и коэффициента отражения от точки O , обусловленные шунтирующим действием сопротивления $Z_{\text{ш}}$ (рис. 7-11), эквивалентного входному сопротивлению ответвления, не используемого для организации связи, зависят от электрической длины ответвления и параметров заградителя, включенного в начале ответвления. Если ответвление используется для организации связи, эти величины зависят, кроме того, от параметров элементов обработки и присоединения и коммутационного состояния оборудования высокого напряжения в конце ответвления.

Примерный вид частотных характеристик затухания, обусловленного шунтирующим действием входного сопротивления ответвления, без учета многократно отраженных волн приведен на рис. 7-12 пунктиром. На рисунке хорошо видны периодическое изменение затухания с изменением частоты и смещение частот, соответствующих максимумам и минимумам затухания при изменении сопротивления нагрузки линии в конце ответвления от холостого хода до короткого замыкания.

Интересно, что затухание, вносимое ответвлением, используемым для организации связи, при коротком за-

мыкании нерабочих фаз и определенное без учета многократно отраженных волн, практически не зависит от частоты (рис. 7-12, в). Это справедливо только при сопротивлении нагрузки рабочей фазы, близком к 600 Ом. При других сопротивлениях нагрузки затухание будет зависеть от частоты гораздо больше.

В большинстве случаев участки линии от места ответвления до концов тракта электрически короткие. Поэтому возникающие между точками A и O , B и O , A и B (рис. 7-11) многократно отраженные волны могут иметь достаточно большую амплитуду и в значительной степени влиять на частотную характеристику затухания и входного сопротивления тракта.

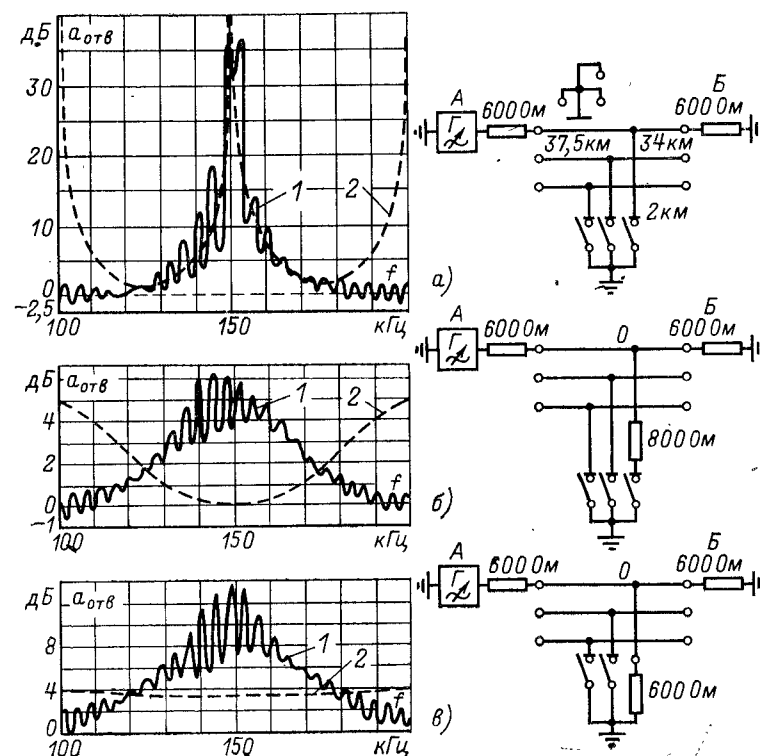


Рис. 7-12. Частотные характеристики затухания, вносимого ответвлением.

a — необработанным; b — обработанным в начале заградителем; v — обработанным в конце для организации связи; 1 — провода в конце ответвления изолированы; 2 — провода в конце ответвления заземлены.

Затухание, обусловленное наличием в тракте *АОБ* многократно отраженных волн, так же как и в простом тракте, периодически изменяется от максимума до минимума, однако это изменение происходит по гораздо более сложному закону, чем в простом тракте.

Это объясняется тем, что многократные отражения происходят одновременно на трех участках линии: *ОА*, *ОБ* и *АБ* разной длины, и тем, что коэффициент отражения междофазных волн от точки *О* с изменением частоты периодически изменяется от максимального до минимального значения в соответствии с изменением входного сопротивления ответвления от минимального до максимального значения. Так же, как и в случае простого тракта, частотная характеристика дополнительного затухания тракта, вызванного многократными отражениями, изменяется с изменением степени рассогласования в точках нарушения однородности линии при коммутационных операциях как по концам линии, так и на конце ответвления.

Примерный вид частотных характеристик затухания, обусловленного ответвлением, с учетом многократных отражений приведен на рис. 7-12 сплошной линией для случая, когда провода в конце ответвления изолированы.

Перечисленные выше особенности частотной характеристики затухания тракта с ответвлением учитываются при измерениях параметров этих трактов.

Выбор частот, для которых делают измерения, производят так же, как и при измерениях параметров простых трактов по нетранспонированным линиям. Измерительный генератор обычно располагают на том конце линии электропередачи, который ближе расположен к месту включения ответвления. При таком расположении генератора влияние отраженных от места включения ответвления волн на входное сопротивление тракта больше, что облегчает определение экстремальных значений входных сопротивлений и выбор частот, на которых следует производить измерения.

Так как на затухание тракта с ответвлением влияет коммутационное состояние оборудования высокого напряжения по концам линии, измерения производят не только при рабочем, но и при других эксплуатационно-возможных состояниях концов линии и ответвления.

Наибольшее влияние на затухание оказывают коммутационные операции в том случае, когда ответвление не

используется для организации связи и не имеет ВЧ обработки. В этом случае измерения производят, как правило, при всех возможных при эксплуатации коммутационных состояниях концов линии и ответвления.

В случае, если ответвление, не используемое для организации связи, обработано заградителем или если ответвление используется для организации связи, измерения производят для рабочего режима линии и для тех коммутационных состояний концов линии и ответвления, при которых по данным предварительных расчетов ожидается наибольшее изменение частотной характеристики затухания тракта по сравнению с рабочим режимом.

7-5. Особенности частотных характеристик затухания и входного сопротивления высокочастотного тракта с обходом промежуточной подстанции

Схема ВЧ тракта с обходом промежуточной подстанции приведена на рис. 7-2,г. Характерными особенностями процессов, происходящих в ВЧ трактах с обходами, влияющими на частотные характеристики затухания этих трактов, являются:

1. Наличие двух путей передачи энергии сигнала от участка 1 к участку 2. Первый — через специально создаваемую схему ВЧ обхода; второй — через сборные шины подстанции, в основном через нерабочие фазы, необработанные заградителями, и через электромагнитную связь между линиями участков 1 и 2 в местах их параллельного сближения. Как правило, влиянием на затухание тракта электромагнитной связи между линиями участков 1 и 2 в месте их параллельного сближения можно пренебречь даже в том случае, когда линии на участке параллельного сближения подвешены на двухцепных опорах. Однако когда затухание собственно четырехполюсника обхода по каким-либо причинам оказывается большим (более 15 дБ), это влияние может оказаться заметным.

В результате наличия двух путей передачи энергии сигнала в тракте с обходом затухание этого тракта может в значительной степени отличаться от суммы затуханий участков тракта до и после обхода.

Влияние сигнала, проходящего по нерабочим фазам через промежуточную подстанцию, на затухание тракта заметно сказывается только при схеме присоединения фаза — земля при условии, что рабочий провод на ли-

ниях до и после подстанции обхода не меняется. При этом затухание тракта может отличаться от суммы затуханий участков тракта тем больше, чем ближе по абсолютной величине затухание различных путей распространения энергии сигнала в месте обхода.

Изменение затухания тракта с обходом от максимального до минимального значения может происходить в сравнительно узкой полосе частот и достигать значительной величины. Это изменение в общем случае носит непериодический характер.

2. Многократные отражения волн в тракте с обходом возникают на обоих участках тракта. Влияние многократно отраженных волн на затухание и входное сопротивление тракта, так же как и для других типов трактов, сказывается в периодическом изменении затухания и входного сопротивления от максимального до минимального значения. Так же, как и для трактов с ответвлениями, это изменение происходит по весьма сложному закону, меняющемуся при переключении оборудования на подстанциях, на которые заходит линия.

Примерный вид частотной характеристики затухания и входного сопротивления тракта с обходом приведен на рис. 7-13, б.

В зависимости от того, следует или не следует ожидать влияния сигнала, проходящего через шины подстанции, на затухание ВЧ тракта с обходом, измерение параметров тракта с обходом производят как по участкам подстанции 1 — подстанция 2 и подстанция 2 — подстанция 3 (рис. 7-13), так и всего тракта подстанция 1 — подстанция 3 (см. рис. 7-13) в целом или только всего тракта в целом¹.

Для того чтобы определить степень влияния связи через шины подстанции и между линиями в месте обхода на затухание всего тракта, измерение затухания тракта производят дважды. Первое измерение производят при нормальной схеме тракта, а второе при отсутствии пути передачи сигнала через собственно четырехполюсник обхода. Для этого при втором измерении ВЧ кабель, соединяющий фильтры присоединения на подстанции обхода, отключается от одного из фильтров

и каждый фильтр присоединения нагружается на резистор сопротивлением 75 Ом.

О степени влияния связи между участками тракта через шины подстанции обхода судят по разности между величинами затухания всего тракта, измеренными для обоих случаев. Если эта разность во всей полосе частот более 15 дБ, влиянием сигнала, проходящего через шины подстанции обхода, на затухание тракта можно пренебречь. Если разность между измеренными величинами затухания окажется менее 15 дБ, этим влиянием пренебречь нельзя, и для определения степени этого влияния следует произвести измерения затухания тракта по участкам, а также при отключении линии от

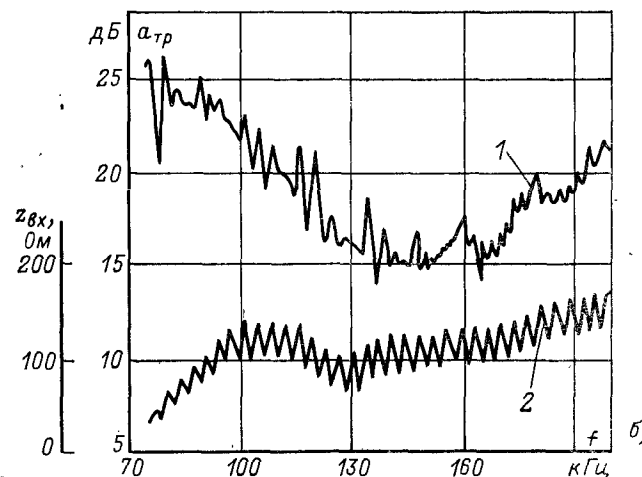
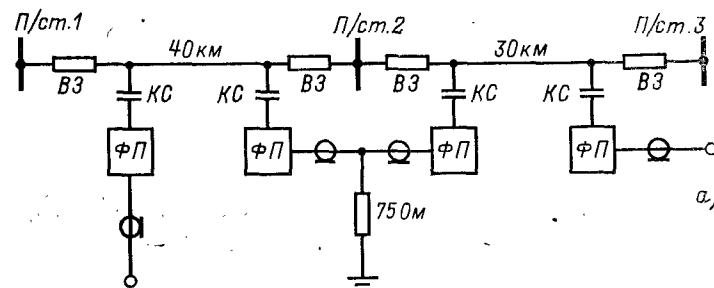


Рис. 7-13. Схема тракта (а) и частотные характеристики (б) затухания 1 и входного сопротивления 2 ВЧ тракта с обходом промежуточной подстанции.

¹ Измерения параметров отдельных участков тракта с обходом производят также при определении причин повышенного затухания тракта, не связанного с указанным влиянием.

подстанций на участке 1 или 2 (см. рис. 7-2,а), т. е. при разорванном пути влияния через сборные шины подстанции 2.

Выбор частот, для которых делают измерения параметров тракта с обходом, производят так же, как при измерении параметров трактов других типов. При этом следует учитывать, что наличие отраженных от точек неоднородности линии волн сказывается как на затухании тракта, так и на значении его входного сопротивления, вызывая периодические изменения и того и другого. В то же время влияние сигнала, проходящего через шины подстанции обхода, сказывается только на затухании тракта.

7.6. Особенности измерения параметров сложных высокочастотных трактов

Высокочастотный тракт, в схему которого входят два или более ответвления или обхода, или и обходы и ответвления, называется сложным. Пример сложного тракта изображен на рис. 7-1.

Выбор частот, для которых производят измерение параметров сложного тракта, а также определение необходимости в переключениях оборудования высокого напряжения на концах линий, входящих в схему тракта, производят с учетом особенностей, перечисленных в § 7-2—7-5. При определении условий измерений параметров сложных трактов и анализе результатов измерений в первом приближении считают, что каждая неоднородность линии (например, ответвление или обход) воздействует на параметры тракта независимо одна от другой.

Для большинства реальных схем сложных ВЧ трактов принятое допущение, упрощающее анализ характеристик трактов, не дает возможности полного определения причин, вызывающих тот или иной вид частотной характеристики затухания или входного сопротивления тракта. Поэтому при необходимости полного анализа частотных характеристик параметров такого тракта этот анализ должен производиться без допущения независимого воздействия неоднородностей на параметры тракта.

Такой анализ производят на основании серии расчетов на ЭВМ по алгоритму, составленному на основании

точных функциональных зависимостей, отображающих процессы, происходящие на ВЧ трактах при передаче сигнала.

7.7. Особенности измерения параметров высокочастотных трактов по грозозащитным тросам и изолированным проводам расщепленной фазы

Организация ВЧ трактов присоединением к изолированным проводящим грозозащитным тросам осуществляется в основном на ВЛ напряжением 500 и 750 кВ. Длина таких линий, как правило, достаточно велика, поэтому влияние отраженных от приемного конца волн на частотную зависимость входного сопротивления и затухания трактов по тросам пренебрежимо мало. Переключения по концам линии также практически не влияют на параметры этих трактов.

Частотная зависимость затухания линейного тракта по грозозащитным тросам плавная, за исключением «резонансных» областей частот, где в этой зависимости наблюдаются явно выраженные всплески затухания. «Резонансные» области располагаются в окрестностях таких частот, для которых длина пролета между смежными опорами ВЛ оказывается кратной целому числу половин длин волн. Например, если средняя длина пролета равна 375 м, область повышенного затухания располагается вблизи частот 400 и 800 кГц.

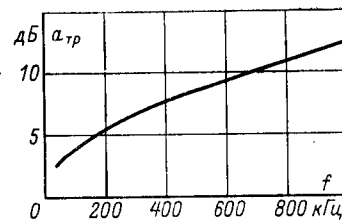
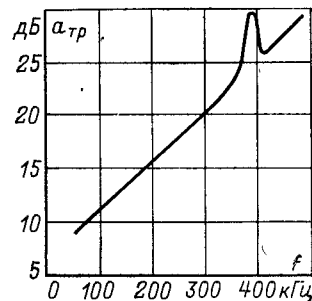


Рис. 7-14. Частотная характеристика затухания ВЧ тракта по грозозащитному тросу.

Рис. 7-15. Частотная характеристика затухания внутрифазного тракта.

Появление областей повышенного затухания обусловливается влиянием емкости фазных проводов и тросов на опору ВЛ, а при малом числе изоляторов в гирлянде, поддерживающей трос, и проводимостью этой гирлянды на высокой частоте. Исходя из сказанного, частоты, для которых производят измерения параметров тракта по тросам, выбирают достаточно редко — через 10—20 кГц, а в «резонансных» областях чаще — через 2—5 кГц. Примерная частотная зависимость затухания тракта по грозозащитному тросу ВЛ 500 кВ длиной 105 км приведена на рис. 7-14.

Тракты по изолированным проводам расщепленной фазы организованы в основном по ВЛ 330 кВ. Параметры такого тракта, часто называемого внутрифазным, принципиально не зависят от переключений оборудования высокого напряжения по концам ВЛ.

Обычно по концам внутрифазного тракта обеспечивают достаточно хорошее согласование характеристического сопротивления устройств присоединения с волновым сопротивлением линии. Поэтому влияние отраженных волн на частотные зависимости входного сопротивления и затухания тракта невелико (исключение может составлять лишь область частот 30—40 кГц).

Исходя из сказанного, измерение параметров внутрифазного тракта обычно производят, выбирая частоты через 10—20 кГц, и лишь в диапазоне частот 30—40 кГц исследуют частотную зависимость этих параметров более полно, так, чтобы определить влияние на эту зависимость отраженных волн.

Примерная частотная зависимость затухания внутрифазного тракта ВЛ 330 кВ длиной 71 км приведена на рис. 7-15.

7-8. Измерение затухания перехода подстанции

Затухание перехода подстанции A_{Π} является мерой оценки ослабления сигнала, который подается в один тракт и выделяется на нагрузке другого тракта за счет электромагнитной связи между участками линий, подходящими к одной подстанции.

Затухание перехода подстанции является одним из параметров ВЧ тракта, который необходимо знать при анализе работы канала с усилителем, установленным на этой подстанции, и при определении взаимных влияний каналов связи, работающих по разным линиям, отходящим от одной подстанции.

Различают затухание перехода подстанции с ближнего и дальнего концов.

Затухание перехода подстанции с ближнего конца измеряют по схеме, изображенной на рис. 7-16. При

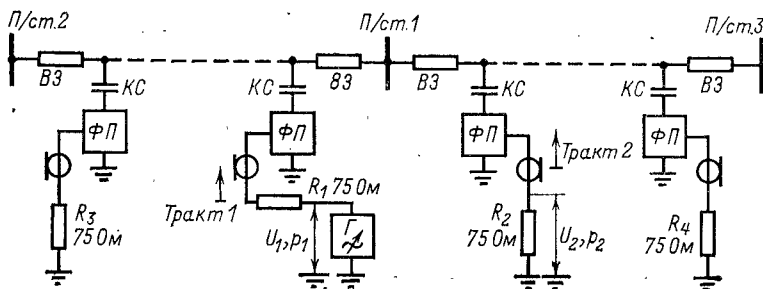


Рис. 7-16. Схема измерений затухания перехода подстанции с ближнего конца.

этом измерении противоположные от подстанции 1 концы трактов 1 и 2 нагружают на резисторы R_3 и R_4 сопротивлением 75 Ом.

Затухание перехода подстанции с ближнего конца определяют по формулам (7-3) и (7-4).

Частотная характеристика затухания перехода подстанции с ближнего конца имеет периодически повторяющуюся неравномерность в узкой полосе частот, обусловленную многократными отражениями междупазных волн от концов ВЛ. Эта неравномерность бывает осо-

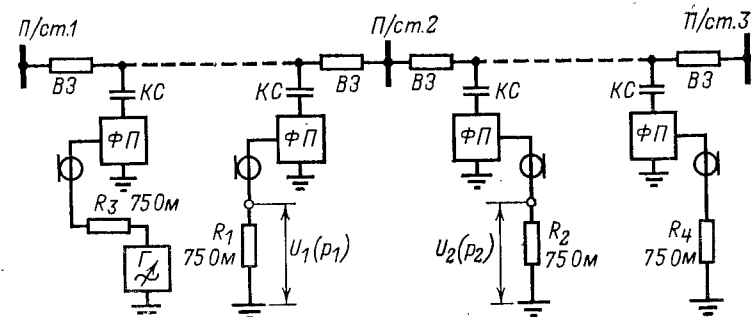


Рис. 7-17. Схема измерений затухания перехода подстанции с дальнего конца.

бенно ярко выражена при затухании перехода подстанции выше 30 дБ. Кроме того, при наличии параллельного подхода линий к подстанции 1 затухание перехода подстанции изменяется от минимального до максимального значения в сравнительно широкой полосе частот. Интервал частот, в котором происходит изменение затухания перехода от минимума до максимума, может быть приближенно определен по выражению (7-1), при этом значение l принимают равным длине параллельного пробега линий.

Измерения производят для частот, соответствующих экстремальным значениям напряжения (уровня) U_2 . Определение этих частот не вызывает затруднений, так как измерительные приборы находятся в одном пункте у одного оператора.

Затухание перехода подстанции с дальнего конца измеряют по схеме, изображенной на рис. 7-17, и рас-

считывают по формуле

$$A_{п.д} = 20 \lg \frac{U_1}{U_2} = p_1 - p_2. \quad (7-13)$$

Обычно измерение затухания перехода подстанции с дальнего конца производят для тех же частот, для которых производят измерение затухания перехода подстанции с ближнего конца.

7-9. Определение причин ненормально высокого затухания тракта и неравномерности этого затухания

Ненормально высокое затухание ВЧ тракта и неравномерность этого затухания могут быть вызваны многими причинами. Эти причины в основном следующие:

а) неисправность элементов тракта или несоответствие параметров этих элементов нормам;

б) неправильно выполненный монтаж оборудования (например, подключение аппаратуры обработки и присоединения к разным фазам по концам линии или на ответвлении);

в) ошибки, допущенные на стадии проектных работ при выборе схемы тракта и определении необходимых параметров элементов тракта (например, использование фазы с повышенным затуханием, выбор схемы фильтра присоединения с параметрами, не обеспечивающими необходимого согласования по концам линии и на конце ответвления).

Причины, вызывающие ненормально высокое затухание тракта или ненормально большую его неравномерность, определяют на основании тщательного анализа частотных характеристик затухания и входного сопротивления тракта, полученных при измерении.

При этом следует особо подчеркнуть необходимость проведения измерений параметров тракта во всей полосе рабочих частот аппаратуры обработки и присоединения, а не только в полосах рабочих частот каналов связи, работающих по измеряемому тракту. Только результаты измерений в достаточно широкой полосе частот позволяют произвести полный анализ явлений, происходящих в тракте, и выявить элементы, ухудшающие параметры этого тракта.

При анализе частотной характеристики затухания и входного сопротивления тракта учитывают, что элементы этого тракта при их неисправности или неправиль-

ном выборе их параметров влияют на частотную характеристику затухания и входного сопротивления по-разному.

Так, например, неисправный (оборванный, закороченный) ВЧ кабель на одном из концов тракта вносит примерно одинаковое затухание в широкой полосе частот. При этом входное сопротивление тракта с той стороны, где кабель неисправен, будет изменяться от очень малых (единицы ом) до очень больших (единицы килоом) значений в интервале частот, определяемых по (7-1), где $v \approx 200$ тыс. км/с — скорость распространения волн в коаксиальных кабелях; l — расстояние до места повреждения ВЧ кабеля.

Повреждение фильтра присоединения оказывает на затухание тракта примерно такое же влияние, что и повреждение кабеля.

Плохо настроенный заградитель со значительной реактивной составляющей полного сопротивления может быть причиной появления всплеска затухания в сравнительно узкой полосе частот за счет компенсации реактивной составляющей сопротивления заградителя противоположным по знаку реактивным сопротивлением подстанции.

Неисправный заградитель на одном из концов тракта может вносить в тракт значительное затухание (хотя это и не обязательно) во всем рабочем диапазоне частот или в части этого диапазона. Неправильно обработанное или обработанное заградителем с неудовлетворительными параметрами ответвление вносит в ВЧ тракт затухание с характерным чередованием максимумов и минимумов при изменении частоты.

Если аппаратура обработки и присоединения по концам линии ошибочно включена на разные фазы, то при малой длине линии и сравнительно невысоких частотах это может быть причиной ненормально высокого затухания и значительной периодически повторяющейся неравномерности этого затухания¹.

Плохо рассчитанные или некачественно настроенные фильтры присоединения, не обеспечивающие необходимого согласования по концам линейного тракта, могут

¹ Следует отметить, что не всегда присоединение к разным фазам на одном и другом концах линии приводит к ухудшению параметров тракта. В ряде случаев такое присоединение специально применяется для улучшения параметров тракта.

быть причиной значительной периодически повторяющейся неравномерности затухания тракта.

Отсутствие фильтра $P\Phi$, разделяющего тракты 1 и 2 в схеме обхода промежуточной подстанции (рис. 7-18,а), может привести к значительному увеличению на некоторых частотах затухания тракта 1 за счет шунтирующего действия входного сопротивления тракта, начинающегося от точки А. Особенно это может проявляться в случае, когда заградитель ВЗ2 не настроен на полосу частот, передаваемых по тракту 1.

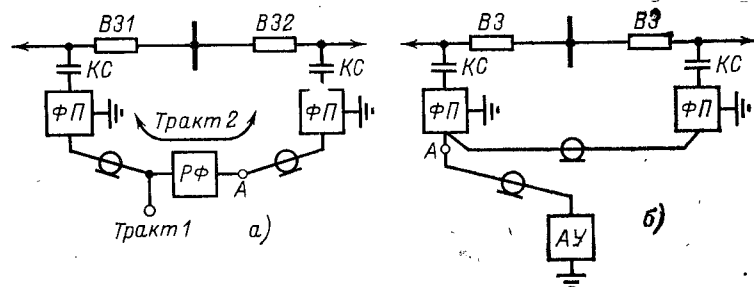


Рис. 7-18. К определению возможных причин повышенного затухания.

Включение аппаратуры уплотнения на промежуточной подстанции по схеме на рис. 7-18,б может быть причиной ненормально высокого затухания сквозного тракта, так как в этой схеме отрезок кабеля от точки А до аппаратуры уплотнения АУ является ответвлением, нагруженным на реактивное входное сопротивление аппаратуры уплотнения.

Значительное затухание, вносимое элементами, входящими в схему ВЧ обхода (ВЧ кабель с плохой изоляцией, плохо настроенный фильтр присоединения, параллельно включенная аппаратура уплотнения), может быть причиной резкого изменения затухания ВЧ тракта с обходом из-за изменения соотношения между энергией сигнала, проходящей через схему обхода и через электрическую связь между участками тракта по нерабочим фазам.

Если ненормально высокое затухание тракта обусловливается причинами, которые увеличивают и коэффициент отражения междуфазных волн (неисправный

заградитель в конце тракта и месте включения ответвления, ошибочное включение аппаратуры обработки и присоединения в нерабочую фазу на коротких линиях и т. д.), то эти причины вызывают периодическое изменение входного сопротивления тракта от максимального до минимального значения в интервале частот, определяемом по (7-1). Поэтому по результатам измерений интервала частот между близлежащими экстремальными значениями входного сопротивления тракта можно определить расстояние от конца тракта до места, где находится элемент, обуславливающий ненормально высокое затухание тракта и значительную неравномерность этого затухания.

Дополнительные специальные измерения параметров тракта и составляющих его элементов производят в том случае, когда имеющиеся частотные характеристики затухания и входного сопротивления не дают возможности определить причины ненормально высокого затухания тракта и неравномерность этого затухания. Специальными эти измерения называются не потому, что они производятся какими-то особыми методами, а потому, что объем этих измерений несколько шире тех, которые обычно производятся для трактов данной группы.

Определение объема дополнительных измерений производят в зависимости от предполагаемых причин ухудшения параметров тракта. Рассмотрим некоторые наиболее часто встречающиеся дополнительные измерения.

1. Предполагается, что ненормально высокое затухание ВЧ тракта в некоторой узкой полосе частот вызвано взаимной компенсацией реактивных составляющих сопротивлений заградителя и входного сопротивления подстанции на каком-либо участке тракта. Для проверки этого предположения дополнительно измеряют затухание участка тракта при поочередном отключении выключателями концов линии электропередачи. Всплеск затухания должен исчезнуть при отключении линии от того конца, где происходит взаимная компенсация реактивных сопротивлений.

2. Предполагается повреждение заградителя на каком-либо участке тракта. Для проверки этого предположения дополнительно измеряют затухание этого участка ВЧ тракта при отключенной от подстанции линии электропередачи и поочередном заземлении рабочей фазы заградителем с одного, а затем с другого конца линии

(заземление удобнее всего производить на спусках к линейному разъединителю). При заземлении рабочей фазы линии за неисправным заградителем должны увеличиваться затухание тракта и неравномерность затухания, вызванная многократными отражениями волн от концов линии.

3. Предполагается повреждение или неправильное включение заградителя в ответвление. Для проверки этого предположения дополнительно измеряют затухание ВЧ тракта при отключенной и незаземленной по концам линии и таком коммутационном положении оборудования высокого напряжения в конце ответвления, при котором максимум затухания, вносимого ответвлением, был бы в пределах полосы пропускания фильтра присоединения. При неисправном заградителе или неправильном включении этого заградителя в месте ответвления ответвление будет вносить в ВЧ тракт практически такое же затухание, какое вносило бы это ответвление без заградителя.

Отключение линии электропередачи без ее заземления применяется всегда, когда нужно измерить затухание тракта в достаточно широком диапазоне частот. Необходимость отключения вызывается тем, что ВЧ заградители не позволяют получить при измерении удовлетворительные данные вне полосы заграждения, маскируя затухание, обусловленное другими элементами тракта. При отключенной и незаземленной по концам линии электропередачи затухание, вносимое заградителями, равно нулю и диапазон частот, для которых можно производить измерения, определяется границами сравнительно широкой полосы пропускания фильтров присоединения. Для расширения границ частотного диапазона измерений применяют переключение фильтров присоединения с одного диапазона настройки на другой.

Иногда для уменьшения коэффициента отражения междофазных волн от концов тракта измерения производят на отключенной линии при заземлении нерабочих фаз по ее концам. Рабочая фаза, на которой подвешены заградители, остается изолированной.

4. Предполагается, что ненормально высокое затухание ВЧ тракта с простой схемой вызвано использованием фазы с повышенным затуханием. Для проверки этого предположения дополнительно измеряют затухание этого тракта при отключенной и незаземленной по концам

линии, используя для исследования частотной характеристики затухания линии в широкой полосе частот метод, описанный выше.

Для определения наилучшей схемы присоединения к линии эти измерения иногда производят несколько раз, временно переключая конденсаторы связи по концам линии на разные фазы. Однако такие измерения лучше производить при подключении измерительных приборов непосредственно к проводам линии по методике, описанной в гл. 8.

5. Предполагается, что ненормально высокое затухание ВЧ тракта вызвано шунтирующим действием входного сопротивления какого-либо элемента тракта. Для проверки этого предположения дополнительно измеряют затухание тракта при отключенном шунтирующем элементе.

6. Предполагается, что ненормально высокое затухание ВЧ тракта с обходом вызвано повреждением какого-либо элемента на одном из участков тракта. Для проверки этого предположения дополнительно измеряют затухание каждого из участков тракта и определяют участок, на котором имеется дефектный элемент. Затем дальнейшими измерениями определяют сам дефектный элемент.

7. Предполагается, что ненормально высокое затухание тракта с обходом вызвано влиянием сигнала, проходящего через шины подстанции обхода по нерабочим фазам. Для проверки этого предположения определяют затухание ВЧ тракта при «разорванной» схеме ВЧ обхода и сравнивают это затухание с затуханием тракта при нормальной схеме соединений (см. § 7-5).

Последовательность действий при определении причин повышенного затухания ВЧ тракта лучше всего показать на примере.

Пример. На рис. 7-19 показаны схема ВЧ тракта и частотная характеристика его затухания (кривая 1). Характеристика эта неудовлетворительна. Несмотря на широкополосность аппаратуры обработки, наблюдается значительное увеличение затухания тракта на частотах 290—297 кГц при большой неравномерности этого затухания. Один из максимумов затухания располагается в одной из рабочих полос частот налаживаемого канала, а другой — вне рабочей полосы. Заградители настроены по широкополосной схеме на диапазоны 270—360 кГц при $R_s = 1000 \text{ Ом}$.

Рассматривая совместно схему ВЧ тракта и частотную характеристику его затухания, можно сказать следующее:

а) Увеличение затухания вследствие взаимодействия реактивных составляющих сопротивления заградителей и входного сопротивления подстанции маловероятно (один из максимумов затухания расположен посередине полосы заграждения заградителей — 292 кГц, где активная составляющая сопротивления максимальна). Неисправность элементов настройки заградителей по концам тракта также маловероятна, так как она привела бы к увеличению затухания во всей полосе частот заграждения заградителей.

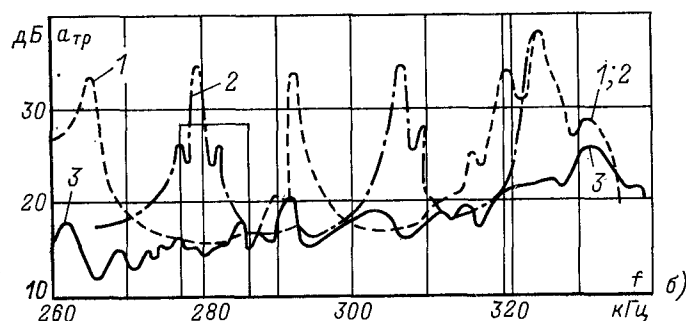
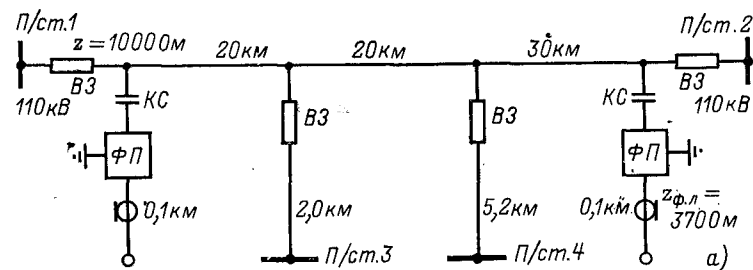


Рис. 7-19. Схема ВЧ тракта (а) и частотная характеристика затухания тракта (б).

1 — до устранения повреждений; 2 — на подстанции 4 ответвление заземлено; 3 — после устранения повреждений.

б) Высокочастотный тракт относится к группе сложных трактов с двумя ответвлениями, не используемыми для организации связи. Ответвления обработаны заградителями, которые включены в точку ответвления. Если иметь в виду характерные особенности частотной зависимости затухания, вносимого необработанным ответвлением, наиболее вероятной причиной неудовлетворительной частотной характеристики затухания тракта является неправильная обработка ответвления (обработана нерабочая фаза или поврежден элемент настройки заградителя, или заградитель установлен, но зашунтирован, или, наконец, заградитель установлен в рабочей фазе, но недопустимо далеко от места разветвления).

Рассмотрим это предположение более подробно.

Известно, что необработанное ответвление вносит затухание, частотная характеристика которого имеет максимумы и минимумы, повторяющиеся с частотным интервалом, определяемым по (7-1).

В нашем случае для ответвления к подстанции 3

$$\Delta f'_{\text{макс мин}} \approx \frac{300}{4 \cdot 2,0} = 37,5 \text{ кГц},$$

а для ответвления на подстанции 4

$$\Delta f''_{\text{макс мин}} \approx \frac{300}{4 \cdot 5,2} = 14,4 \text{ кГц},$$

что соответствует частотному интервалу между двумя смежными максимумами затухания

$$\Delta f'_{\text{макс макс}} = 75 \text{ кГц и } \Delta f''_{\text{макс макс}} = 28,8 \text{ кГц}.$$

Анализ характеристики тракта (кривая 1 на рис. 7-19) показывает, что частотный интервал между максимумами затухания равен $\Delta f_1 = 321 - 292 = 29 \text{ кГц}$ и $\Delta f_2 = 292 - 265 = 27 \text{ кГц}$, что близко по значению к $\Delta f'_{\text{макс мин}}$

Здесь следует учесть, что максимум затухания на частоте 265 кГц может быть обусловлен заградителями по концам тракта, так как эта частота лежит за пределами частоты заграждения заградителей. Однако максимумы затухания на частотах 292 и 321 кГц могут быть обусловлены плохой обработкой ответвления к подстанции 4.

Нельзя оставить без внимания и то, что в интервале частот 315—335 кГц имеются два разные по максимумам затухания — на частотах 321 и 325 кГц. Возможно, что неисправна обработка и второго ответвления к подстанции 3 и это ответвление вносит на частоте 325 кГц максимальное затухание. При этом второй максимум затухания должен быть на частоте $325 - 75 = 250 \text{ кГц}$, т. е. в полосе, где характеристика затухания не измерена. То, что максимум затухания на частоте 325 кГц больше, чем на частотах 321 и 295 кГц, подтверждает возможность нашего предположения, так как чем короче ответвление (вернее, чем меньше $\alpha_{\text{фл.отв}}$), тем больше $\alpha_{\text{отв.макс}}$.

Итак, в результате анализа можно предположить, что обработка ответвления к подстанции 4, а может быть, и к подстанции 3 неисправна или выполнена неверно. Возможно, что неисправен элемент настройки заградителя или заградитель включен в нерабочую фазу, или заградители в ответвления не включены.

В данном случае можно наметить следующий план действий:

1. Необходимо визуально убедиться, что заградители в ответвлениях имеются и включены в рабочие фазы. Перед этим в службе линий сетевого района следует получить схему транспозиции линий и уточнить расположение рабочей фазы в месте ответвления.

2. Если ответвления обработаны правильно, остается предположить, что заградители неисправны. Уточнение этого предположения может быть осуществлено по результатам измерений ВЧ тракта при холостом ходе и коротком замыкании концов ответвлений, так как при этом частота, соответствующая максимуму затухания, должна измениться. В большей степени частота максимума затухания должна измениться для режима короткого замыкания конца ответвления,

так как рабочий режим, т. е. режим нагрузки на входное сопротивление маломощных подстанций 3 и 4, близок к режиму холостого хода.

Таким образом, измерение тракта следует произвести при отключенной и незаземленной по концам линии, поочередно заземляя концы ответвлений. При заземлении конца ответвления на подстанции 4 максимум затухания на частоте 321 кГц должен сместиться примерно на частоту 307 кГц, а максимум затухания на частоте 292 кГц — на частоту 279 кГц. Максимум затухания на частоте 325 кГц должен остаться. При заземлении конца ответвления к подстанции 3 максимум затухания на частоте 325 кГц должен сместиться примерно на частоту 287 кГц.

3. Следует произвести измерение тракта по программе, намеченной в п. 2.

Этот пример взят из практики, причем действительно оказались неисправными оба заградителя в ответвлениях и предварительно проведенный анализ позволил обнаружить поврежденные элементы.

Если предположить, что в этом примере рабочая полоса частот аппаратуры уплотнения была бы равной 330—339 кГц и, следовательно, высокое затухание не попадало бы в рабочую полосу частот канала связи, следовало бы производить все вышеуказанные измерения, так как характеристика тракта в полосе частот аппаратуры обработки (270—360 кГц) не в норме.

7-10. Определение причин и места возникновения помех ненормально высокого уровня

Высокий уровень ВЧ помех на линии электропередачи может быть вызван повреждением или загрязнением поверхности проводов, которые являются причиной интенсивного коронирования проводов; плохими контактами или частичными нарушениями изоляции в оборудовании высокого напряжения; периодическими перекрытиями искровых промежутков, включенных параллельно изоляторам, поддерживающим грозозащитный трос.

Определение вида помех (от коронирования проводов или от периодических пробоев изоляции) производят на основании анализа осциллографической записи этих помех (см. гл. 6).

Если источником помех является периодический пробой изоляции, то определение местоположения источника помех (а следовательно, и неисправного оборудования) производят с помощью переносного измерителя радиопомех (например, прибором П4-12А). Вблизи источника помехи напряженность поля, измеряемая прибором, оказывается максимальной. Измерение напряженности поля производят на любой частоте в диапазоне 150—500 кГц, на которой отсутствуют помехи от радиостанций и ВЧ каналов по ВЛ.

Если предполагается, что источником высокого уровня помех являются линии электропередачи, то очаг помех определяют, двигаясь с измерительным прибором вдоль той линии, на которой зафиксировано наибольшее напряжение помехи. Место расположения источника помех (обычно дефектные изоляторы или пробивающийся искровой промежуток грозозащитного троса) определяют по резкому увеличению напряженности поля помехи.

В том случае, когда помеха обусловлена пробоем искрового промежутка грозозащитного троса и этот пробой происходит только

в одном месте, расстояние от места пробоя до конца линии можно определить, используя осциллограмму помех, полученную тем или иным способом (см. гл. 6) на одном из концов линии¹.

В этом случае на осциллограмме помех вблизи каждого максимума напряжения помехи можно наблюдать дополнительный малый всплеск напряжения помехи (рис. 7-20, а). Этот всплеск обуславливается приемом сигнала, отраженного от противоположного конца линии (рис. 7-20, б). Расстояние l_1 от места возникновения помехи до конца линии, где производится измерение, можно определить по формуле

$$l_1 = l - \frac{300}{2\Delta t}, \quad (7-14)$$

в которой все обозначения ясны из рис. 7-20.

Если предполагают, что источник помех находится на подстанции, то напряженность поля помехи определяют вблизи шины заземления каждого из проверяемых аппаратов высокого напряжения.

Иногда перед производством измерений местонахождение источника помех грубо определяют поочередным отключением линий электропередачи и оборудования высокого напряжения подстанций.

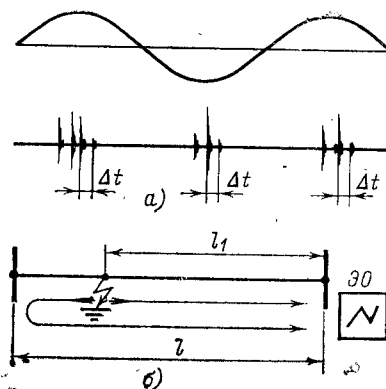


Рис. 7-20. К определению места пробоя искрового промежутка грозозащитного троса.

а — осциллограмма помехи; б — схема распространения помехи.

¹ Предложено инж. В. И. Черновым.

ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

8-1. Общие положения

Необходимость в проведении специальных измерений ВЧ параметров линии электропередачи возникает в основном при проведении исследовательских работ. Так, например, эти измерения производят для экспериментального определения модальных параметров линий электропередачи (в основном высоких и сверхвысоких напряжений); для определения параметров ВЧ тракта при различных схемах подключения к линии (в особенности новых схем подключения); для определения влияния на затухание тракта транспозиции проводов, ответвлений от линии, кабельных вставок в воздушную линию электропередачи, различного рода повреждений линии (обрывы и короткие замыкания проводов и т. п.).

Специальные измерения ВЧ параметров линий электропередачи производят на полностью отключенной линии с подключением измерительных приборов непосредственно к проводам линии электропередачи через специальную схему, обеспечивающую безопасность работ.

Так как результаты, полученные при измерении ВЧ параметров линии электропередачи, используют обычно для проверки и уточнения тех или иных теоретических положений, расчетных зависимостей и т. п., к точности этих результатов предъявляют повышенные требования. Поэтому для производства специальных измерений применяют измерительные приборы точностью не хуже 3—5% во всем диапазоне частот, для которых производят измерения. Кроме того, принимают все меры для сведения к минимуму погрешности измерения, обусловленной элементами измерительной схемы, о чем будет сказано ниже.

Измерения производят, как правило, в диапазоне 30—1000 кГц на частотах 30, 50, 100 кГц и далее в основном через 50 кГц. Около каждой из этих частот фиксируют экстремальные значения входного сопротивления и затухания, если наблюдается периодическое изменение входного сопротивления, вызванное отражениями от каких-либо точек неоднородности линейного тракта. Кроме того, если между точками измерения нарушается монотонное изменение параметров, их значения в этой области частот подробно исследуются.

8-2. Особенности схемы подключения измерительных приборов к линии электропередачи

Несмотря на то, что измерения ВЧ параметров линии электропередачи производят на полностью отключенной линии, на проводах линии может оказаться напряжение, опасное для персонала, производящего измерения. Это напряжение может быть обусловлено э. д. с., наведенной с других линий, расположенных параллельно измеряемой линии или пересекающих ее; случайным (при аварии) соединением проводов измеряемой линии и линии, с которой имеется пересечение; грозовыми перенапряжениями и т. п. Поэтому присоединение измерительных приборов к проводам линии производят через специальное защитное устройство, обеспечивающее заземление

линии для токов промышленной частоты и токов кратковременных грозовых перенапряжений. Схема этого устройства приведена на рис. 8-1. Как видно из рис. 8-1, заземление каждого провода линии обеспечивается параллельно включенным заземляющим дросселем ЗД и разрядниками P_v и P_n .

Сечение намоточного провода и конструкция заземляющего дросселя выбираются с расчетом прохождения через него токов промышленной частоты, наведенных от соседних линий (этот ток может быть 5—10 А и более).

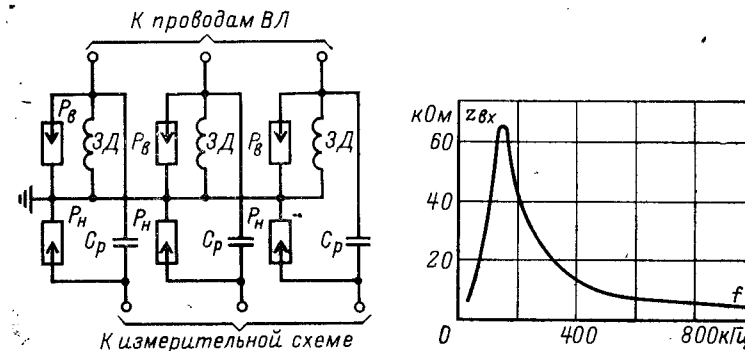


Рис. 8-1. Схема защитного устройства.

ЗД — заземляющий дроссель; P_v — разрядник высокого напряжения; P_n — разрядник низкого напряжения; C_p — разделительный конденсатор.

Рис. 8-2. Частотная характеристика входного сопротивления защитного устройства.

Сечение спусков от проводов линии к схеме защитного устройства, сечение заземляющего провода, а также параметры разрядников и разделительных конденсаторов C_p выбираются такими, чтобы они обеспечивали безопасность операторов при возможных аварийных ситуациях и грозовых перенапряжениях.

Электрическая прочность разделительных конденсаторов должна быть больше пробивного напряжения первого, более грубого разрядника P_v .

Высокочастотные параметры защитного устройства, а также выполнение схемы подключения его к проводам измеряемой линии в значительной степени влияют на точность полученных при измерении результатов.

Для обеспечения необходимой точности измерений к защитному устройству предъявляют два основных требования:

а) незначительное шунтирующее действие защитного устройства: его входное сопротивление во всем диапазоне частот измерений должно быть по крайней мере на порядок больше входного сопротивления линии;

б) незначительное влияние последовательно включенного в цепь измерений разделительного конденсатора: его сопротивление должно быть на два порядка меньше входного сопротивления линии.

Входное сопротивление защитного устройства на нижних частотах диапазона, в котором производятся измерения, определяется

индуктивностью заземляющего дросселя, а на высших частотах — емкостью выводов защитного устройства относительно земли. Обычно принимают все меры для уменьшения этой емкости, в которую входят собственная емкость заземляющего дросселя, емкость между выводами разрядников P_B и P_H , а также емкость монтажа. Для уменьшения собственной емкости заземляющего дросселя его намотку делают секционированной.

Зависимость входного сопротивления защитного устройства от частоты имеет вид резонансной кривой. Частота собственного резонанса защитного устройства зависит от индуктивности заземляющего дросселя и емкости выводов устройства относительно земли.

Примерный вид частотной характеристики входного сопротивления защитного устройства показан на рис. 8-2.

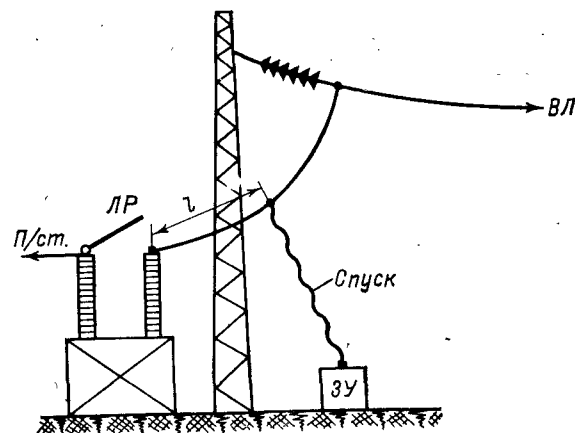


Рис. 8-3. Примерный эскиз подключения защитного устройства к линии.

ЛР — линейный разъединитель; ЗУ — защитное устройство.

Емкость разделительного конденсатора выбирают таким образом, чтобы его сопротивление в диапазоне частот измерений было возможно меньше, а для токов промышленной частоты с целью уменьшения влияния этих токов на точность измерений достаточно большим. Обычно емкость разделительного конденсатора выбирают в пределах от 0,05 до 0,5 мкФ.

Для уменьшения погрешности в результатах измерений длину спусков от проводов линии до защитного устройства делают минимально возможной, а конструкцию этих спусков такой, чтобы их волновое сопротивление было возможно ближе к волновому сопротивлению линии.

Подключение спусков к проводам линии производят таким образом, чтобы длина отрезка линии l от точки подключения спусков до изолированного конца линии (рис. 8-3) была минимальной и не пре-

вышала $\frac{1}{30} \lambda$ — 1 длины волны высшей граничной частоты, при ко-

торой производятся измерения. Этим условием ограничивается шунтирующее действие входного сопротивления отрезка линии l , которое при этом условии оказывается чисто емкостным и по значению не менее пяти волновых сопротивлений.

8-3. Измерение параметров волновых каналов линии электропередачи

Условия распространения ВЧ сигнала по линии электропередачи в значительной степени определяются параметрами волновых каналов этой линии. Поэтому экспериментальное определение этих параметров представляет значительный интерес.

Число волновых каналов линии равно числу проводов и грозозащитных тросов, если тросы выполнены с алюминиевым покрытием (проводящие тросы). Если тросы на линии выполнены из стали, то в первом приближении они в расчет не принимаются и число волновых каналов такой линии можно считать равным числу фазных проводов.

Каждый s -й волновой канал [$s=0, 1, 2, \dots, (n-1)$] n -проводной линии характеризуется коэффициентом распространения $\gamma_{(s)} = \alpha_{(s)} + j\beta_{(s)}$; отношением токов в каждом из проводов к току в проводе, условно принятом за первый, $\delta_{h(s)} = I_{h(s)} / I_{1(s)}$ (число значений $\delta_{h(s)}$ равно числу проводов; для первого провода $\delta_{1(s)} = 1$) и волновыми сопротивлениями каждого из проводов $Z_{Bh(s)}$ (число значений волновых сопротивлений равно числу проводов).

Один из волновых каналов, обозначаемый $s=0$, характерен тем, что ток в проводах линии равен току в земле (земляной канал или канал *все провода — земля*). Коэффициент затухания $\alpha_{(0)}$ этого канала практически определяется потерями в земле с большим удельным сопротивлением и поэтому весьма велик. Фазовая скорость распространения волны в этом канале отличается от скорости распространения волны в линии без потерь $v=300\,000$ км/с на 5—15%.

Остальные волновые каналы, число которых равно $(n-1)$, называются *междуфазными*. Для этих волновых каналов характерно, что в земле проходит сравнительно малая часть тока, а основная часть тока проходит в проводах. Коэффициент затухания этих волновых каналов намного меньше, чем у волнового канала «все провода — земля», а фазовая скорость распространения волны сравнительно мало отличается от скорости распространения волны в линии без потерь.

Междуфазные волновые каналы обозначают индексами (1), (2), ..., $(n-1)$ в порядке возрастания влияния земли на коэффициент затухания. Так, на коэффициент затухания волнового канала, обозначаемого $s=1$, земля оказывает минимальное влияние.

Измерения параметров волновых каналов производят на однородной линии, т. е. на линии без транспозиций, ответвлений и т. п. На всем протяжении линия должна иметь однотипные промежуточные опоры и одну и ту же конструкцию фазы.

Измерение параметров волновых каналов может производиться двумя методами — методом холостого хода и короткого замыкания и методом возбуждения волнового канала.

Измерение по методу холостого хода и короткого замыкания производят при относительно небольшой (10—30 км) длине линии. При этом все параметры волновых каналов определяют по результатам измерений входных сопротивлений ВЛ при различных схемах

подключения к ней на одном из ее концов и при коротком замыкании на землю и затем полной изоляции всех проводов на противоположном конце ВЛ.

Измерения методом возбуждения волнового канала производят при длине линии не менее 40—50 км. Параметры каждого из волновых каналов измеряют, создавая на передающем и приемном концах линии такие условия, при которых в этой линии возбуждаются напряжение и ток только одного, измеряемого волнового канала. При этом методе определяются модули отношений токов $|\delta_{k(s)}|$, модули волновых сопротивлений $|Z_{вк(s)}|$ и коэффициент затухания $\alpha(s)$ каждого из волновых каналов $[s=1, 2, 3, \dots, (n-1)]$. Коэффициент фазы $\beta(s)$ при этом методе измерений не может быть определен. Косвенные данные о $\beta(s)$ обычно получают из результатов измерений затухания ВЧ трактов с различными схемами подключения к линии.

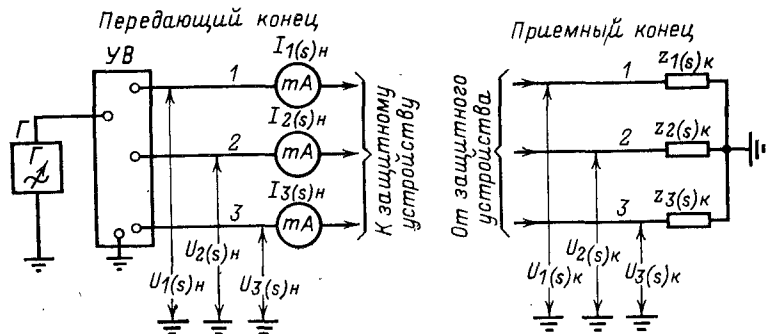


Рис. 8-4. Схема измерений параметров волновых каналов.
УВ — устройство для возбуждения измеряемого волнового канала.

Ниже ввиду сложности математического аппарата, при помощи которого определяются параметры волновых каналов при измерении методом холостого хода и короткого замыкания, рассматривается только метод возбуждения волнового канала.

Измерения параметров волнового канала методом возбуждения волнового канала производят по схеме на рис. 8-4, которая изображена применительно к трехпроводной линии.

Настройку схемы на измеряемый волновой канал производят в следующем порядке.

На приемном конце каждую фазу линии нагружают на резистор сопротивлением, равным расчетному значению волнового сопротивления измеряемого волнового канала. При таких концевых условиях на приемной стороне линии создаются условия безотраженного приема падающей волны в измеряемом канале.

На передающем конце линии с помощью специального устройства УВ, позволяющего подавать напряжения любого значения и полярности относительно земли, на каждой из фаз устанавливают расчетные для измеряемого волнового канала значения напряжений токов. Таким образом, создаются условия для того, чтобы в начале линии вся энергия измерительного генератора передавалась только в волну измеряемого волнового канала.

О точности настройки схемы на измеряемый волновой канал судят по двум признакам.

Первым признаком правильной настройки является одинаковое уменьшение напряжений и токов каждой фазы на приемном конце линии относительно ее передающего конца в $e^{\alpha(s)l}$ раз, где $\alpha(s)$ — коэффициент затухания измеряемого волнового канала. Это условие удобно выразить в виде равенства отношений токов и напряжений в начале и конце линии:

$$\left. \begin{aligned} \frac{U_{2(s)н}}{U_{1(s)н}} &= \frac{U_{2(s)к}}{U_{1(s)к}}; & \frac{U_{3(s)н}}{U_{1(s)н}} &= \frac{U_{3(s)к}}{U_{1(s)к}}; \\ \frac{I_{2(s)н}}{I_{1(s)н}} &= \frac{I_{2(s)к}}{I_{1(s)к}}; & \frac{I_{3(s)н}}{I_{1(s)н}} &= \frac{I_{3(s)к}}{I_{1(s)к}} \end{aligned} \right\} \quad (8-1)$$

где $U_{1(s)н}$, $U_{2(s)н}$, $U_{3(s)н}$, $I_{1(s)н}$, $I_{2(s)н}$ и $I_{3(s)н}$ — напряжения и токи измеряемого s -го волнового канала 1, 2 и 3-й фаз в начале линии. Нумерация фаз должна соответствовать нумерации, принятой в предварительных расчетах параметров волновых каналов линии; $U_{1(s)к}$, $U_{2(s)к}$, $U_{3(s)к}$, $I_{1(s)к}$, $I_{2(s)к}$ и $I_{3(s)к}$ — то же в конце линии.

Вторым признаком правильной настройки является равенство входных сопротивлений фаз на передающем конце линии сопротивлению нагрузки соответствующей фазы приемного конца линии. Соблюдение этого условия в первом приближении говорит об отсутствии отраженных от приемного конца волн, т. е. о действительном соответствии нагрузочных сопротивлений на приемном конце линии волновым сопротивлениям измеряемого волнового канала. Условие выполнения второго признака записывается в виде

$$\left. \begin{aligned} \frac{U_{1(s)н}}{I_{1(s)н}} &= \frac{U_{1(s)к}}{I_{1(s)к}} = Z_{вх1}(s) = Z_{н1}(s) = Z_{в1}(s); \\ \frac{U_{2(s)н}}{I_{2(s)н}} &= \frac{U_{2(s)к}}{I_{2(s)к}} = Z_{вх2}(s) = Z_{н2}(s) = Z_{в2}(s); \\ \frac{U_{3(s)н}}{I_{3(s)н}} &= \frac{U_{3(s)к}}{I_{3(s)к}} = Z_{вх3}(s) = Z_{н3}(s) = Z_{в3}(s) \end{aligned} \right\} \quad (8-2)$$

где $Z_{вх1}(s)$, $Z_{вх2}(s)$ и $Z_{вх3}(s)$ — сопротивления нагрузки соответственно 1, 2 и 3-й фазам на приемном конце линии.

Несоблюдение равенств (8-1) и (8-2) говорит о неточной настройке схемы на измеряемый волновой канал. Поэтому, если эти равенства не соблюдаются, поочередным изменением установленных соотношений токов и напряжений фаз в начале линии и значений нагрузочных сопротивлений в конце линии добиваются их соблюдения.

Подстройку схемы на волновой канал делают, если это оказывается необходимым, после перехода к каждой новой частоте, на которой производят измерение.

После настройки схемы на волновой канал производят измерение всех указанных на рис. 8-4 токов и напряжений на передающем и приемном концах линии.

По результатам измерений для данного волнового канала вычисляются:

а) модуль входного сопротивления каждой фазы относительно земли $z_{\text{вх}k}(s)$, который принимается равным волновому сопротивлению данной фазы:

$$z_{\text{вх}k}(s) = z_{\text{вк}}(s) = \frac{U_k(s)_H}{I_k(s)_H} \quad (k = 1, 2, 3); \quad (8-3)$$

б) модули отношения токов каждой фазы к току в первой фазе

$$\delta_k(s) = \frac{I_k(s)_H}{I_1(s)_H} \quad (k = 1, 2, 3); \quad (8-3a)$$

в) коэффициент затухания измеряемого волнового канала, который при оговоренных выше условиях примерно равен затуханию передачи линии, деленному на ее длину:

$$\alpha(s) \approx \frac{10}{l} \lg \frac{P_{\text{пер}}}{P_{\text{пр}}} = \frac{10}{l} \lg \frac{\sum_{k=1}^3 U_{k(s)_H}^2 / k_{\text{вк}}^2(s)_H}{\sum_{k=1}^3 U_{k(s)_H}^2 / z_{\text{вк}}^2(s)_H}. \quad (8-36)$$

Измерение параметров волнового канала все провода — земля и междупазных каналов с повышенным влиянием земли на их параметры производят только в области частот, при которых затухание передачи не превышает 40 дБ. Результаты измерений в области частот, при которых затухание передачи превышает 40 дБ, получаются недостоверными, так как в этом случае выделить измеряемый волновой канал на приемном конце линии практически не удается. Объясняется это тем, что в результате не совсем точной настройки схемы на измеряемый волновой канал на передающем конце линии, а также имеющейся незначительной случайной неоднородности в линии возникает ток в волновом канале (1) с минимальными потерями в земле. Из-за значительной разницы в значениях коэффициента затухания волнового канала (1) и измеряемого волнового канала случайно возбуждающийся в линии ток волнового канала (1) на приемном конце линии оказывается соизмеримым

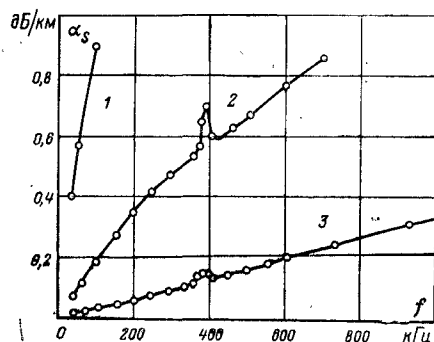


Рис. 8-5. Результаты измерений коэффициента затухания волновых каналов трехпроводной ВЛ 750 кВ.
1 — канал (0); 2 — канал (2); 3 — канал (1).

с током измеряемого волнового канала. Выделить в этих условиях на приемном конце линии измеряемый канал невозможно.

При измерении параметров междупазных волновых каналов более тщательно обследуют области вблизи частот, для которых средняя длина пролета между опорами линии равна половине и полной длине волны (вблизи частот 400 и 800 кГц при среднем расстоянии между опорами около 375 м). В этих областях частот параметры волновых каналов резко изменяются из-за влияния на эти параметры провисания проводов в пролетах между опорами и емкости проводов на опору.

Для примера на рис. 8-5 приведены полученные при измерении частотные зависимости коэффициента затухания волновых каналов трехпроводной линии электропередачи 750 кВ с горизонтальным расположением проводов, а на рис. 8-6 — частотная зависимость волнового сопротивления канала (2) фазы — фазы крайней этой же линии. Из рис. 8-5 видно, что максимальное измеренное значение коэффициента затухания волновых каналов (0) и (2) равно 90 дБ/100 км, что соответствует затуханию передачи $\alpha(s)l \approx 40$ дБ (длина измеряемой линии равна примерно 44 км). Большую величину затухания волнового канала (0) и (2) измерить было невозможно.

На рис. 8-5 и 8-6 хорошо видно резонансное изменение коэффициентов затухания волновых каналов (1) и (2) и волнового сопротивления канала (2) в области частот около 370 кГц, соответствующей средней длине пролета между опорами, равной 405 м.

При измерении параметров волновых каналов, помимо обычно применяемых стандартных приборов: магазинов сопротивлений, генераторов, ламповых вольтметров, ВЧ миллиамперметров и изби-

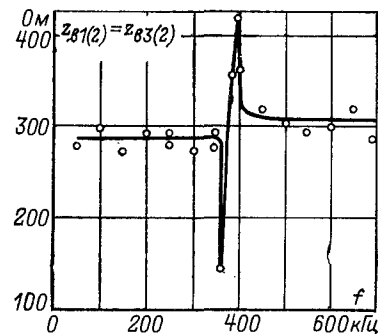


Рис. 8-6. Результаты измерений волнового сопротивления канала (2) трехпроводной ВЛ 750 кВ.

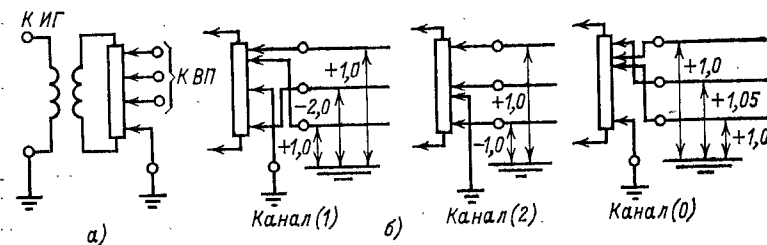


Рис. 8-7. Схема устройства для возбуждения в начале линии измеряемого волнового канала.

а — принципиальная схема; б — примеры установки подвижных контактов потенциометра при измерении.

рательных указателей уровня — применяют специальное устройство, позволяющее создавать на передающем конце условия возбуждения в линии измеряемого волнового канала. Возможная принципиальная схема этого устройства приведена на рис. 8-7,а.

Основным элементом схемы на рис. 8-7,а является безреактивный ВЧ потенциометр с несколькими подвижными контактами, которые могут устанавливаться относительно друг друга в любое положение. К этим подвижным контактам подключаются провода линии. Подавая на один из подвижных контактов потенциометра землю, с помощью других можно устанавливать на проводах линии любое соотношение напряжений как по значению, так и по полярности относительно земли. Для уменьшения погрешности в установке фазового угла между напряжениями и токами проводов сопротивление потенциометра должно быть на порядок меньше волнового сопротивления проводов линии.

На рис. 8-7,б показано примерное расположение подвижных контактов потенциометра при измерении параметров различных волновых каналов трехпроводной линии с горизонтальным расположением проводов.

8-4. Измерение параметров, характеризующих высокочастотные тракты при различных схемах подключения к линии

Измерения параметров, характеризующих ВЧ тракты при тех или иных схемах подключения к линии, производят, как правило, при проверке каких-либо новых схем присоединения к линейным проводам или грозозащитным тросам, а также при определении влияния на параметры ВЧ тракта таких неоднородностей, как ответвление, кабельная вставка, транспозиция линейных проводов и тросов. Результаты этих измерений могут быть использованы также для косвенного определения коэффициентов фазы волновых каналов.

Параметры тракта с присоединением к линии по схеме фаза — земля (или трос — земля) измеряют по схеме, изображенной на рис. 8-8. Измерения производят для различных комбинаций использования рабочих проводов на передающем и приемном концах линии, причем в ряде случаев представляют интерес измерения, когда рабочие провода на передающем и приемном концах линии разные¹.

Основной объем измерений производят для схемы, когда все провода линии на приемном конце и нерабочие провода на передающем конце соединены с землей через нагрузочные резисторы сопротивлением, равным характеристическому сопротивлению линии при схеме присоединения фаза — земля (примерные значения характеристических сопротивлений линий приведены в § 6-2).

При такой схеме измерений отражения от концов линии волны практически отсутствуют, что позволяет оценить параметры тракта без влияния многократно отраженных от концов линии волн.

¹ Термин «рабочий провод» используется для обозначения провода, к которому подключаются измерительный генератор на передающем конце и нагрузочное сопротивление на приемном конце. Остальные провода называются нерабочими.

Если измеряют линию с ответвлением, то для определения влияния ответвления на параметры ВЧ тракта измерения производят при всех эксплуатационно-возможных режимах нагрузки проводов в конце ответвления: провода изолированы, заземлены, соединены с землей через полные сопротивления, равные входному сопротивлению подстанции. Кроме того, при необходимости исследования влияния ВЧ обработки ответвления на затухание, вносимое ответвлением, измерения производят также при включенных и выключенных элементах ВЧ обработки или имитирующих их резисторов.

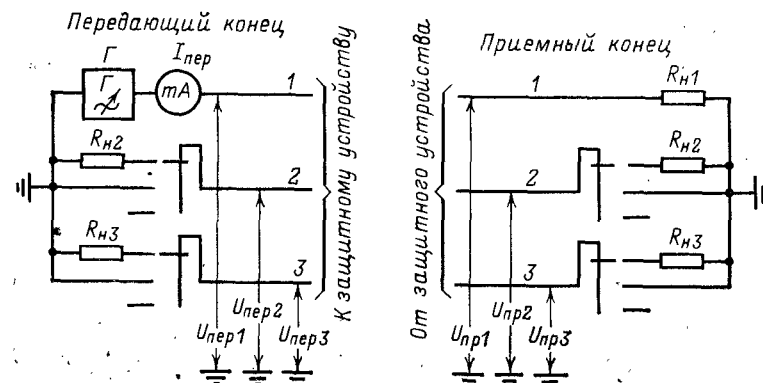


Рис. 8-8. Схема измерений параметров тракта при схеме присоединения фаза — земля.

Измерению подлежат напряжения на всех проводах линии на передающем и приемном концах линии. По данным измерений определяют затухание передачи $a_{пер}$ линейного тракта, входное сопротивление тракта $Z_{вх}$ и переходное затухание на ближнем и дальнем концах линий $A_{л.б}$ и $A_{л.д}$.

Эти параметры определяют по формулам:

$$\left. \begin{aligned} a_{пер} &= 10 \lg \frac{U_{пер1} I_{пер1}}{U_{пр1}^2} R_{н1}; Z_{вх} = \frac{U_{пер1}}{I_{пер1}}; \\ A_{л.б 1-2} &= 20 \lg \frac{U_{пер1}}{U_{пер2}}; A_{л.б 1-3} = 20 \lg \frac{U_{пер1}}{U_{пер3}}; \\ A_{л.д 1-2} &= 20 \lg \frac{U_{пр1}}{U_{пр2}}; A_{л.д 1-3} = 20 \lg \frac{U_{пр1}}{U_{пр3}}. \end{aligned} \right\} \quad (8-4)$$

Формулы (8-4) написаны для схемы измерений, показанной на рис. 8-8, с учетом принятых там обозначений токов и напряжений.

Затухание передачи тракта и переходные затухания на дальнем конце линии, определенные при примерно согласованном режиме концов линии, изменяются в зависимости от частоты сравнительно монотонно без резких скачков в узкой полосе частот.

Параметры тракта, определенные при примерно согласованном режиме концов линии, используют для получения эмпирических или

проверки теоретически полученных формул расчета затухания линии; затухания, вносимого ответвлениями и другими видами неоднородности линейного тракта без учета многократно отраженных от концов линии волн; определения характеристического сопротивления линии для данной схемы присоединения; определения по значениям переходных затуханий возможных влияний между каналами, работающими по разным проводам одной и той же линии; анализа волновых процессов, происходящих в линии или передаче ВЧ сигнала.

Одним из примеров использования результатов измерения для анализа волновых процессов, происходящих в линии, является косвенное определение правильности расчета коэффициента фазы волновых каналов. Наибольшую информацию для определения коэффициента фазы дают частотные характеристики линейного затухания и переходного затухания на дальнем конце нетранспонированной линии, определенные для неоптимальных схем присоединения.

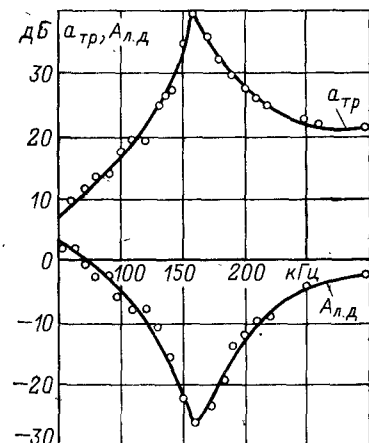


Рис. 8-9. Результаты измерений затухания тракта и переходного затухания линии на дальнем конце при присоединении передатчика и приемника по схеме крайняя фаза — земля к линии 330 кВ длиной 103 км с горизонтальным расположением проводов.

дальнем конце линии. Обе эти характеристики приведены для примера на рис. 8-9. Затухание линейного тракта и переходное затухание линии на дальнем конце вблизи резонансной частоты в значительной степени обуславливаются разностью $\beta_{(2)} - \beta_{(1)}$ коэффициентов фазы волновых каналов, которые участвуют в передаче энергии сигнала. При этом резонансная частота соответствует сдвигу фаз токов этих волновых каналов на приемном конце линии примерно на 180° , т. е. для этой частоты справедливо соотношение

$$(\beta_{(2)} - \beta_{(1)})l \approx \pi. \quad (8-5)$$

Используя соотношение (8-5) и характер частотной зависимости затухания линейного тракта и переходного затухания линии на даль-

нем конце нетранспонированной линии, определенные для неоптимальных схем присоединения.

Напомним, что неоптимальными схемами присоединения к нетранспонированной линии называются такие схемы, при которых в начале линии возбуждаются соизмеримые токи в двух и более междофазных каналах, которые участвуют в передаче энергии сигнала от передатчика к приемнику. Для трехпроводных линий такими являются схемы присоединения крайняя фаза — земля к линии с горизонтальным расположением проводов и нижняя фаза — земля к линии с треугольным расположением проводов. В гл. 7 при анализе частотной характеристики затухания тракта при таких схемах присоединения отмечалось, что эта характеристика имеет вид резонансной кривой с достаточно резко выраженным максимумом затухания на некоторой резонансной частоте. Такой же резонансный характер имеет частотная характеристика переходного затухания на

нем конце, можно оценить правильность теоретического расчета разности коэффициентов фазы $\beta_{(2)} - \beta_{(1)}$, а следовательно, и самих коэффициентов.

Для определения влияния сопротивления нагрузки нерабочих проводов по концам линии измерение параметров тракта производят также при крайних значениях этих сопротивлений, т. е. при изолированных и заземленных нерабочих проводах. Значение сопротивлений, через которые нерабочие провода соединяются с землей, оказывает влияние на распределение энергии передатчика между волновыми каналами и коэффициенты отражения от концов линии, т. е. на затухание линии.

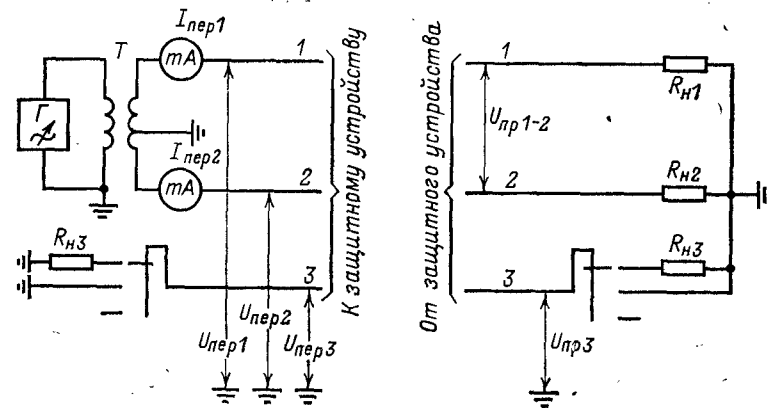


Рис. 8-10. Схема измерений параметров тракта при присоединении к линии по схеме провод — провод.

Параметры тракта с присоединением по схеме фаза — фаза (или трос — трос) измеряют для различных комбинаций использования рабочих проводов на передающем и приемном концах линии. Измерения обычно производят по схеме на рис. 8-10.

Так же, как при измерении параметров ВЧ тракта с присоединением к линии по схеме фаза — земля, основной объем измерений при схеме присоединения фаза — фаза производят для примерно согласованного режима нагрузки по концам линии. При этом для схемы рис. 8-10 сопротивления нагрузки всех проводов на приемном конце и нерабочего провода на передающем конце линии принимают равными среднеарифметическому значению волновых сопротивлений междофазных каналов. Для трехпроводной линии эти сопротивления принимаются равными 400, 300 и 270 Ом соответственно для нерасщепленных фаз и при расщеплении фаз на два и на три провода. У трансформатора T заземляется средняя точка линейной обмотки.

Если измеряют линию с ответвлением, то измерения параметров линейного тракта производят с учетом всех положений, приведенных при описании измерений параметров ВЧ тракта, при присоединении по схеме фаза — земля.

Измерению подлежат все величины, указанные на рис. 8-10. Измерение напряжения приема производят вольтметром или избирательным указателем уровня с симметричным входом.

По данным измерений определяют затухание передачи линейного тракта, входное сопротивление тракта и переходное затухание на ближнем и дальнем концах линии:

$$\left. \begin{aligned} a_{\text{пер}} &= 10 \lg \frac{P_{\text{пер}}}{P_{\text{пр}}}; \quad Z_{\text{вх}} = \frac{U_{\text{пер}}}{I_{\text{пер}}}; \\ A_{\text{л.б. 1, 2-3}} &= 10 \lg \frac{P_{\text{пер}}}{U_{\text{перз}}^2 R_{\text{нз}}}; \\ A_{\text{л.д. 1, 2-3}} &= 10 \lg \frac{P_{\text{пр}}}{U_{\text{прз}}^2 R_{\text{нз}}}. \end{aligned} \right\} \quad (8-6)$$

где $P_{\text{пер}}$ — мощность, отдаваемая генератором в линию; $P_{\text{пр}}$ — мощность, выделяемая в сопротивлении нагрузки на приемном конце линии; $U_{\text{перз}}$, $U_{\text{прз}}$ — напряжения на сопротивлении нагрузки нерабочей (3-й фазы на рис. 8-10) фазы на передающем и приемном концах линии соответственно.

Мощности в начале линии и в ее конце определяют по формулам:

$$\left. \begin{aligned} P_{\text{пер}} &= U_{\text{пер1}} I_{\text{пер1}} + U_{\text{пер2}} I_{\text{пер2}}; \\ P_{\text{пр}} &= \frac{U_{\text{пр1-2}}^2}{R_{\text{н1}} + R_{\text{н2}}}. \end{aligned} \right\} \quad (8-7)$$

Входное сопротивление тракта определяют в отдельности для каждой рабочей фазы относительно земли.

Кроме измерения при примерно согласованном режиме по концам линии, параметры линейного тракта для схемы присоединения фаза — фаза дополнительно измеряют при изолированной и заземленной нерабочей фазе.

По результатам этих измерений определяют только затухание передачи и входное сопротивление тракта. Как правило, изменение сопротивления нагрузки нерабочей фазы мало влияет на параметры ВЧ тракта, организованного по схеме фаза — фаза. Поэтому измерения параметров линейного тракта при изолированной и заземленной нерабочей фазе обычно проводят в уменьшенном объеме лишь в трех — пяти точках частотного диапазона.

8-5. Измерение влияния повреждений линии на затухание высокочастотного тракта

Влияние повреждений линии на параметры линейного тракта оценивается обычно дополнительным затуханием, которое вносится в линейный тракт этими повреждениями.

Определение дополнительного затухания, вносимого в линейный тракт обрывами проводов, а также замыканиями между проводами и заземлением проводов, производится для оценки возможности организации каналов связи, по которым сигналы должны передаваться даже при повреждении линии.

Измерения дополнительного затухания, вносимого в тракт повреждениями линии, совмещают с измерениями параметров ВЧ трактов, описанными в § 8-4. При этом каждая из схем присоединения оценивается параметрами неповрежденной линии и по возмож-

ному изменению этих параметров (в особенности затухания линейного тракта) при повреждении линии.

Измерение параметров тракта по поврежденной линии производят по схемам, используемым при измерении параметров трактов по неповрежденной линии при примерно согласованном режиме концов линии. Дополнительное затухание, обусловленное повреждениями, определяется по формуле

$$\Delta a = a'_{\text{пер}} - a_{\text{пер}}, \quad (8-8)$$

где $a'_{\text{пер}}$ — затухание передачи для измеряемой схемы присоединения при поврежденной линии; $a_{\text{пер}}$ — то же при неповрежденной линии.

Измерения обычно производят при следующих видах повреждений линии:

а) однофазные, двухфазные и трехфазные заземления;

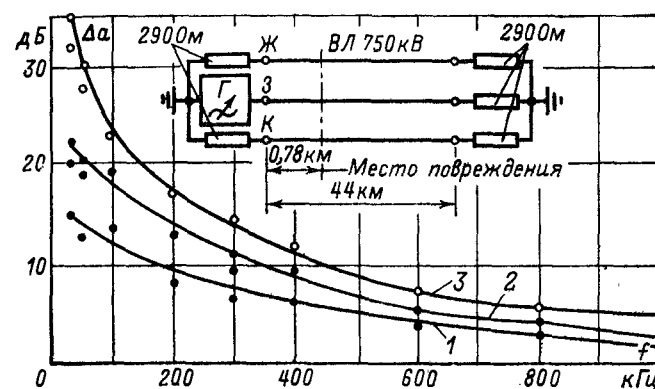


Рис. 8-11. Результаты измерений дополнительного затухания, вносимого в тракт замыканиями в начале линии.

1 — к.з. фазы З; 2 — к.з. фаз Ж и З; 3 — трехфазное к.з.

б) обрыв одной и двух фаз или одного и двух проводящих тросов с одновременным заземлением оборванных фаз или тросов.

Заземления проводов осуществляют с помощью переносных заземлителей, соединяя провод на одной из промежуточных или анкерных опор по кратчайшему пути с траверсой. Обрывы проводов осуществляют на анкерных опорах.

Измерение параметров ВЧ тракта производят при повреждении вблизи приемного конца линии и примерно в средней части линии.

Дополнительное затухание, вызванное заземлением проводов линии, и частотная характеристика этого затухания зависят от длины и диаметра заземляющего провода, места расположения заземления на длине линии, от того, какие провода линии повреждены, от конструктивных особенностей линии (расположение проводов, наличие транспозиции) и от длины линии.

Максимальное дополнительное затухание вносится обычно заземлением рабочего провода в непосредственной близости к одному из концов линии и трехфазными замыканиями в любой части линии. Дополнительное затухание, вносимое такими замыканиями, падает с увеличением частоты в основном из-за увеличения индуктивного сопротивления провода, которым осуществляется замыкание. Примерный вид частотной характеристики дополнительного затухания при этих видах повреждений линии приведен на рис. 8-11.

Зависимость дополнительного затухания, вносимого замыканиями проводов в середине линии, от частоты более сложная, чем при тех же видах замыканий вблизи одного из концов линии. Примерный вид частотных характеристик дополнительного затухания, вносимого замыканиями в середине линии, приведен на рис. 8-12.

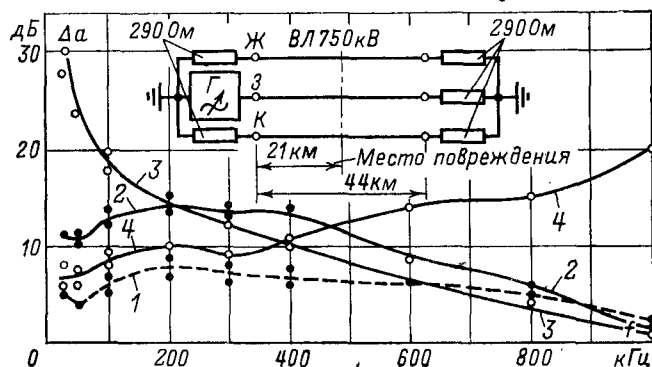


Рис. 8-12. Результаты измерений дополнительного затухания, вносимого в тракт повреждениями в середине линии.

1 — к.з. фазы З; 2 — к.з. фаз Ж и З; 3 — трехфазное к.з.; 4 — обрыв фазы З с односторонним ее заземлением.

Дополнительное затухание, вносимое обрывами проводов линии, мало зависит от частоты и сравнительно велико. На рис. 8-12 приведен примерный вид частотной характеристики дополнительного затухания, вносимого обрывом рабочей фазы (кривая 4).

В материалах измерений дополнительного затухания, вносимого повреждением проводов линии, кроме обычно приводимых при измерении линии данных, должны быть указаны длина, диаметр и материал провода, которым осуществлялись заземления; примерный эскиз практического осуществления замыканий и обрывов проводов; расстояние от места повреждения до концов линии.

Часть третья

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ АППАРАТУРЫ УПЛОТНЕНИЯ И ВЧ КАНАЛОВ

Глава девятая

ИЗМЕРЕНИЕ УЗЛОВ АППАРАТУРЫ

9-1. Измерение фильтров аппаратуры

В процессе наладки и эксплуатации ВЧ каналов приходится выполнять большой объем специальных измерений для проверки соответствия нормам электрических параметров аппаратуры уплотнения и каналов. В основе этих работ лежат схемы и методы измерений, разобранные в первой части книги.

Измерения аппаратуры уплотнения подразделяются на два вида: измерения узлов и измерения общих параметров и характеристик аппаратуры.

Измерение основных характеристик узлов аппаратуры уплотнения выполняется при наладке и восстановлении этих узлов, а также в процессе эксплуатационного контроля за состоянием оборудования.

В общем случае исследование параметров фильтров включает измерение рабочего и характеристического затухания, входного и характеристического сопротивления, затухания нелинейности, коэффициента отражения или затухания несогласованности, фазового сдвига.

В условиях наладки и эксплуатации аппаратуры чаще всего осуществляются измерения рабочего затухания и входного сопротивления фильтров.

Затухание несогласованности измеряется в тех случаях, когда фильтр, проверенный вне схемы аппаратуры уплотнения и включенный в реальную схему, вносит добавочную неравномерность частотной характеристики затухания.

Измерение частотной характеристики рабочего затухания фильтра выполняется по схемам, приведенным на

рис. 4-5 или 4-7, и методике, описанной в § 4-3. Для измерения рабочего затухания неуравновешенных фильтров наибольшее распространение получила схема, приведенная на рис. 4-5, однако точность измерения по этой схеме, особенно в полосе частот непропускания, ниже точности, которую обеспечивает схема на рис. 4-7. Источником погрешности измерения в основном является вольтметр, который приходится переключать на различные пределы при измерении напряжений сигнала на входе и выходе фильтра.

Низкочастотные фильтры телефонного канала (типов Д-1,8; Д-2,4; Д-3,4) измеряются в полосе частот пропускания при частотном интервале 200—300 Гц. В полосе частот непропускания интервал может быть расширен до 500—1000 Гц при обязательном измерении затухания на частотах параллельно работающих передатчиков или постоянных селективных помех. Так, например, фильтр типа Д-1,8, установленный в тракте передачи аппаратуры КМК-64, должен добавочно измеряться на частотах 2150 ± 50 и 2500 ± 50 Гц, так как на этих частотах работают передатчики каналов телемеханики, выходы которых включены параллельно этому фильтру.

Узкополосные фильтры каналов телемеханики и вызова в полосе частот пропускания, ограниченной неравномерностью затухания 6 дБ, измеряются с частотным интервалом 10—15 Гц при полосе пропускания фильтров до 180 Гц и с интервалом 20—25 Гц при полосе пропускания фильтров от 240 до 480 Гц. В обязательном порядке выполняется измерение на средней частоте полосы пропускания фильтра. В полосе частот непропускания частотный интервал может быть увеличен до 50—100 Гц. Измерения фильтров канала тонального вызова производятся в полосе частот телефонного канала. При измерении фильтров каналов телемеханики, работающих в надтональном спектре частот телефонного канала, нижней границей частотной характеристики выбирается частота 800 Гц, а верхней границей — средняя частота последнего по спектру канала телемеханики, работающего параллельно исследуемому каналу.

Если исследуемый фильтр не имеет падающей характеристики затухания в полосе частот непропускания, диапазон частот измерений может быть сокращен до граничных частот, при которых избирательность фильтра равна или выше 60 дБ.

Узкополосные фильтры выделения контрольных частот f_k в полосе пропускания измеряются с частотным интервалом 10—25 Гц при обязательном измерении затухания на средней расчетной частоте. При измерении затухания в полосе непропускания контрольными точками являются частоты $f_k = \pm (300, 500, 800, 1500)$ Гц.

Полосовые фильтры первой ступени преобразования частот в тракте передачи и полосовые фильтры, расположенные на входе демодулятора последней ступени преобразования частот в тракте приема аппаратуры уплотнения, в полосе непропускания, соответствующей подавляемой боковой полосе, измеряются с частотным интервалом 200—300 Гц. В остальной полосе частот непропускания интервал измерения может быть расширен до 400—500 Гц. Обычно границы частотных характеристик этих фильтров определяются частотами, отстоящими на 4 кГц от граничных частот полосы пропускания. В обязательном порядке выполняются измерения на несущей частоте преобразователя f_n и на частотах $f_n = \pm (300, 800)$ Гц.

Измерения высокочастотных полосовых фильтров приема и передачи в полосе частот пропускания выполняются с интервалом 250—300 Гц. Затухание вне полосы пропускания измеряется при частотном интервале 500—2000 Гц, причем с интервалом 500 Гц производятся измерения в полосе частот зеркального канала и в полосе, расположенной в пределах 4 кГц от граничных частот полосы пропускания фильтра. Границами измерения частотных характеристик обычно являются частоты, удаленные от границы полосы пропускания на 12—16 кГц. В обязательном порядке выполняются измерения на частотах, при которых затухание приобретает экстремальные значения.

В эксплуатационных условиях измерение входных сопротивлений фильтра выполняется с целью проверки исправности фильтра в случае обнаружения неравномерности частотной характеристики рабочего затухания. Измеряется модуль входного сопротивления. Полное входное сопротивление измеряется при разработке новых или после модернизации старых фильтров. Измерение частотной характеристики входного сопротивления выполняется в соответствии с рекомендациями § 4-2 с использованием схем измерения, приведенных на рис. 4-3 и 4-4. Частотные характеристики входного сопротив-

ления фильтров измеряются в том же диапазоне частот и с теми же частотными интервалами между соседними точками, как и частотные характеристики рабочего затухания.

При выполнении измерений затухания фильтров в полосе частот непропускания особое внимание должно быть уделено качеству измерительного генератора. Если он выдает сигнал, содержащий гармонические составляющие, то при измерении качественного фильтра, имею-

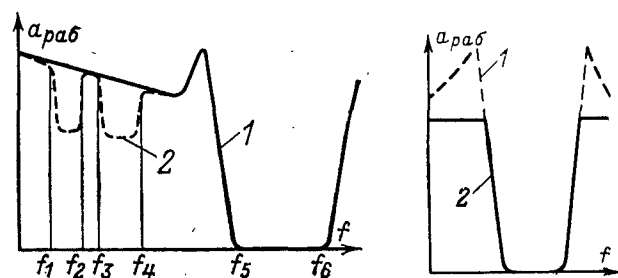


Рис. 9-1. Частотная характеристика затухания фильтра. 1 — реальная; 2 — измеренная.

Рис. 9-2. Частотная характеристика затухания фильтра. 1 — расчетная; 2 — измеренная.

щего частотную характеристику 1, на рис. 9-1, может быть получена характеристика 2. Снижение затухания в полосе частот f_1-f_2 и f_3-f_4 обусловлено не плохим качеством фильтра, а наличием в измерительном сигнале 2-й и 3-й гармоник. В нашем случае $f_5=3f_1=2f_2$; $f_6=3f_2=2f_4$, поэтому при измерении в полосе частот f_1-f_2 и f_3-f_4 сигналы 3-й и 2-й гармоник основного сигнала располагаются в полосе частот пропускания фильтра (f_5-f_6) и поступают на нагрузку фильтра практически не ослабленными, в результате чего создают ложный эффект снижения затухания фильтра. Для измерения фильтров необходимо тщательно готовить рабочее место, а собранная схема измерения должна обладать большим переходным затуханием. На рис. 9-2 приведена частотная характеристика затухания фильтра, соответствующая расчетной величине (кривая 1). Измерением получена характеристика 2, обусловленная тем, что схема измерения имела недостаточно высокое переходное затухание от измерительного генератора к нагрузке фильтра.

В практике наладки фильтров часто возникает необходимость измерения индуктивности и емкости, а также их добротности. На рис. 9-3 приведены схемы измерения индуктивности и емкости резонансным методом. При измерении индуктивности L сигнал нужной частоты f_1 берется с Γ , и с помощью калиброванного (эталонного) переменного конденсатора C_0 производится настройка контура $L_x C_0$ на частоту f_1 . Момент настройки контура определяется по минимуму показания вольтметра U_1 ,

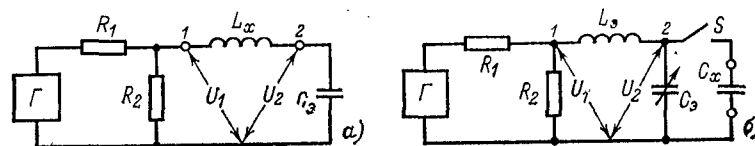


Рис. 9-3. Измерение индуктивности (а) и емкости (б).

подключенного к точке 1 схемы измерения. Индуктивность, Γ , определяется по формуле

$$L_x = 1 / (2\pi f)^2 C_0. \quad (9-1)$$

Добротность исследуемой катушки индуктивности определяется по формуле

$$Q_L = \frac{U_2}{U_1}, \quad (9-2)$$

а ее активное сопротивление, Ом, по формуле

$$R_n = \frac{6,28 f_1 L_x}{Q_1}. \quad (9-3)$$

Для измерения емкости C_x , кроме эталонного конденсатора C_0 , необходимо иметь еще эталонную индуктивность L_0 .

При разомкнутом ключе S схемы измерения на рис. 9-3,б с помощью эталонного конденсатора контур $L_0 C_0$ настраивается на частоту сигнала Γ , после чего фиксируется значение эталонной емкости C_0 , и определяется добротность Q_1 согласно формуле (9-3). Подключив с помощью ключа S параллельно эталонному конденсатору исследуемую емкость C_x , изменяя величину емкости эталонного конденсатора, схему вновь настраивают в резонанс и фиксируют новое значение емкости эталонного конденсатора C_{01} и новую величину добротности Q_2 .

Емкость измеряемого конденсатора и его добротность определяются из выражений

$$\left. \begin{aligned} C_x &= C_3 - C_{31}; \\ Q_x &= \frac{Q_1 Q_2 (C_3 - C_{31})}{(Q_1 - Q_2) C_3} \end{aligned} \right\} \quad (9-4)$$

Рассмотренные схемы измерения положены в основу специальных измерительных приборов — куметров. В схемах на рис. 9-3 сопротивление резистора R_1 выбирается равным внутреннему сопротивлению G , сопротивление резистора R_2 берется равным 1—5 Ом. Точность измерения резонансным методом зависит не только от качества эталонной катушки L_3 и эталонного конденсатора C_3 , но и от точности установки частоты сигнала f и отсутствия в сигнале высших гармонических составляющих, в значительной мере затрудняющих определение момента резонанса.

Индуктивность катушки и емкость конденсатора часто измеряют с помощью мостов переменного тока.

9-2. Измерение усилителей

Проверка усилительных узлов аппаратуры осуществляется измерением амплитудных и частотных характеристик в соответствии с рекомендациями, изложенными в § 4-4.

Собственные помехи усилителя определяются измерением уровня сигнала на выходе усилителя при закороченных входных зажимах. Измерения нелинейности усилителей выполняются согласно рекомендациям § 4-6. Измерение затухания нелинейности методом двух частот выполняется при исследовании групповых усилителей. Проверка нелинейности усилителей индивидуальных трактов осуществляется измерением затухания нелинейности или коэффициента нелинейных искажений при подаче на вход усилителя одночастотного сигнала. При испытании выходных усилителей мощности, как правило, измеряется амплитудная характеристика затухания нелинейности. При полных исследованиях усилителя, кроме перечисленных измерений, выполняется также измерение стабильности усиления при колебании питающего напряжения и изменении температуры окружающей среды. При определении стабильности усиления на вход усилителя подается сигнал измерительного генератора

уровнем, равным нормальному уровню рабочего сигнала и частоты, соответствующей средней частоте рабочего диапазона. Измеряют электронным вольтметром напряжение сигнала U_1 на выходе усилителя (на рабочей нагрузке). Изменив питающее напряжение усилителя (обычно на $\pm 10\%$), вновь измеряют напряжение сигнала U_2 на выходе усилителя и вычисляют стабильность усиления, дБ, по формуле

$$s_n = 20 \lg \frac{U_2}{U_1}. \quad (9-5)$$

Подобным же образом измеряют стабильность усиления при замене электронных ламп (транзисторов) или при изменении температуры окружающей среды.

Выходные усилители мощности характеризуются значением постоянства выходного напряжения. Для определения этой величины измеряют напряжение сигнала U_1 на выходе усилителя при наличии нормальной нагрузки, а затем — напряжение $U_{x,x}$ в этой же точке при отключенной нагрузке. Значение постоянства выходного напряжения, дБ, определяется по формуле

$$H_n = 20 \lg \frac{U_{x,x}}{U_1}. \quad (9-6)$$

9-3. Измерение генераторов и преобразователей частоты

В аппаратуре уплотнения применяются генераторы различного назначения, качество любого из них определяется стабильностью генерируемой частоты и выходного напряжения сигнала и коэффициентом гармоник этого сигнала.

Измерение частоты генератора выполняется в соответствии с рекомендациями § 3-2, причем точность измерения должна быть не хуже ± 1 Гц для генераторов несущих частот, ± 2 Гц — для генераторов каналов телемеханики и вызова, ± 5 Гц — для генераторов служебных сигналов.

Измерительные приборы должны подключаться на выходе генератора (параллельно нагрузке), так как подключение приборов параллельно колебательному контуру или в другие участки схемы может вызвать изменение частоты генератора.

Коэффициент гармоник выходного сигнала вычисляется по формуле (4-78) на основании данных измерения напряжений 1, 2 и 3-й гармоник.

Стабильность частоты определяется отношением максимально возможного отклонения частоты к номинальной частоте генератора:

$$\sigma_f = \frac{\Delta f}{f_r} \quad (9-7)$$

Факторами, изменяющими частоту генератора, являются колебания питающего напряжения, изменение температуры окружающей среды, смена электронных ламп или транзисторов, входящих в схему генератора. При испытании генераторов влияние указанных факторов учитывается соответственно стабильностью в отношении колебания питающего напряжения σ_n , температурной стабильностью σ_t и стабильностью в отношении смены электронных ламп (транзисторов) σ_{Π} .

В общем случае стабильность частоты генератора может быть оценена как

$$\sigma = \sqrt{\sigma_n^2 + \sigma_t^2} \quad (9-8)$$

Величину σ_{Π} можно не учитывать, так как в схеме любого генератора должны быть регулировочные элементы, позволяющие восстановить номинальное значение частоты после замены электронной лампы или транзистора.

Стабильность частоты генератора определяется согласно (9-7) и (9-8) по данным измерения частоты в нормальных условиях и частотного отклонения Δf_r при введении соответствующего влияющего фактора (или всех факторов вместе). Норма стабильности частоты для различных генераторов различна. Стабильность частоты генераторов служебных сигналов должна быть не менее $2 \cdot 10^{-2}$. Стабильность генераторов сигналов вызова и телемеханики обычно должна быть не хуже $6 \cdot 10^{-4}$, генераторов сигналов несущих частот аппаратуры, выполненной по системе ДБП, — не хуже $2 \cdot 10^{-4}$. Наиболее высокие требования предъявляются к стабильности генераторов сигналов несущих частот аппаратуры уплотнения, выполненной по системе ОБП. Изменение значения несущей частоты в такой аппаратуре влечет за собой появление частотного сдвига рабочих сигналов, передаваемых по каналам, т. е. появление искажений, ухудшающих качество связи.

Теоретическими и экспериментальными исследованиями установлено, что частотный сдвиг рабочих сигналов не должен превосходить ± 50 Гц для сигналов телефонных каналов, $\pm (5-10)$ Гц для сигналов несущих частот каналов телемеханики, работающих по принципу амплитудной модуляции, и ± 3 Гц для каналов телемеханики с частотной модуляцией.

В тракте каналов, выполненных на аппаратуре системы ОБП, рабочий сигнал претерпевает несколько частотных преобразований. С достаточной для практики точностью частотный сдвиг, обусловленный нестабильностью генераторов сигналов несущих частот одного оконечного или промежуточного полукompлекта аппаратуры уплотнения, может быть определен по формуле

$$\Delta f_r' = \frac{\Delta f_c}{V_n}, \quad (9-9)$$

где n — количество указанных полукompлектов в схеме исследуемого канала; Δf_c — частотное отклонение, допустимое для данного канала.

Если через $f_{\text{н1}}-f_{\text{нк}}$ обозначить значения несущих частот передачи полукompлекта аппаратуры уплотнения одного направления, то стабильность частоты сигналов этих генераторов должна соответствовать условию

$$\sigma_f = \frac{\Delta f_r}{\sum_{i=1}^k f_{\text{н}}} \quad (9-10)$$

Стабильность выходного напряжения и величина постоянства выходного напряжения генератора вычисляются по (9-5) и (9-6) по результатам измерений напряжений выходного сигнала в условиях, аналогичных измерениям усилителей.

Качество преобразователя частоты аппаратуры ОБП определяется рабочим затуханием, амплитудной и частотной характеристиками рабочего затухания и затуханием нелинейности.

Рабочее затухание преобразователя частоты, ДБ, определяется выражением

$$a_{\text{раб}} = 10 \lg \frac{P_f}{P_{f \pm F}}, \quad (9-11)$$

где P_F — мощность, которую источник напряжения преобразуемой частоты F отдал бы на нагрузку, равную его внутреннему сопротивлению; $P_{f \pm F}$ — мощность полезной

боковой полосы частот, выделяющаяся на нагрузке преобразователя при подключении на вход его указанного выше источника напряжения частоты f_n .

На рис. 9-4 приведена схема измерения рабочего затухания кольцевого преобразователя частоты. Методика измерения сводится к следующему. Измеряются напряжение (уровень) и частота сигнала несущей f_n . Напряжение сигнала несущей частоты должно соответствовать паспортным данным с точностью не хуже $\pm 20\%$ ($\pm 1,5$ дБ), а частота — с точностью не хуже ± 2 Гц.

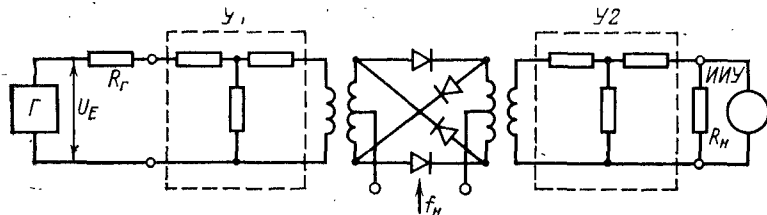


Рис. 9-4. Измерение рабочего затухания кольцевого преобразователя.

Анализатором гармоник измеряется напряжение остатка сигнала несущей частоты на выходе преобразователя и принимаются меры к уменьшению этого напряжения путем балансировки преобразователя.

С измерительного генератора через резистор R_r , сопротивление которого равно внутреннему сопротивлению нужного эквивалентного генератора, на вход преобразователя подается низкочастотный сигнал. Напряжение сигнала на выходе G устанавливается в 2 раза больше, чем напряжение рабочего сигнала на входе преобразователя в реальных условиях работы. Частота F измерительного генератора устанавливается равной средней частоте рабочего спектра частот.

Анализатором гармоник измеряется напряжение частотной составляющей $f_n + F$, если в аппаратуре используется верхняя боковая, или напряжение составляющей $f_n - F$, если используется нижняя боковая полоса частот преобразования. Рабочее затухание преобразователя рассчитывается по формуле

$$a_{\text{раб}} = 20 \lg \frac{U_E}{U_{\text{вых}}} + 10 \lg \frac{R_r}{R_n} - 6 - \Sigma a_y, \quad (9-12)$$

где U_E — напряжение на выходе G ; $U_{\text{вых}}$ — напряжение полезного сигнала на выходе преобразователя; a_y — за-

тухание удлинителей $Y1$ и $Y2$ в схеме преобразователя. При отсутствии анализатора гармоник измерение рабочего затухания преобразователя выполняется с использованием полосового фильтра преобразователя, который всегда имеется в аппаратуре уплотнения. Полосовой фильтр включается в схему измерения на рис. 9-4 между нагрузкой R_n и выходом преобразователя, так что из всего спектра частот преобразования на нагрузку попадает только напряжение полезного сигнала, которое измеряется обычным электронным вольтметром. Рабочее затухание в этом случае вычисляется по формуле

$$a_{\text{раб}} = 20 \lg \frac{U_E}{k U_{\text{вых}}} + 10 \lg \frac{R_r}{z_{\text{ф}}} - 6 - \Sigma a_y, \quad (9-13)$$

где $z_{\text{ф}}$ — входное сопротивление полосового фильтра при нагрузке на R_n ;

k — коэффициент передачи фильтра, представляющий отношение напряжения сигнала частотой $f_n \pm F$ на входе фильтра к напряжению этого же сигнала на выходе фильтра, нагруженном на R_n .

Практически затухание балансного преобразователя лежит в пределах 5—7 дБ.

Амплитудной характеристикой преобразователя частоты называется зависимость его рабочего затухания от напряжения или уровня сигнала на входе преобразователя. Линейной (рабочей) частью характеристики называется участок, в пределах которого неравномерность затухания не превышает 1 дБ. Измерение амплитудной характеристики выполняется подачей на вход преобразователя сигнала, частота которого соответствует средней частоте рабочего диапазона. Измерение уровня входного сигнала выполняют ступенями 5 дБ, начиная с минимального уровня, равного $p_1 - 20$, где p_1 — уровень сигнала, дБ, соответствующий диаграмме уровней при нормальном режиме работы преобразователя.

Частотной характеристикой затухания преобразователя частоты называется зависимость рабочего затухания от частоты сигнала на входе преобразователя. При измерении частотной характеристики уровень сигнала на входе преобразователя поддерживается постоянным и равным уровню рабочего сигнала, а частота сигнала меняется ступенями в пределах рабочей полосы частот.

Измерение затухания нелинейности преобразователя выполняется с учетом рекомендаций § 4-6. При измерении затухания нелинейности по 2-й и 3-й гармоникам с помощью избирательного вольтметра измеряют на выходе преобразователя уровень полезного сигнала $f_n \pm F$ и уровни сигналов нелинейности с частотами $f_n \pm 2F$ и $f_n \pm 3F$. Затухание нелинейности вычисляют по формулам

$$a_{2г} = p_{f \pm F} - p_{f \pm 2F}; \quad (9-14)$$

$$a_{3г} = p_{f \pm F} - p_{f \pm 3F}. \quad (9-15)$$

При измерении затухания нелинейности по комбинационным частотам на вход преобразователя подаются сигналы двух частот F_1 и F_2 с одинаковыми уровнями. На выходе преобразователя в этом случае, кроме полезных сигналов с частотами $f_n \pm F_1$ и $f_n \pm F_2$ с равными амплитудами, будут сигналы комбинационных частот вида $f_n \pm (2F_1 \pm F_2)$ и $f_n \pm (2F_2 \pm F_1)$, обусловленные наличием нелинейности. С помощью избирательного вольтметра измеряются уровень p_c (или напряжение U_c) полезного сигнала и уровень p_k (или напряжение U_k) того сигнала комбинационной частоты, который попадает в спектр рабочих частот либо находится близко от него. Затухание нелинейности по комбинационным частотам вычисляется по формуле

$$a_k = p_c - p_k = 20 \lg \frac{U_c}{U_k}. \quad (9-16)$$

При полном исследовании преобразователя частоты измеряют амплитудную характеристику нелинейности, т. е. зависимость затухания нелинейности от уровня сигнала на входе преобразователя.

В рабочем диапазоне входных уровней групповой преобразователь частоты должен иметь затухание нелинейности не менее 60 дБ. Индивидуальные преобразователи частоты обычно на затухание нелинейности не проверяются.

9-4. Измерение амплитудных ограничителей

В аппаратуре уплотнения применяются амплитудные ограничители максимальных и минимальных амплитуд. Качество ограничителей определяется характером их амплитудных и частотных характеристик. Частотная ха-

рактеристика любого ограничителя должна быть прямолинейна с точностью ± 1 дБ во всем диапазоне рабочих частот. Измерение частотной характеристики затухания (усиления) амплитудного ограничителя выполняется по той же методике, что и измерение частотной характеристики затухания (усиления) четырехполосника. Однако это измерение выполняется при уровне входного сигнала, соответствующем условию работы на прямолинейном участке амплитудной характеристики ограничителя.

Амплитудной характеристикой ограничителя называется зависимость его рабочего затухания (усиления) от уровня (напряжения) сигнала на входе ограничителя, поэтому при выполнении измерений согласно методике, описанный в § 4-3 и 4-4, дополнительно измеряют напряже-

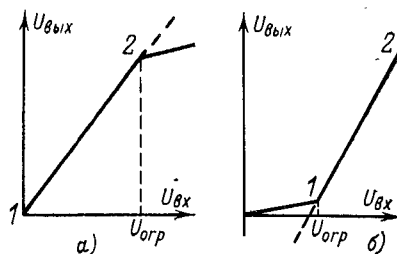


Рис. 9-5. Амплитудные характеристики ограничителей максимальных амплитуд (а) и минимальных амплитуд (б).

ние или уровень сигнала на входе ограничителя. В практике наладки часто амплитудную характеристику определяют как зависимость напряжения сигнала на выходе ограничителя от напряжения сигнала на его входе. Типовые амплитудные характеристики ограничителей максимальных и минимальных амплитуд приведены на рис. 9-5. Характерной точкой амплитудных характеристик является порог ограничения 1, 2. Порогом ограничения называется напряжение $U_{огр}$ сигнала на входе ограничителя, при котором реальная амплитудная характеристика ограничителя отличается от идеальной (показанной на рис. 9-5 пунктиром) на 2 дБ.

Амплитудная характеристика измеряется подачей на вход ограничителя сигнала, частота которого равна средней частоте рабочего спектра, проходящего через ограничитель. Изменение уровня входного сигнала обычно производят ступенями 4—5 дБ в пределах уровней $p_{огр} \pm 20$ дБ, где $p_{огр}$ — порог ограничения ограничителя.

При измерении напряжения или уровня сигнала на выходе ограничителя обычными измерителями возникает погрешность, обусловленная изменением коэффициента формы сигнала при изменении глубины ограничения. Точные измерения получаются при использовании в ка-

честве измерителя напряжения пикового вольтметра или осциллографа.

Во всех случаях измерений необходимо просматривать форму кривой напряжения сигнала на выходе ограничителя с помощью электронного осциллографа.

Частотная характеристика затухания ограничителя измеряется обычным образом в диапазоне рабочих частот при уровне входного сигнала, соответствующем прямолинейному участку амплитудной характеристики. При измерении по осциллографу контролируется форма сигнала на выходе ограничителя. Во всем частотном диапазоне не должно наблюдаться ограничение амплитуды выходного сигнала. Если это условие не выполняется, измерение частотной характеристики должно быть выполнено при другом уровне входного сигнала.

Исправность и качество ограничителя амплитуд определяются сравнением результатов измерений с заводскими шаблонами и нормами данного ограничителя. Сравнению подлежат порог ограничения, крутизна ограничения и частотная характеристика ограничителя. В общем случае предъявляются следующие требования к указанным параметрам. Порог ограничения ограничителя телефонного канала должен соответствовать напряжению (уровню) сигнала на входе ограничителя, которое получается при передаче с абонентского входа канала сигнала 800 Гц с нулевым уровнем. Порог ограничения ограничителя минимальных амплитуд тракта приема телефонного канала обычно устанавливается в пределах $p_1 = -(20 \div 25)$ дБ, где p_1 — уровень сигнала на входе ограничителя при передаче по каналу сигнала номинального уровня. Порог ограничения ограничителя максимальных амплитуд приемника телемеханики с частотной модуляцией выбирается на 12—15 дБ ниже уровня рабочего сигнала, действующего на вход ограничителя, а порог ограничения ограничителя минимальных амплитуд — на 20—25 дБ ниже уровня этого сигнала.

Крутизна ограничения выражается зависимостью

$$\operatorname{tg} \varphi_{\text{огр}} = \Delta a_{\text{раб}}, \quad (9-17)$$

где $\Delta a_{\text{раб}}$ соответствует приращению рабочего затухания (уменьшению рабочего усиления) ограничителя при изменении входного уровня сигнала относительно порога ограничения на 10 дБ в сторону увеличения для ограничителей максимальных амплитуд и в сторону уменьшения для ограничителей минимальных амплитуд.

Чем больше крутизна ограничения, тем лучше отрегулирован ограничитель. Обычно крутизна ограничения равна 5—7 дБ.

Частотная характеристика затухания (усиления) ограничителей должна быть прямолинейной с точностью ± 1 дБ во всем диапазоне рабочих частот.

9-5. Измерение модемов каналов телемеханики

Модем передачи, предназначенный для частотных сигналов телемеханики (телеизмерения), характеризуется уровнем и частотой сигнала несущей и модуляционной характеристикой.

Измерение напряжения выходного сигнала и его частоты выполняется на выходе передатчика при отсутствии модулирующего напряжения на его входе. Частота сигнала обычно измеряется методом сравнения с точностью не хуже ± 1 Гц или цифровым частотомером.

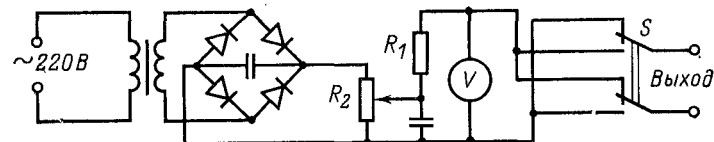


Рис. 9-6. Источник двухполярного напряжения постоянного тока.

Модуляционной характеристикой передатчика называется зависимость частотного отклонения Δf сигнала несущей частоты от напряжения низкочастотного сигнала, воздействующего на вход передатчика.

Для измерения модуляционной характеристики модема передачи канала телемеханики рекомендуется использовать источник двухполярного напряжения постоянного тока, принципиальная схема которого приведена на рис. 9-6. В этом устройстве потенциометр R_2 служит для плавного изменения выходного напряжения постоянного тока, измеренного вольтметром V . Резистор R_1 является эквивалентом входного сопротивления датчика сигналов телемеханики, который должен работать с данным модемом передачи. Переключатель S позволяет изменять полярность выходного напряжения устройства. Измерение модуляционной характеристики модема передачи выполняется в следующей последовательности. Выход источника напряжения подключается к входным зажимам модема передачи канала телемеханики. Выход

модема передачи нагружается на номинальную нагрузку, параллельно которой включается цифровой частотомер. Меняя напряжение на выходе источника в пределах от $\pm 1,5 E_{\text{макс}}$ до $-1,5 E_{\text{макс}}$ ступенями в $(0,1 - 0,25) E_{\text{макс}}$ с обязательной фиксацией значения нулевого напряжения, для каждой точки измерения определяют частоту сигнала на выходе модема передачи. Под $E_{\text{макс}}$ понимают номинальное значение амплитуды модулирующего сигнала датчика

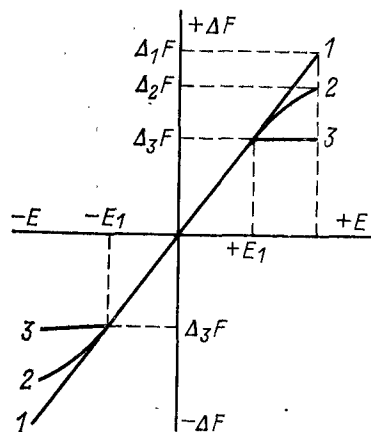


Рис. 9-7. Модуляционная характеристика модема передачи. 1 — идеальная; 2 и 3 — реальные.

телемеханики на входе модема. Девиация для каждой точки измерения определяется по формуле $\Delta f = f_n - f_0$, где f_n — измеренная частота сигнала на выходе модема передачи; f_0 — номинальное значение средней частоты модема передачи. Существует второй вариант измерения модуляционной характеристики, в котором измеряют значение f_0 при нулевом значении модулирующего напряжения, а затем определяют напряжение постоянного тока, при котором частота сигнала на выходе модема принимает значения $f_0 + m\Delta f_1$ и $f_0 - m\Delta f_1$, где m — целое число в пределах $1 - 1,5 \Delta f_n / \Delta f_1$, Δf_n — номинальное значение девиации данного модема, Δf_1 — парциальная девиация, равная 5 Гц для модемов с $\Delta f_n = 10 - 60$ Гц, 10 Гц для модемов с $\Delta f_n = 120 - 150$ и 20 Гц для модемов с $\Delta f_n = 150 - 250$ Гц.

По данным измерения выполняется графическое изображение модуляционной характеристики. На рис. 9-7 представлены идеальная модуляционная характеристика 1 модема передачи и реальная характеристика 2. Рабочим участком модуляционной характеристики называется участок, ограниченный точками с нелинейностью в 1,0 дБ. Нелинейность, дБ, определяется выражением

$$\Delta_{\text{чм}} = 20 \lg \frac{\Delta_1 F}{\Delta_3 F}, \quad (9-18)$$

где $\Delta_1 F$ — частотное отклонение (девиация), соответствующее для данного модулирующего напряжения при идеальной модуляционной характеристике 1, а $\Delta_3 F$ — девиация при том же модулирующем напряжении и реальной модуляционной характеристике 2. Идеальная модуляционная характеристика 1 строится на основе реальной характеристики 2 или 3 путем продления прямолинейного участка этой характеристики.

Частотной характеристикой модема передачи называется зависимость девиации от частоты модулирующего сигнала при постоянстве напряжения этого сигнала на входе передатчика. Измерение выполняется согласно § 3-3 подачей на вход передатчика сигналов частот от 22 до 46 Гц с частотным интервалом в 3 Гц.

При работе импульсных устройств телемеханики модем передачи работает в режиме манипуляции, т. е. передача ведется изменением сигнала несущей частоты от f_1 , соответствующей передаче импульса рабочего сигнала, до f_2 , соответствующей передаче импульса паузы. Девиация в этом случае определяется выражением

$$\Delta f_m = 0,5 (f_2 - f_1). \quad (9-19)$$

Несущие частоты f_1 и f_2 называют нижней и верхней характеристическими частотами передатчика. Частотный сдвиг определяется выражением

$$\Delta f_c = 2\Delta f_m = f_2 - f_1. \quad (9-20)$$

В современных модемах передачи дискретных сигналов на входе частотного модулятора предусматривается ограничитель максимальных амплитуд (формирующее устройство), поэтому модуляционная характеристика такого модема соответствует кривой 3 рис. 9-7, для которой $f_1 = f_0 - \Delta_3 F$, $f_2 = f_0 + \Delta_3 F$. Существуют модемы передачи дискретных сигналов, у которых изменение характеристических частот f_1 и f_2 производится скачкообразно с обрывом фазы синусоидального колебания выходного сигнала. При исследовании такого модема передачи измерение модуляционной характеристики не производится, измеряются частоты f_1 и f_2 и напряжение сигналов этих частот на выходе передатчика.

Измерение глубины паразитной амплитудной модуляции выходного сигнала модема передачи выполняется в соответствии с рекомендациями § 3-3 подачей на вход модема рабочего модулирующего сигнала. Паразитная амплитудная модуляция на выходе модема пере-

чи не должна превышать 20%. Измерение паразитной частотной (фазовой) модуляции выполняется с помощью устройства, функциональная схема которого приведена на рис. 9-8. Выход модема передачи МП подключается ко входу устройства, содержащего усилитель У, ограничитель максимальных амплитуд ОМА, частотный дискриминатор ЧД и электронный осциллограф ЭО. При наличии паразитной частотной (фазовой) модуляции на экране осциллографа, подключенного параллельно контуру ЧД, появится кривая, соответствующая по форме

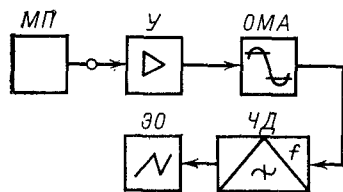


Рис. 9-8. Функциональная схема устройства для измерения величины паразитной амплитудной модуляции.

амплитудно - модулированному сигналу. По глубине амплитудной модуляции легко судить о глубине частотной (фазовой) паразитной модуляции сигнала МП. При выполнении измерений с МП передают по очереди сигналы характеристических частот.

Паразитная частотная (фазовая) модуляция вызывает появление добавочных краевых искажений при передаче дискретных сигналов по каналам телемеханики. Исследования показали, что при модулирующем паразитном сигнале частотой 50 Гц и скоростью передачи дискретных сигналов 50 Бод добавочные краевые искажения прямо пропорциональны паразитному частотному отклонению. При модулирующей помехе частоты 100 Гц, вызывающей паразитную девиацию сигнала 5—20 Гц при скорости передачи 100 Бод, добавочные искажения составят около 5%. При скоростях передачи 100—300 Бод краевые искажения увеличиваются.

Качество приемного модема канала телемеханики с ЧМ определяется избирательностью приемного фильтра, амплитудной характеристикой ограничителя максимальных амплитуд и частотной характеристикой частотного дискриминатора. Измерение частотной характеристики рабочего затухания приемных фильтров каналов телемеханики комбинированной и многоканальной аппаратуры следует выполнять в схеме аппаратуры, не отключая параллельно включенные фильтры других каналов. В этом случае измеренная характеристика будет соответствовать реальным условиям работы исследуемо-

го канала и можно будет выяснить степень влияния на нее параллельно подключенных элементов.

Амплитудная характеристика ограничителя максимальных амплитуд измеряется как зависимость напряжения сигнала несущей частоты исследуемого канала телемеханики на входе дискриминатора от напряжения этого же сигнала на входе приемника.

Чувствительностью приемного модема канала телемеханики с ЧМ называется напряжение (уровень) сигнала несущей частоты на его входе, соответствующее порогу ограничения ограничителя максимальных амплитуд.

Частотной характеристикой дискриминатора называется зависимость тока или напряжения на выходе дискриминатора от частоты сигнала на его входе.

При измерении частотной характеристики дискриминатора на вход модема подается с постоянным уровнем сигнал измерительного генератора. Уровень этого сигнала должен быть на 10—12 дБ выше чувствительности модема. Если в устройстве модема не предусмотрен прибор измерения тока или напряжения на выходе амплитудного детектора частотного дискриминатора, то при выполнении измерения на выход амплитудного детектора включают вольтметр постоянного тока. Меняя частоту измерительного генератора в полосе рабочих частот приема ступенями в 5—10 Гц для каждой точки измерения, определяют напряжение или ток на выходе амплитудного детектора. По данным измерения строят частотную характеристику дискриминатора как зависимость $\Delta I = \varphi(\Delta f)$ или $\Delta U = \varphi(\Delta f)$, где $\Delta I = I_d - I_0$; $\Delta U = U_d - U_0$; $\Delta f = f - f_0$.

Здесь I_0 , U_0 — ток и напряжение на выходе детектора при подаче на вход модема сигнала с номинальным значением f_0 средней частоты приема. Если по вертикальной оси будут отложены значения Δf , а по горизонтальной оси — значения ΔI или ΔU , то характеристика дискриминатора будет иметь вид характеристики 2 рис. 9-7.

Линейной частью частотной характеристики называется участок, в пределах которого характеристика не отклоняется от идеальной формы (прямой линии) более чем на 2 дБ. Нелинейность характеристики определяется по формуле

$$\Delta D = 20 \lg \frac{U_n}{U_d} = 20 \lg \frac{I_n}{I_d}, \quad (9-21)$$

где U_n, I_n — напряжение или ток на выходе дискриминатора для идеализированной прямолинейной характеристики и при частоте сигнала f_1 ; U_d, I_d — напряжение или ток на выходе дискриминатора для реальной характеристики и при той же частоте сигнала.

Запас линейности дискриминатора определяется согласно выражению

$$\Delta_d = 0,5(f_2 - f_1) - \Delta f_m, \quad (9-22)$$

где f_2 и f_1 — частоты, соответствующие началу и концу линейной части частотной характеристики;

Δf_m — девиация частоты, установленная на передатчике.

Величина Δ_d должна быть не менее 8 Гц для каналов, в которых отсутствует частотная погрешность, и не менее 10 Гц для каналов, в которых возможно появление частотной погрешности сигнала несущей частоты при передаче.

Измерение собственных помех приемного модема выполняется по вольтметру, включенному на выходе модема, если отсутствует узел формирования дискретных сигналов в выходной цепи модема, или на выходе частотного дискриминатора, если указанный формирователь имеется.

Помехи, обусловленные наличием пульсации выпрямленных напряжений цепей питания, измеряются при замкнутых входных зажимах модема. Помехи, обусловленные явлением паразитной частотной модуляции рабочего сигнала, измеряются при подаче на вход приемного модема одночастотного синусоидального сигнала от измерительного генератора уровнем на 10 дБ выше чувствительности модема. Частота сигнала генератора устанавливается равной значению средней частоты рабочей полосы модема. Собственные помехи оценивают по формуле

$$\Delta p_{c/n} = 20 \lg \frac{U_c}{U_n}, \quad (9-23)$$

где U_c — номинальное напряжение сигнала $f_0 \pm \Delta f_d$ в точке измерения;

U_n — напряжение помех в той же точке измерения.

9-6. Измерение блока питания аппаратуры уплотнения

Качество блока питания характеризуется выпрямленными напряжениями, коэффициентами пульсации этих напряжений и коэффициентом полезного действия.

Мощность потребления блоком питания определяется по формуле

$$P_{\text{пот}} = I_0 U_0, \quad (9-24)$$

где I_0 и U_0 — ток и напряжение на входе блока питания.

Мощность, отдаваемая блоком питания, определяется как сумма мощностей, отдаваемых в каждую цепь питающего напряжения:

$$P_{\text{от}} = \sum_{i=1}^n I_i U_{im}, \quad (9-25)$$

где I_m и U_m — ток и напряжение цепи соответствующего питающего напряжения; n — количество таких цепей.

Коэффициент полезного действия блока питания, %,

$$\eta_{б.п} = \frac{P_{\text{от}}}{P_{\text{пот}}} \cdot 100. \quad (9-26)$$

Измерения токов и напряжений, необходимых для определения указанных параметров, выполняются с помощью приборов соответственно переменного или постоянного тока.

Коэффициент пульсации выпрямленного напряжения, %, определяется выражением

$$k_n = \frac{U_{\sim}}{U_{\text{ср}}} \cdot 100, \quad (9-27)$$

где $U_{\sim}$ — измеряется вольтметром переменного тока, а $U_{\text{ср}}$ — вольтметром постоянного тока.

Глава десятая

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ АППАРАТУРЫ УПЛОТНЕНИЯ

10-1. Измерение параметров тракта передачи оконечной аппаратуры уплотнения

При выполнении наладочных и эксплуатационных работ возникает необходимость проверки основных параметров аппаратуры уплотнения. Разделяют параметры, характеризующие качество передающего тракта аппаратуры, и параметры приемного тракта аппарату-

ры. Измерение аппаратуры уплотнения выполняется в целях проверки качества функционирования всех узлов аппаратуры, отыскания и устранения причин отклонения от нормы параметров аппаратуры. Проверка параметров аппаратуры, как правило, производится с отключением проверяемого полукompлекта от линии, но в некоторых случаях аппаратура проверяется в лабораторных условиях с включением полукompлектов через искусственную линию. В обоих случаях используется метод измерений, описанный ниже.

Измерение тракта передачи любой аппаратуры уплотнения выполняется при нагрузке передатчика на активное сопротивление, равное модулю полного сопротивления реальной нагрузки. Передатчики неразнесенных полукompлектов аппаратуры или ВЧ стоек разнесенных полукompлектов нагружаются на резистор сопротивлением 75 Ом. Передатчики низкочастотных стоек разнесенных полукompлектов нагружаются на резистор сопротивлением 135—600 Ом в зависимости от входного сопротивления соединительного кабеля на средней частоте передачи. Различают индивидуальные и групповые тракты передачи аппаратуры уплотнения, понимая под индивидуальным трактом совокупность элементов и узлов, обеспечивающую передачу сигналов одного канала, а под групповым трактом — совокупность элементов и узлов, обеспечивающую передачу сигналов нескольких каналов.

Качество передатчика (тракта передачи) оценивается уровнем передачи, амплитудными и частотными характеристиками, уровнем мешающих сигналов на выходе передатчика. Амплитудной характеристикой тракта передачи аппаратуры систем ОБП называется зависимость выходного уровня $p_{\text{вых}}$ или напряжения рабочего сигнала на нагрузке тракта передачи от уровня $p_{\text{вх}}$ низкочастотного сигнала на входе тракта передачи. В ряде случаев амплитудная характеристика изображается зависимостью усиления исследуемого тракта, дБ, от уровня (напряжения) сигнала на выходе:

$$s_{\text{тр}} = p_{\text{вых}} - p_{\text{вх}} \quad (10-1)$$

Рабочим участком амплитудной характеристики называется участок, на котором нелинейность меньше 1,0 дБ. Уровень (напряжение) выходного сигнала, соответствующий точке амплитудной характеристики при нелинейности 1,0 дБ, называется макси-

мальным уровнем (напряжением) передачи.

Частотной характеристикой передатчика (тракта передачи) называется зависимость уровня или напряжения рабочего сигнала на выходе передатчика от частоты сигнала постоянного уровня, подаваемого на вход передатчика. Часто частотную характеристику представляют зависимостью $s_{\text{тр}}$ или $\Delta a_{\text{ч.х}}$, дБ, от частоты сигнала на входе передатчика:

$$\Delta a_{\text{ч.х}} = s_{\text{тр}0} - s_{\text{тр}}, \quad (10-2)$$

где $s_{\text{тр}0}$ — усиление тракта на средней частоте рабочей полосы; $s_{\text{тр}}$ — усиление на других частотах.

Амплитудная характеристика тракта передачи телефонного канала измеряется в следующей последовательности. Ориентируясь по осциллографу, подключенному к выходу передатчика, выключают сигналы передачи всех каналов данной системы. Уровень (напряжение) сигнала, измеренного в этом случае на выходе передатчика, будет соответствовать уровню (напряжению) мешающего сигнала передатчика. Выключив ограничитель максимальных амплитуд и сжиматель телефонного канала, на вход дифференциальной системы канала подключают измерительный генератор с внутренним сопротивлением 600 Ом, с которого подается сигнал частоты 800 Гц. Меняя уровень сигнала ступенями в 4—5 дБ с уровня —20 дБ до уровня +10—+15 дБ, измеряют вольтметром напряжение $U_{\text{вых}}$ или уровень $p_{\text{вых}}$ сигнала на выходе передатчика. Уровень передачи при измерении вольтметром ($U_{\text{вых}}$ выражено в вольтах) определяется по формуле

$$p_{\text{вых}} = 20 \lg U_{\text{вых}} + 11,3, \quad (10-3)$$

или при измерении указателем уровня, отградуированным на нагрузке 600 Ом, по формуле

$$p_{\text{вых}} = p + 9,05. \quad (10-4)$$

По данным измерений строится амплитудная характеристика и определяется максимальный уровень (напряжение) передачи.

Измерения амплитудной характеристики низкочастотных стоек разнесенного полукompлекта аппаратуры уплотнения, а также измерения группового тракта передачи низкочастотной и высокочастотной стоек выполняются так же, как было описано выше. При исследовании

комбинированной и многоканальной аппаратуры уплотнения или высокочастотных стоек разнесенного полуконспекта аппаратуры выполняются измерения групповых трактов передачи. При этих измерениях измерительный генератор (ИГ) подключается на вход группового тракта аппаратуры. Для измерения ВЧ стоек ИГ подключается к кабельному входу стойки и внутреннее сопротивление его выбирается равным модулю входного сопротивления соединительного кабеля. Для измерения амплитудной характеристики группового тракта аппаратуры, в которой этот тракт не выделен в самостоятельную стойку, ИГ подключается параллельно входу группового тракта без нарушения схемы соединения его с индивидуальными трактами. В этом случае за входной уровень сигнала, дБ, принимается уровень, вычисленный по формуле

$$p_{вх} = 20 \lg U_{вх} - 58, \quad (10-5)$$

где $U_{вх}$ — напряжение сигнала на входе тракта, мВ.

Амплитудная характеристика группового тракта передачи комбинированной и многоканальной аппаратуры телефонной связи измеряется на частоте, соответствующей передаче по тракту сигнала 800 Гц первого телефонного канала. Амплитудная характеристика группового тракта многоканальной аппаратуры телемеханики измеряется на частоте, соответствующей средней частоте полосы передачи. Уровень на входе группового тракта меняется ступенями в 5 дБ в пределах от $p_1 - 20$ до $p_1 + 15$, где p_1 — уровень рабочего сигнала в точке подключения ИГ, дБ.

Частотная характеристика группового тракта измеряется при уровне сигнала ИГ, равном $p_1 - 5$ дБ.

Частотная характеристика тракта передачи телефонного канала измеряется при включенном ограничителе максимальных амплитуд и выключенном сжимателе. На вход дифференциальной системы подается сигнал ИГ уровнем на 5 дБ меньше уровня, при котором начинается загиб амплитудной характеристики телефонного канала.

Измерение частотных характеристик трактов выполняется в номинальной полосе рабочих частот данного тракта с частотным интервалом 100—300 Гц для трактов телефонных каналов и групповых трактов и с частотным интервалом 10—20 Гц для индивидуальных и групповых трактов каналов телемеханики. В обязатель-

ном порядке во всех случаях измерения частотных характеристик производятся измерения на граничных частотах, для которых неравномерность частотной характеристики составляет 6, 12 и 18 дБ. Неравномерность частотной характеристики определяется по формуле

$$\Delta a_{ч.х} = p_n - p_f = 20 \lg \frac{U_n}{U_f}, \quad (10-6)$$

где p_n и U_n — уровень и напряжение сигнала нормированной частоты на выходе исследуемого тракта; p_f и U_f — уровни и напряжения сигналов других частот в этой же точке.

Измерение частотных характеристик трактов телефонных каналов выполняется на нормированной частоте сигнала 800 Гц; для трактов каналов телемеханики нормированная частота соответствует средней частоте номинальной рабочей полосы канала. Для групповых трактов в качестве нормированной частоты сигнала также выбирается средняя частота номинальной рабочей полосы тракта. Процесс измерения точек, соответствующих неравномерности 6, 12 и 18 дБ, сводится к следующему. Измерив частотную характеристику в полосе рабочих частот тракта и определив значение U_n или p_n ,

уменьшают частоту ИГ до тех пор, пока напряжение сигнала на выходе тракта не будет равно $0,5U_n$ (или $p_n - 6$ дБ). Эта частота будет соответствовать неравномерности частотной характеристики, равной 6 дБ; значения $0,25U_n$; $0,125U_n$, или $p_n - 12$, $p_n - 18$ дБ, будут соответствовать частотам, на которых неравномерность частотной характеристики равна 12 и 18 дБ.

Таким же образом определяются граничные частоты тракта и в области верхних частот.

Анализ качества амплитудных характеристик тракта передачи. Графические изображения типовой амплитудной характеристики группового тракта передачи (1) и

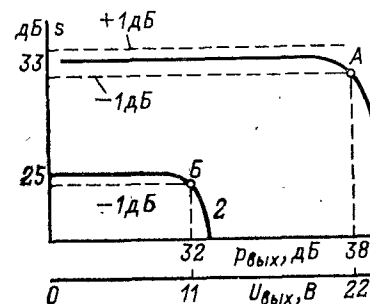


Рис. 10-1. Амплитудные характеристики группового тракта передачи (кривая 1) и тракта передачи телефонного канала (кривая 2).

тракта передачи телефонного канала (2) приведены на рис. 10-1.

Амплитудная характеристика тракта передачи телефонного канала (кривая 2 на рис. 10-1) измеряется с целью определения качества работы ограничителя максимальных амплитуд, имеющегося в тракте передачи телефонного канала.

Если регулировка ограничителя максимальных амплитуд выполнена правильно, то уровень передачи телефонного канала при уровне низкочастотного сигнала +10 дБ будет отличаться от уровня передачи, соответствующего низкочастотному сигналу 0 дБ, не более чем на 3 дБ.

Целью измерения амплитудной характеристики группового тракта передачи является определение максимальной мощности передатчика. Параллельно линейной части амплитудной характеристики (кривая 1 на рис. 10-1) проводят две прямые линии, отстоящие на ± 1 дБ. Точка пересечения амплитудной характеристики 1 с одной из этих прямых (точка А) является границей прямолинейного участка амплитудной характеристики, а значение уровня передачи или напряжения выходного сигнала, соответствующее точке А, считается максимальным уровнем передачи данной аппаратуры уплотнения. Более точно максимальную мощность передатчика определяют по уровням двух сигналов на выходе передатчика, при котором наблюдаются предельные значения нелинейных искажений в тракте передачи. При этом методе измерения на вход группового тракта подают два сигнала, одинаковые по уровню, но разные по частоте. Меняя уровень этих сигналов, добиваются положения, при котором уровень сигнала продукта нелинейности на выходе передатчика достигнет заданного значения $p_{н.из}$. Измерение уровней рабочего сигнала и помехи нелинейного затухания $p_{н.из}$ на выходе передатчика выполняют селективным измерителем. Для определения максимально допустимого напряжения суммарного сигнала на выходе передатчика выключают один из сигналов на входе тракта передачи и измеряют напряжение $U_{им}$ второго оставшегося сигнала на выходе передатчика. Максимальный сигнал на выходе передатчика определяют выражением $U_{вых.макс} = 2U_{им}$. При выборе значений частот сигналов, подаваемых на вход тракта передачи, учитываются следующие положения.

При наличии нелинейности в тракте передачи, кроме рабочих частот типа $f_H \pm F_1$ и $f_H \pm F_2$, появляются мешающие продукты нелинейности с частотами вида $[m(f_H \pm F_1) - n(f_H \pm F_2)]$. В рабочую полосу частот попадают только продукты нелинейности, у которых выполняется условие $m - n = 1$, где m и n — коэффициенты, равные

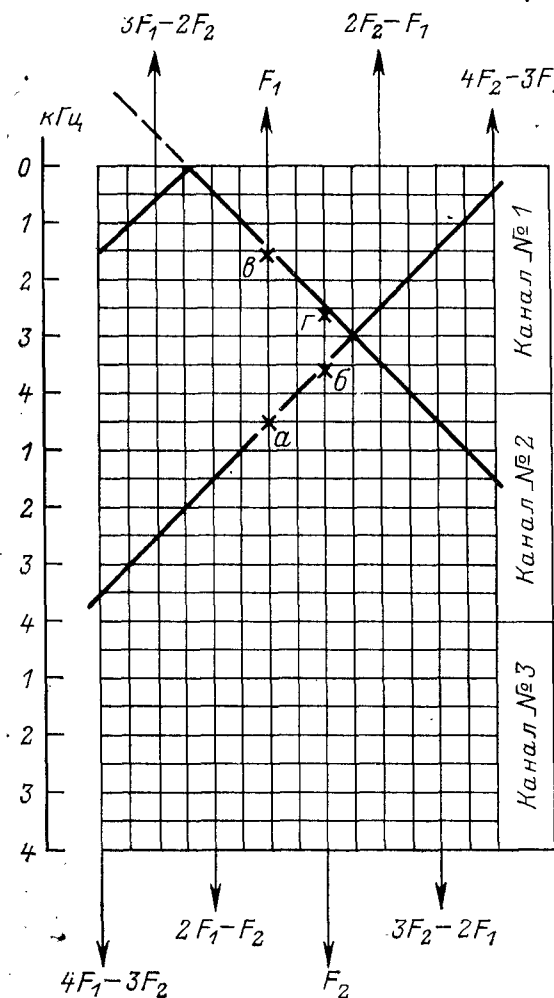


Рис. 10-2. Номограмма для определения продуктов нелинейности в тракте передачи.

целым числам цифрового ряда. Наибольшую амплитуду, как правило, имеют комбинационные частоты 3, 5 и 7-го порядка, т. е. при $m+n=3$, $m+n=5$ и $m+n=7$. Значения частот F_1 и F_2 выбираются исходя из возможности выделения для измерения комбинационных частот указанного вида. На рис. 10-2 приведена номограмма, позволяющая графическим путем определить по значениям частот низкочастотных сигналов F_1 , F_2 частоты возможных продуктов нелинейности. Номограмма рассчитана на наиболее распространенный случай трехканальной аппаратуры с номинальной полосой 4 кГц на один канал. Эта же номограмма пригодна для одноканальной (комбинированной) или двухканальной аппаратуры уплотнения. Рассмотрим пример использования номограммы. В первом канале действует сигнал $F_2=3,5$ кГц, во втором канале — сигнал $F_1=0,5$ кГц. Через точки a и b , соответствующие значениям F_1 и F_2 , проводим прямую линию. Точки пересечения этой линии с осями комбинационных частот ($2F_1-F_2$; $2F_2-F_1$; $3F_1-2F_2$; $4F_1-3F_2$; $3F_2-2F_1$; $4F_2-3F_1$) определяют частоты соответствующих комбинационных составляющих.

Из номограммы видно, что при наличии указанных сигналов F_1 и F_2 в системе связи, в первом канале следует ожидать помехи частот 2,5 кГц (комбинация вида $2F_2-F_1$); 1,5 кГц ($3F_2-2F_1$) и 0,5 кГц (составляющая вида $4F_2-3F_1$). Во втором канале можно ожидать помехи частот 1,5 кГц ($2F_1-F_2$), 2,5 кГц ($3F_1-2F_2$) и 3,5 кГц ($4F_1-3F_2$). Если по первому каналу передавать сигналы $F_1=1,5$ кГц и $F_2=2,5$ кГц, то сигналы помех определяются точками пересечения прямой ab с соответствующими частотными осями. При построении прямой ab следует учитывать, что сначала проводят прямую через значение частот F_1 и F_2 , а затем, если прямая пересекает прямую 0 кГц первого канала, ее продолжают до пересечения с осью $4F_1-3F_2$ или $4F_2-3F_1$, начиная с этой точки, как зеркальное отображение участка прямой ab , находящегося за пределами номограммы. В рассматриваемом случае комбинационные продукты вида $2F_1-F_2$; $3F_1-2F_2$; $4F_1-3F_2$; $2F_2-F_1$, соответствующие частотам 0,5; 0,5; 1,5 и 3,5 кГц, попадут в спектр рабочих частот того же самого первого канала, а продукты вида $3F_2-2F_1$ и $4F_2-3F_1$ попадут в рабочую полосу частот второго канала системы и проявятся в виде сигналов частот 0,5 и 1,5 кГц. В третьем канале влияние сигналов F_1 и F_2 проявляться не будет.

Номограмму на рис. 10-2 можно использовать при выполнении различного рода испытаний оборудования и каналов связи, направленных на выявление причин возникновения влияния между каналами. Определив по номограмме частоты сигналов влияний и канал, в котором данный вид влияния должен проявиться, выполняют измерение уровней сигналов влияния с помощью анализатора гармоник или селективным измерителем. Располагая амплитудной характеристикой тракта передачи, можно определить защищенность тракта передачи по комбинационным помехам по формуле

$$A_{\kappa 3} = 20 \lg \frac{16 (45U_1 - 9U_2 + U_3)}{45 (8U_1 - 13U_2 - U_3)} \quad (10-7)$$

по продуктам нелинейности 3-го порядка и по формуле

$$A_{\kappa 5} = 20 \lg \frac{64 (45U_1 - 9U_2 + U_3)}{81 (5U_1 - 4U_2 - U_3)} \quad (10-8)$$

по продуктам нелинейности 5-го порядка.

Величины U_1 , U_2 , U_3 определяются графически из амплитудной характеристики тракта передачи следующим образом. На горизонтальной оси графика амплитудной характеристики рис. 10-3 определяются точки, соответствующие $1/3$, $2/3$ и 1 максимального напряжения рабочих сигналов на входе тракта передачи. Для каждой точки соответственно определяются значения напряжения выходного сигнала на выходе тракта передачи U_1 , U_2 и U_3 .

В эксплуатационных условиях часто возникает необходимость быстрого контроля качества амплитудной характеристики усилительного узла аппаратуры уплотнения или определенного участка тракта передачи аппаратуры. На рис. 10-4,а приведена измерительная схема, позволяющая оценить качество амплитудной характеристики исследуемого тракта передачи ТП по изображению этой характеристики на экране осциллографа ЭО. На вход ТП от двух генераторов Г1 и Г2 подаются сигналы двух частот F_1 и F_2 с одинаковыми уровнями,

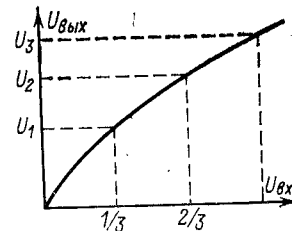


Рис. 10-3. Определение значений напряжения на амплитудной характеристике тракта передачи для расчета нелинейности передатчика.

расположенными в полосе рабочих частот $ТП$. Разность частот F_1 и F_2 берется равной 200—300 Гц. Напряжение входного двухчастотного сигнала через детектор $Д1$ и напряжение выходного двухчастотного сигнала через детектор $Д2$ подаются соответственно на вертикальный и горизонтальный входы осциллографа. Каждый детектор, кроме выпрямительного элемента, содержит низкочастотный фильтр, и поэтому на выходе детектора имеет место напряжение огибающей двухчастотного сигнала. При хорошей амплитудной характеристике $ТП$ на экра-

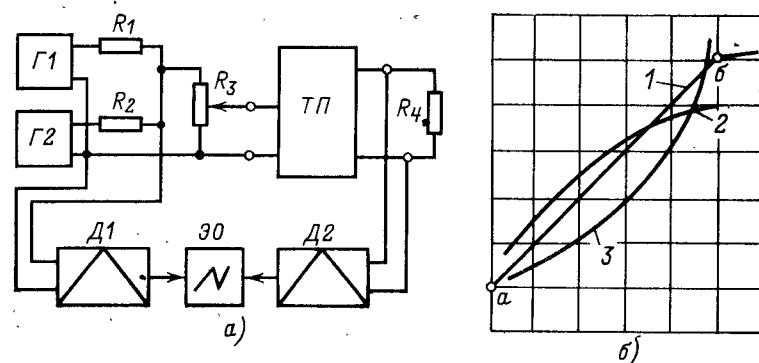


Рис. 10-4. Осциллографический метод измерения нелинейности тракта передачи.

a — схема; $б$ — осциллограмма.

не осциллографа изображение будет соответствовать кривой 1 на рис. 10-4,б. Линия ab соответствует прямолинейной части амплитудной характеристики, правее точки $б$ (порога ограничения) начинается нелинейная часть характеристики. Изменяя положение потенциометра R_3 , добиваются получения на экране осциллографа изображения только линии ab без продолжения ее за точку $б$. Отключив один из генераторов $G1$ или $G2$, измеряют напряжение сигнала $U_{им}$ на входе $ТП$. Величина $2U_{им}$ соответствует значению максимально допустимого напряжения суммарного сигнала на входе, при котором $ТП$ работает с минимальными нелинейными искажениями.

Кривые 2 и 3 на рис. 10-4,б соответствуют случаям значительной нелинейности амплитудных характеристик исследуемого усилителя или другого тракта передачи.

Анализ частотных характеристик трактов сводится к определению неравномерности затухания в рабочей полосе частот данного тракта. Абсолютное значение затухания (усиления) тракта в полосе рабочих частот при проверке частотной характеристики имеет второстепенное значение, поэтому ее представляют в виде частотной характеристики неравномерности затухания тракта $\Delta a_{ч.х} = \varphi(F)$, где $a_{ч.х}$ определяется по формуле (10-6), а F — частоты, на которых выполнено измерение.

Измерение уровней передачи рабочих сигналов и помех на выходе передатчика выполняется при нагрузке этого выхода на номинальное сопротивление. Параллельно этой нагрузке включаются осциллограф и вольтметр (указатель уровня).

Уровень собственных помех передатчика измеряется широкополосным измерителем уровня или вольтметром при выключенных всех рабочих и служебных сигналах аппаратуры уплотнения. Характер помех оценивается по их фигуре на экране осциллографа. Как правило, помехи этого рода обусловлены остатками несущих частот первого и второго преобразователей тракта передачи. Если выключить преобразователи первой ступени частотного преобразования, собственные помехи будут обусловлены только групповым трактом передачи. В ряде случаев, особенно при наладке мощных передатчиков (например, с дополнительным усилителем УМ-1/12-100), в обязательном порядке выполняется измерение уровней собственных помех передатчика вне рабочей полосы частот. Для этого с передатчика подаются два сигнала различных частот, лежащих в рабочей полосе передачи, напряжение каждого сигнала берется равным $0,5U_{вых. макс.}$. Селективным измерителем уровня с полосой частот избирания 0,3 кГц измеряют все уровни сигналов помех, лежащих вне рабочей полосы частот передатчика слева и справа от этой полосы.

В общем случае помехи проверяются в диапазоне частот от $f_{ср} - 4,5\Delta f_{п}$ до $f_{ср} + 4,5\Delta f_{п}$ для одноканальных, двухканальных и трехканальных систем и в диапазоне частот $(f_{ср} - 2,5\Delta f_{п}) - (f_{ср} + 2,5\Delta f_{п})$ для двенадцатиканальных систем. При наличии в схеме передатчика усилителя мощностью 60 Вт и более дополнительно выполняются измерения помех в полосе частот $(2f_{ср} - \Delta f_{п}) - (2f_{ср} + \Delta f_{п})$. В этих выражениях $f_{ср}$ — средняя частота рабочей полосы частот передатчика; $\Delta f_{п}$ — номинальная ши-

рина рабочей полосы частот передатчика. Для полной оценки мешающих излучений передатчика целесообразно указанные измерения выполнить для нескольких значений рабочих частот, а именно $f_{1,2} = f_{cp} \pm 0,1\Delta f_n$; $f_{3,4} = f_{cp} \pm 0,2\Delta f_n$; $f_{5,6} = f_{cp} \pm 0,3\Delta f_n$; $f_{7,8} = f_{cp} \pm 0,45\Delta f_n$. Графическое изображение уровней помех передатчика выполняется в соответствии с

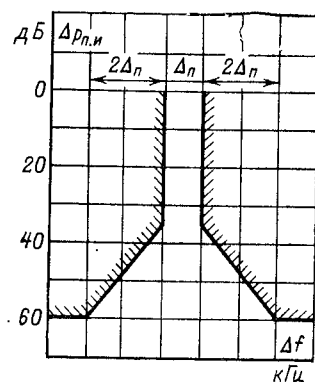


Рис. 10-5. Нормирующий шаблон уровней мешающих излучений передатчика.

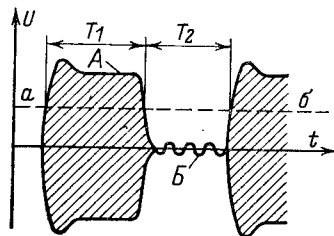


Рис. 10-6. Осциллограммы импульсов.

дающий симметричные импульсы со скоростью 20 Бод. На экране осциллографа при этом появится фигура, соответствующая рис. 10-6. Качество импульсов набора номера системы вызова оценивается по их длительности и характеру формы огибающей импульсов. Для определения длительности посылок выполняют измерения величин T_1 и T_2 по линии ab , расположенной на расстоянии половины амплитуды импульса от горизонтальной

оси осциллограммы. Искажения, %, посылок определяются по формуле

$$\delta_{и.н} = \left| \frac{T_1 - T_2}{T_1 + T_2} \right| \cdot 100. \quad (10-9)$$

Эти искажения должны быть не более 5%.

На осциллограмме посылки набора номера системы вызова абонентов видны колебательные изменения амплитуды огибающей сигналов А и Б, обусловленные наличием нестационарных процессов в элементах тракта канала вызова. Амплитуда этих колебаний должна быть не более 15% амплитуды импульса.

10-2. Измерение параметров приемных трактов оконечной аппаратуры уплотнения

Приемные тракты аппаратуры уплотнения характеризуются частотной характеристикой, характеристикой избирательности, регулировочной характеристикой системы автоматического регулирования уровня (АРУ) и чувствительностью. В некоторых сравнительно редких случаях выполняются измерения амплитудной характеристики приемного тракта аппаратуры и нелинейности этого тракта.

Измерение частотной характеристики выполняется в следующей последовательности. Выключаются все сигналы тракта передачи аппаратуры. Вольтметром и осциллографом проверяется отсутствие помех тракта передачи на выходе аппаратуры; для исключения помех отключается вход усилителя мощности либо снимается питающее напряжение с него. Система АРУ переводится в фиксированное положение, затухание регулирующего элемента системы АРУ устанавливается минимальным. На вход аппаратуры через магазин затухания с характеристическим сопротивлением 75 (100) Ом подается сигнал от ВЧ измерительного генератора. Затухание магазина устанавливается равным 30—40 дБ. Измерение приемного сигнала выполняется электронным вольтметром или указателем уровня. Точка измерения выбирается в зависимости от типа аппаратуры и типа измеряемой характеристики. Установив на измерительном генераторе среднюю частоту приемной полосы исследуемого тракта, меняют напряжение сигнала до тех пор, пока напряжение его в точке измерения U_0 не достигнет

значения напряжения рабочего сигнала, имеющего место в реальных условиях приема. Меняя частоту сигнала измерительного генератора (при постоянном напряжении его на выходе генератора), измеряют напряжение U_f , соответствующее каждому значению частоты. Неравномерность затухания определяется по формуле

$$\Delta a_{\text{ч.х}} = 20 \lg \frac{U_0}{U_f}. \quad (10-10)$$

При испытании аппаратуры системы ОБП различают частотные характеристики группового тракта приема, индивидуального тракта приема и частотную характеристику полного тракта приема телефонного канала.

Частотные характеристики индивидуального и полного трактов приема телефонного канала изображаются как зависимость неравномерности затухания $\Delta a_{\text{ч.х}}$ от частоты низкочастотного сигнала на выходе дифференциальной системы телефонного канала. Приемный сигнал измеряется на нагрузке сопротивлением 600 Ом, подключенной к выходу дифференциальной системы. Напряжение U_0 в точке измерения устанавливают равным 400—500 мВ, подавая на вход тракта ВЧ сигнал, соответствующий приему сигнала частоты 800 Гц. Установку сигнала нужной частоты выполняют следующим образом. Параллельно вольтметру к точке измерения подключают вертикальный вход осциллографа. На горизонтальный вход осциллографа подают сигнал от вспомогательного НЧ генератора. Предположим, что необходимо установить значение частоты измерительного ВЧ генератора, соответствующее приему сигнала 300 Гц. Установив на НЧ генераторе частоту 300 Гц, медленно меняют частоту сигнала ВЧ генератора до тех пор, пока на экране осциллографа не появится неподвижное изображение эллипса. Появление неподвижного эллипса свидетельствует о том, что частота сигнала ВЧ генератора соответствует рабочему сигналу при передаче по каналу сигнала частотой 300 Гц.

При измерении частотной характеристики на вспомогательном НЧ генераторе поочередно устанавливают выбранные для измерения частоты НЧ спектра и соответственно указанным способом подбирается частота ВЧ генератора, при которой выполняется измерение. В случае измерения полного тракта приема измерительный генератор через магазин затуханий подключается к ВЧ входу аппаратуры; при измерении индивидуального

тракта измерительный генератор подключается ко входу индивидуального тракта (без нарушения схемы соединений) через развязывающий резистор сопротивлением 3—5 кОм. Частотная характеристика группового тракта комбинированной и многоканальной аппаратуры изображается зависимостью $\Delta a_{\text{ч.х}}$ от значения промежуточной частоты на выходе группового тракта приема. До начала измерений составляются таблицы частот, на которых должны выполняться измерения. Нужные частоты измерительного генератора (ИГ) устанавливаются по осциллографу и вспомогательному НЧ генератору так, как это было описано выше. Высокочастотный ИГ подключается ко входу исследуемого тракта. Измерение приемного сигнала выполняется на выходе группового тракта, нагруженном на реальную нагрузку (при измерении неразнесенного полукompлекта аппаратуры) либо на резистор сопротивлением, равным модулю входного сопротивления реальной нагрузки. Так, например, при исследовании ВЧ стойки разнесенного полукompлекта аппаратуры измерение выполняется на кабельном выходе стойки, нагруженном на резистор сопротивлением, равным входному сопротивлению соединительного кабеля.

Избирательность приемного тракта определяется той же величиной $\Delta a_{\text{ч.х}}$, измеренной на частотах, лежащих вне рабочей полосы приема. Частотная характеристика избирательности позволяет судить о степени защищенности приемника от воздействия мешающих сигналов, расположенных вне спектра частот приема. Графически эта характеристика изображается зависимостью величины $\Delta a_{\text{ч.х}}$ от частоты сигнала на входе приемника. Измерение частотной характеристики избирательности выполняется в следующей последовательности. Собирается схема измерения, аналогичная схеме измерения частотной характеристики полного или группового тракта приема. На средней частоте приемного спектра устанавливается напряжение сигнала измерительного генератора такого значения, чтобы напряжение U_0 в точке измерения было бы в 2—3 раза больше напряжения рабочего сигнала в этой же точке. При неизменном напряжении сигнала на выходе генератора производят измерения приемного сигнала (в точке измерения) на граничных частотах f_1 и f_2 рабочей полосы приема и на частотах, кГц, $f_1 - N$ и $f_2 + N$, где N соответствует значениям ряда 0,5; 1; 1,5; 2; 3;

4; 5; 6; 8; 10; 12; 14; 16. Частота ИГ устанавливается с точностью не хуже ± 100 Гц. Избирательность для каждого значения частоты сигнала определяется по формуле (10-6). Если показания вольтметра становятся слишком малыми, то затухание магазина уменьшают степенями $\Delta a_{м.з}$ до 10—15 дБ, а $\Delta a_{ч.х}$ определяют по формуле

$$\Delta a_{ч.х} = 20 \lg \frac{U_0}{U} + \Delta a_{м.з}. \quad (10-11)$$

Особый интерес при исследовании аппаратуры системы ОБП представляет избирательность приемного тракта в полосе зеркальных частот приема. Полоса зеркальных частот приема ограничена частотами $f_H - f_1$ и $f_H - f_2$ при работе на верхней боковой полосе и частотами $f_H + f_1$ и $f_H + f_2$ при работе на нижней боковой полосе. В этих выражениях f_H — несущая частота первого преобразователя тракта приема. В полосе зеркальных частот измерение избирательности должно выполняться с частотным интервалом между точками измерения не более 500 Гц. Указанным методом измеряются избирательности до 50—60 дБ. При больших значениях избирательности определяется по данным измерений частотных характеристик фильтров, входящих в схему исследуемого тракта приема. Измерение избирательности приемных трактов, имеющих один фильтр и аperiodические схемы усилителей, обычно заменяют измерением частотной характеристики рабочего затухания этого фильтра.

Измерение амплитудной характеристики выполняется только для оценки группового тракта приема комбинированной или многоканальной аппаратуры уплотнения. Схема измерения аналогична описанной выше схеме измерения частотной характеристики группового тракта приема. Устанавливают на ИГ среднюю частоту полосы приема и напряжение выходного сигнала U_r , при котором (с учетом затухания $a_{м.з}$) на выходе группового тракта приема напряжение сигнала U_0 равно напряжению рабочего сигнала. Затем меняют затухание магазина степенями в 5 дБ, измеряя для каждого значения затухания напряжение сигнала $U_{вых}$ на выходе группового тракта и напряжение $U_{вх}$ на входе.

Усиление, дБ, определяется по формуле

$$s = 20 \lg \frac{U_{вых}}{U_{вх}} + 10 \lg \frac{z_{вх}}{z_{вых}}, \quad (10-12)$$

где $z_{вх}$ и $z_{вых}$ — соответственно модуль входного сопротивления исследуемого тракта и модуль сопротивления нагрузки, подключенный к выходу тракта.

В ряде случаев усиление, дБ, определяют как

$$s = 20 \lg \frac{U_{вых}}{U_{вх}}, \quad (10-13)$$

т. е. как усиление по напряжению. Уровень сигнала по мощности, дБ, на входе приемника, имеющего входное сопротивление $R_{вх}$, Ом, подсчитывается по формуле

$$p_m = 20 \lg U_{вх} + 10 \lg 600/R_{вх} - 58, \quad (10-14)$$

где $U_{вх}$ выражено в милливольтках.

Важными параметрами, характеризующими приемник аппаратуры уплотнения, являются максимальные и рабочие пределы работы системы автоматического регулирования усиления (АРУ), максимальная и рабочая чувствительность приемника. В целом ряде случаев значительный интерес представляют нелинейные искажения, вносимые в тракт приема системой АРУ.

Регулировочной характеристикой АРУ в общем случае называется зависимость уровня сигнала контрольной частоты $p_{к.ч}$, измеренного в тракте приема за регулирующим элементом системы АРУ, от уровня этого же сигнала на входе приемника. Измерение регулировочной характеристики выполняется в следующей последовательности. Выключив затухание удлинителя ручной регулировки уровня (УРР), на вход приемника подаются через магазин затухания 40—50 дБ сигнал ИГ, соответствующий частоте сигнала контрольной частоты (КЧ). Измерение напряжения сигнала КЧ в приемном тракте, как правило, выполняется вольтметром, подключенным на выход фильтра выделения сигнала КЧ либо на выход первого усилителя управляющего элемента системы АРУ. Меняя выходное напряжение ИГ, устанавливают напряжение сигнала в точке измерения равным половине напряжения, предусмотренного диаграммой уровня. Уменьшая затухание магазина степенями в 5 дБ, измеряют для каждого случая напряжение сигнала КЧ на входе приемника $U_{вх}$, мВ, и напряжение $U_{вых}$, мВ, в точке измерения приемного тракта. Уровень сигналов в указанных точках определяют по формулам, дБ:

$$p_{вх} = 20 \lg U_{вх} - 58; \quad (10-15)$$

$$p_{вых} = 20 \lg U_{вых} - 58.$$

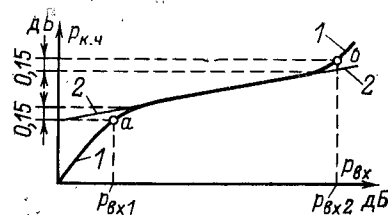


Рис. 10-7. Регулировочная характеристика системы АРУ.
1 — реальная; 2 — идеализированная.

участок ab , в пределах которого реальная характеристика отличается от идеальной не более чем на 1 дБ. Разность приемных уровней сигнала КЧ на входе приемника, соответствующих конечной ($б$) и начальной ($а$) точкам рабочего участка характеристики, называется максимальным пределом регулирования системы АРУ:

$$\Delta a_{a.m} = p_{вх2} - p_{вх1}. \quad (10-16)$$

Уровень сигнала КЧ на входе приемника $p_{вх1}$, соответствующий началу рабочего участка характеристики, называется максимальной чувствительностью приемника. Рабочая чувствительность приемника определяется по формуле

$$p_{вх.p} = p_{вх1} + \Delta a_{урр}, \quad (10-17)$$

где $\Delta a_{урр}$ — затухание УРР, установленное при наладке канала.

Рабочим пределом регулирования системы АРУ называется изменение приемного уровня сигнала КЧ, при котором уровень сигнала на выходе тракта приема $\Delta p_{к.ч}$ изменяется на 3,5 дБ.

При неправильной регулировке системы АРУ может быть источником взаимных влияний между каналами комбинированной или многоканальной аппаратуры. Нелинейные искажения могут возникнуть по причине перегрузки регулирующего элемента РЭ системы АРУ. Специальные измерения по определению нелинейных искажений, вносимых в тракт приема аппаратуры уплотнения системой АРУ, выполняются в соответствии с измерительной схемой, приведенной на рис. 10-8.

На вход приемника аппаратуры уплотнения АУ через магазин затухания МЗ подается трехчастотный сиг-

нал от измерительных генераторов Г1, Г2 и Г3. Частота сигнала Г1 устанавливается равной значению частоты контрольного сигнала АУ, управляющего системой АРУ. Частоты сигналов генераторов Г2 и Г3 располагаются в полосе рабочих частот приемного тракта АУ, и между ними устанавливается зависимость, при которой выполнено условие

$$2f_2 - f_3 = F_k, \quad (10-18)$$

где F_k — частота, соответствующая частоте рабочего сигнала на выходе канала АУ, к которому подключен избирательный измеритель уровня ИИУ (анализатор спектра).

Уровни передачи Г2 и Г3 устанавливаются одинаковыми и выше уровня сигнала Г1 на величину, соответствующую принятой для данного типа АУ разности уровней сигнала контрольной частоты и рабочего сигнала. Затухание МЗ устанавливается равным 35—40 дБ, и при этом затухании уровень сигнала контрольной частоты f_1 на входе АУ должен соответствовать началу работы системы АРУ. Уменьшая затухание МЗ ступенями в 5 дБ, для каждого случая измеряют значение уровня сигнала помехи (частоты F_k) на выходе контрольного канала. Зависимость этого уровня от уровня контрольного сигнала на входе АУ характеризует нелинейные искажения, вносимые в тракт приема АУ системой АРУ. При правильной регулировке системы АРУ разность уровней рабочего сигнала и сигнала помехи (частоты F_k) на выходе канала во всем диапазоне работы системы АРУ должна быть не выше нормы собственных шумов данного типа аппаратуры.

В тех случаях, когда два полукompлекта АУ проверяются один на другой через искусственную линию (МЗ), методика измерения нелинейности АРУ сводится к следующему. Затухание МЗ между полукompлектами АУ устанавливается равным 35—40 дБ. На вход канала (каналов) одного из полукompлектов подключаются генераторы Г1 и Г2, частоты которых выбираются таким образом, чтобы продукт нелинейности типа $2f_1 \pm f_2$ попа-

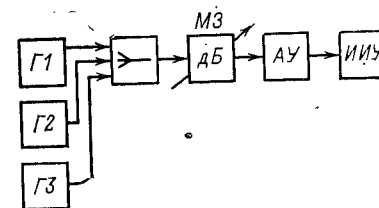


Рис. 10-8. Функциональная схема устройства для измерения нелинейности в тракте приема аппаратуры уплотнения.

дал в тракт приема одного из каналов второго полукомплекта аппаратуры и мог быть измерен на выходе этого канала с помощью ИИУ. Уровни передачи сигналов $G1$ и $G2$ на входе канала устанавливаются равными 0 дБ. Таким образом, с передатчика одного полукомплекта аппаратуры на вход $M3$ поступают два рабочих сигнала (от $G1$ и $G2$) и сигнал контрольной частоты. Уменьшая затухание $M3$ ступенями в 5 дБ, для каждого случая измеряются нелинейность АРУ как разность уровней рабочего сигнала на НЧ выходе канала аппаратуры и показания ИИУ.

10-3. Измерение параметров промежуточных усилителей

Характеристики трактов передачи и приема местных каналов промежуточных усилителей выполняются в соответствии с положениями § 10-3. Измерение характеристик транзитных трактов промежуточного усилителя выполняется в следующей последовательности. Выключив сигналы передачи местных каналов усилителя и убедившись в отсутствии мешающих сигналов на выходе его передатчиков, переводят системы АРУ в фиксированное состояние. Затухание регулирующего элемента системы АРУ устанавливается минимальным. Собирается

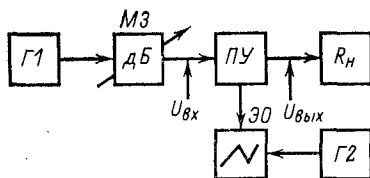


Рис. 10-9. Схема измерения частотной характеристики транзитного тракта промежуточного усилителя.

схема измерения по рис. 10-9. Здесь $ПУ$ — промежуточный усилитель, $M3$ — магазин затухания 50—60 дБ, $G1$ — измерительный ВЧ генератор, $ЭО$ — электронный осциллограф, $G2$ — вспомогательный НЧ генератор. Вертикальный вход осциллографа подключается к тракту приема промежуточной частоты промежуточного усилителя. На горизонтальный вход осциллографа подается сигнал $G2$. С помощью осциллографа и $G2$ устанавливается, как это было описано в § 10-2, заданная частота $G1$. До выполнения измерений составляется таблица частот, на которых должна быть измерена частотная характеристика транзитного тракта промежуточного усилителя. Установив на $G1$ частоту сигнала, соответствующую приему сигнала 800 Гц первого телефонного кана-

ла, регулируют выходное напряжение сигнала $G1$ таким образом, чтобы вольтметр, включенный параллельно нагрузке резистора $R_n=75$ Ом на выходе исследуемого тракта, показал напряжение 2—3 В. Уменьшая затухание $M3$ ступенями в 5 дБ, измеряют напряжение $U_{вх}$ на входе к $ПУ$ и напряжение $U_{вых}$ на нагрузке, подключенной к выходу исследуемого тракта. Усиление промежуточного усилителя для каждой точки измерения определяют по формуле (4-24). Амплитудная характеристика транзитного тракта промежуточного усилителя представляется зависимостью усиления от уровня сигнала на выходе усилителя.

Частотная характеристика транзитного тракта промежуточного усилителя измеряется в схеме рис. 10-9 в следующей последовательности. При той же частоте сигнала $G1$, как и в предыдущем случае, устанавливается на выходе $ПУ$ напряжение сигнала U_0 , равное 6—10 В. Оставляя напряжение сигнала на выходе $G1$ постоянным, изменяют частоту сигнала согласно ранее составленной таблице и для каждой частоты измеряют напряжение сигнала $U_{вых}$ на нагрузке R_n . Частотная характеристика, дБ, транзитного тракта представляется зависимостью

$$\Delta a_{ч.х} = 20 \lg \frac{U_0}{U_{вых}} \quad (10-19)$$

от частоты входного сигнала в тракте промежуточной частоты.

Избирательность транзитного тракта промежуточного усилителя измеряется в схеме на рис. 10-9 с учетом рекомендаций, изложенных в § 10-2 по измерению избирательности тракта приема оконечной аппаратуры уплотнения.

В практике организации ВЧ каналов часто выполняются переприемы телефонных каналов. Переприемы с одного полукомплекта аппаратуры на другой оконечный полукомплект осуществляются как по двухпроводной, так и по четырехпроводной схеме включения. Для оценки качества схемы переприема целесообразно выполнить измерения параметров транзитного тракта, составленного из двух оконечных полукомплектов аппаратуры уплотнения. При проведении этих измерений используется методика измерения транзитного тракта промежуточного усилителя с учетом следующего. Осциллограф $ЭО$, по которому устанавливается заданная частота

та Г1, подключается в точку переприема. При измерении двухпроводных переприемов вход усилителя мощности тракта передачи в сторону подключения МЗ и Г1 отключается. Если параллельно точкам двухпроводного переприема подключить вольтметр или измеритель уровня, то, измеряя транзитный тракт, одновременно можно проверить тракты приема и передачи отдельных полуккомплектов.

Глава одиннадцатая

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАНАЛОВ СВЯЗИ

11-1. Общие измерения

Качество каналов связи в значительной мере определяется качеством ВЧ тракта, уровнем линейных помех, степенью согласования входных сопротивлений аппаратуры уплотнения и ВЧ тракта.

Определение качества согласования входных сопротивлений аппаратуры уплотнения и ВЧ тракта осуществляется путем выполнения специальных измерений частотной характеристики системы: *вход группового тракта передачи полуккомплекта аппаратуры на подстанции А — ВЧ тракт — выход приемного высокочастотного фильтра полуккомплекта аппаратуры на подстанции Б*. В некоторых случаях для упрощения процесса измерения выполняют исследование участка тракта: *вход телефонного канала полуккомплекта аппаратуры подстанции А — ВЧ тракт — выход ВЧ приемного фильтра полуккомплекта аппаратуры подстанции Б*. Сущность измерения сводится к следующему. На корреспондирующем полуккомплекте аппаратуры выключают все служебные сигналы, в том числе и сигнал контрольной частоты. Подключив ко входу группового тракта передачи измерительный генератор поочередно с частотным интервалом 100—200 Гц и постоянным уровнем, передают сигналы, лежащие в полосе рабочих частот системы связи. На приемном полуккомплекте аппаратуры эти сигналы измеряют вольтметром или измерителем уровня на выходе приемного ВЧ фильтра. По данным измерений строят частотную характеристику тракта как зависимость $\Delta a_{\text{ч.х.т}} = \varphi(f)$:

$$\Delta a_{\text{ч.х.т}} = 20 \lg \frac{U_0}{U_f} = p_0 - p_f, \quad (11-1)$$

где U_0, p_0 — напряжение или уровень сигнала средней частоты рабочей полосы тракта на выходе фильтра приема; U_f, p_f — напряжение и уровень сигналов других частот в этой же точке измерения.

Если при анализе характеристики обнаружены значительные неравномерности затухания в полосе рабочих частот, то причиной этого может явиться неравномерность затухания ВЧ тракта или наличие несогласованности выходных сопротивлений аппаратуры и ВЧ тракта. С помощью отводов выходного трансформатора линейного фильтра передатчика и входного трансформатора ВЧ фильтра приемника добиваются получения наиболее равномерной частотной характеристики в полосе рабочих частот системы связи. Следует подчеркнуть, что наличие в технической документации на систему связи частотной характеристики тракта: *вход группового тракта передачи — ВЧ тракт — выход приемного фильтра* — в значительной мере облегчает эксплуатационный контроль за состоянием ВЧ тракта. Качество ВЧ тракта в части стабильности его параметров определяется путем измерения той же частотной характеристики дополнительно для двух концевых условий фаз ВЛ, входящих в схему ВЧ тракта: отключенных от шин подстанции и не заземленных проводах, а также при заземленных проводах. Сравнительный анализ характеристик, измеренных для всех трех схем включения ВЛ, позволяет оценить нестабильность затухания ВЧ тракта.

Измерение уровня линейных помех в полосе рабочих частот производится на выходе ВЧ фильтра приема при выключенном передатчике полуккомплекта аппаратуры на противоположном пункте канала связи. Степень влияния линейных помех оценивается величиной, дБ,

$$P_{\text{с/п}} = p_{\text{с}} - p_{\text{п}} = 20 \lg \frac{U_{\text{с}}}{U_{\text{п}}}, \quad (11-2)$$

где $p_{\text{с}}$ и $U_{\text{с}}$ — уровень и напряжение рабочего сигнала на выходе фильтра приема; $p_{\text{п}}$ и $U_{\text{п}}$ — уровень и напряжение помех в той же точке измерения.

Характер линейных помех оценивается по фигуре на экране осциллографа, подключенного к выходу ВЧ фильтра приема. Если в спектре линейных помех обнаруживается присутствие селективной помехи, то уровень ее на выходе фильтра приема измеряется селективным измерителем уровня (СИУ).

При наладке сложных систем связи с промежуточными усилителями, кроме частотной характеристики неравномерности затухания тракта: *вход группового ВЧ тракта — выход фильтра приема промежуточного усилителя*, выполняют измерение частотной характеристики неравномерности затухания тракта: *вход группового тракта передачи оконечной аппаратуры уплотнения — ВЧ тракт — промежуточный усилитель — нагрузка сопротивлением 75 Ом промежуточного усилителя*. Измерение выполняется в следующей последовательности. На передатчике оконечной аппаратуры выключаются все сигналы, в том числе и сигнал контрольной частоты. Система АРУ промежуточного усилителя переводится в фиксированное положение. Выход передатчика промежуточного усилителя отключается от входа последующего ВЧ тракта и нагружается на резистор сопротивлением 75 Ом. Параллельно нагрузке включаются вольтметр и осциллограф. Второй вольтметр, или широкополосный измеритель уровня, подключается к выходу ВЧ приемного фильтра промежуточного усилителя, подключенного к ВЧ тракту. На вход группового тракта оконечной аппаратуры уплотнения подключается измерительный генератор (ИГ), с которого передаются сигналы заданных частот с постоянным уровнем. Измерение этих сигналов на промежуточном усилителе выполняется одновременно и на выходе ВЧ фильтра приема и на нагрузке — резисторе сопротивлением 75 Ом. По данным измерений строятся частотные характеристики неравномерности затухания указанных выше трактов. Разность затуханий двух характеристик соответствует искажениям, вносимым промежуточным усилителем в тракт передачи системы связи.

Все указанные измерения выполняются в обоих направлениях передачи.

При исследовании сложных каналов с промежуточными усилителями прямого усиления (без сдвига частот) выполняются измерения устойчивости промежуточного усилителя. Устойчивость промежуточного усилителя прямого усиления, дБ, определяется по формуле

$$\sigma_{п.у} = S_r - S_n, \quad (11-3)$$

где S_r — усиление усилителя, при котором начинается генерация; S_n — нормальное усиление усилителя.

Устойчивость промежуточного усилителя измеряют в следующей последовательности. Выход усилителя отключают от ВЧ кабеля и нагружают на резистор сопротивлением 75 Ом. С передающего конца канала в линию подается только контрольная частота, уровень которой, дБ, измеряют на входе усилителя $p_{лх}$ и на выходе усилителя $p_{вых}$. Определяют

$$S_n = p_{вых} - p_{лх}. \quad (11-4)$$

Затем снимается контрольная частота с противоположного конца канала, выход промежуточного усилителя подключается к ВЧ кабелю, и удлинителем ручной регулировки чувствительности увеличивают усиление усилителя до момента начала генерации (наличие генерации определяют по осциллографу, подключенному к любой точке транзитного тракта промежуточного усилителя). В таком положении усилитель отключают от ВЧ тракта канала. После этого подают на вход усилителя сигнал от ВЧ генератора, соответствующий средней частоте рабочей полосы, измеряют уровень этого сигнала на входе $p'_{лх}$ и на выходе $p'_{вых}$ промежуточного усилителя, нагруженного на резистор сопротивлением 75 Ом.

Определяют величину усиления по формуле

$$S_r = p'_{вых} - p'_{лх}. \quad (11-5)$$

Установив удлинитель ручной регулировки чувствительности в то положение, которое было в начале измерения, измеряют уровни сигнала на входе и выходе усилителя и определяют максимальное усиление усилителя $S_{макс}$, дБ, как усиление в условиях максимальной чувствительности, т. е. при отключенной системе АРУ:

$$S_{макс} = p''_{вых} - p''_{лх}, \quad (11-6)$$

где $p''_{лх}$ и $p''_{вых}$ — уровни сигнала на входе и выходе промежуточного усилителя.

Устойчивость усилителя определяют подстановкой полученных значений в формулу (11-3); запас устойчивости, дБ, определяют по формуле

$$\Delta\sigma_{п.у} = S_r - S_{макс}. \quad (11-7)$$

Запас по перекрываемому затуханию $A_{зап}$ измеряют следующим образом. На передающем конце канала между ВЧ выходом передатчика и входом ВЧ кабеля включают магазин затухания (МЗ) с нулевым затуханием (при этом от передатчика должен по-

ступать сигнал, управляющий системой АРУ). На выход дифференциальной системы приемного конца канала включают псофометр. Увеличивая затухание магазина затухания ($\Delta a_{м.з}$), фиксируем его значение, при котором псофометр покажет напряжение помех, 35—38 мВ. В этом случае $A_{зап}$ численно равно $\Delta a_{м.з}$. При отсутствии псофометра для измерения с меньшей точностью может быть использован электронный вольтметр, который вместе с нагрузкой сопротивлением 600 Ом включают на выход дифференциальной системы приемного конца канала.

Измерения величин $A_{зап}$ выполняют в обоих направлениях передачи, но канал оценивается наименьшим значением измеренных величин. Для канала с промежуточными усилителями измеряют величины $A_{зап}$ по участкам канала и по транзитному каналу. Измерения ведутся также в обоих направлениях передачи.

11-2. Измерение каналов телефонной связи

Качество работы телефонного канала при заданной полосе эффективно передаваемых частот определяется остаточным затуханием, частотной и амплитудной характеристиками остаточного затухания, помехозащищенностью и устойчивостью.

Определение остаточного затухания по существу сводится к измерению рабочего затухания канала на частоте 800 Гц.

Методика измерения остаточного затухания канала сводится к следующему. Ко входу дифференциальной системы аппаратуры на одном конце канала подключают генератор измерительного чемодана, с которого подается сигнал частоты 800 Гц уровнем на 5 дБ ниже номинального уровня сигнала, установленного в этой точке для данного канала. К двухпроводному входу дифференциальной системы аппаратуры на противоположном конце канала подключают указатель уровня измерительного чемодана с 600-омным входом. Тракт передачи этой аппаратуры отключают на время измерения и регулировки остаточного затухания. Остаточное затухание канала, дБ, определяется по формуле

$$a_{ост} = p_{вх} - p_{вых}, \quad (11-8)$$

где $p_{вх}$ — уровень сигнала частоты 800 Гц на входе канала; $p_{вых}$ — уровень этого сигнала на выходе канала,

При отсутствии измерительного чемодана измерение производят при помощи генератора звуковых частот и схемы эквивалентного генератора. Вместо указателя уровня ко входу дифференциальной системы противоположного конца канала подключают резистор сопротивлением 600 Ом и параллельно электронный вольтметр, измеряющий напряжение $U_{вых.к}$. Остаточное затухание, дБ, определяется как

$$a_{ост} = 20 \lg \frac{U_E}{U_{вых.к}}, \quad (11-9)$$

где U_E — напряжение на выходе генератора звуковых частот.

Частотная характеристика остаточного затухания измеряется таким же образом, но с измерительного генератора передаются поочередно сигналы различных частот одинакового уровня.

Частотной характеристикой остаточного затухания называется зависимость рабочего затухания канала от частоты сигнала, подаваемого на вход канала при постоянстве уровня этого сигнала.

Амплитудной характеристикой канала называется зависимость его рабочего затухания от уровня сигнала частоты 800 Гц, подаваемого на вход канала. Неравномерность частотной характеристики, дБ, оценивается величиной

$$\Delta a_{ост} = a_{ост} - a_{остf}, \quad (11-10)$$

где $a_{ост}$ и $a_{остf}$ — соответственно затухания сигналов частоты 800 Гц и частоты f .

Графически частотная характеристика остаточного затухания строится как зависимость $a_{ост}$ от частоты.

При измерении амплитудной характеристики схема включения приборов остается той же, что и в предыдущем случае. Меняя уровень сигнала частоты 800 Гц на входе канала ступенями в 5 дБ начиная с уровня —20——25 дБ, измеряют для каждого случая остаточное затухание. Графически амплитудная характеристика строится как зависимость остаточного затухания от уровня сигнала на входе канала. Рабочей частью амплитудной характеристики считается участок, в пределах которого остаточное затухание остается постоянным с точностью до 1 дБ.

Загиб амплитудной характеристики телефонного канала, имеющего ограничитель максимальных амплитуд,

должен соответствовать входному уровню сигнала $0 \pm 2,5$ дБ, однако для случая каналов связи с высоким уровнем линейных помех загиб амплитудной характеристики может соответствовать уровню входного сигнала -4 дБ. Характер амплитудной характеристики за точкой перегиба должен соответствовать требованиям на ограничители максимальных амплитуд.

Нестабильностью остаточного затухания $\Delta_{ост}$ называют изменение остаточного затухания в процессе эксплуатации. Различают нестабильность $\Delta_{ост1}$, обусловленную работой системы АРУ, и нестабильность $\Delta_{ост2}$, обусловленную изменениями схемы включения оборудования высокого напряжения и ВЛ. Определение нестабильности вида $\Delta_{ост1}$ выполняется путем измерения остаточного затухания в условиях изменения затухания ВЧ тракта. К ВЧ входу приемника подключают МЗ и, меняя его затухание от 0 до 30—40 дБ ступенями в 5 дБ для каждой точки, измеряют остаточное затухание $a_{ост}$. Нестабильность остаточного затухания определяется по формуле

$$\Delta_{ост1} = a_{ост} - a_{ост.н}, \quad (11-11)$$

где $a_{ост.н}$ — остаточное затухание при нулевом затухании МЗ.

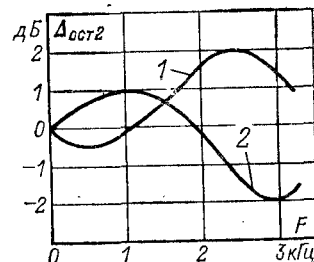
При оценке влияния на качество телефонного канала нестабильности вида $a_{ост2}$ нас интересует частотная характеристика нестабильности остаточного затухания, измерение которой выполняется следующим образом. Измерив частотную характеристику остаточного затухания телефонного канала при нормальном (рабочем) состоянии ВЛ, выполняются измерения этой характеристики при различных схемах ВЛ на подстанциях (провода ВЛ отключены от подстанции и не заземлены, провода заземлены со стороны подстанции и т. д.). Частотные характеристики нестабильности остаточного затухания изображаются зависимостью $\Delta_{ост2} = \varphi(f)$ для каждой схемы ВЛ. Здесь

$$\Delta_{ост2} = a_{ост.к} - a_{ост.н}, \quad (11-12)$$

где $a_{ост.к}$ — остаточное затухание телефонного канала на данной частоте при данной схеме подключения ВЛ и подстанции.

На рис. 11-1 приведено графическое изображение частотных характеристик нестабильности остаточного затухания, которая достигает значений $+2$ и -2 дБ. Величины $\Delta_{ост1}$ и $\Delta_{ост2}$ не должны превышать 3 дБ.

Рис. 11-1. Частотные характеристики нестабильности остаточного затухания канала телефонной связи при заземлении ВЛ на подстанции (1) и холостом ходе ВЛ (кривая 2).



Устойчивостью канала σ_k называют допустимое снижение в обоих направлениях остаточного затухания от нормального его значения до момента возникновения генерации. Величина σ_k определяется следующим образом. Выполняют соединение в канале, выход дифференциальной системы отключают от телефонной автоматики аппаратуры, т. е. переводят дифференциальную систему в режим холостого хода. Подключив на выход одной из дифференциальных систем осциллограф или высокоомный телефон, регуляторами усилителей низкой частоты на обоих концах канала постепенно увеличивают усиление до возникновения генерации в канале. После этого усиление усилителей уменьшают до состояния, при котором канал находится на пороге генерации. При полученных положениях регуляторов усилителей низкой частоты измеряют остаточное затухание в каждом направлении передачи. На время измерения остаточного затухания обратное направление передачи следует отключить. Такое же измерение проводят, подключив к дифференциальной системе телефонный аппарат самого дальнего абонента.

Устойчивость, дБ, определяется из выражения

$$\sigma_k = 0,5(a_{ост.н1} - a_{ост.г1}) + (a_{ост.н2} - a_{ост.г2}), \quad (11-13)$$

где $a_{ост.н1}$ и $a_{ост.н2}$ — нормальные величины остаточного затухания в прямом и обратном направлениях; $a_{ост.г1}$ и $a_{ост.г2}$ — остаточные затухания в тех же направлениях, соответствующие порогу генерации канала.

Устойчивость любого простого канала не должна быть менее 2,5—3,5 дБ при холостом ходе дифференциальной системы и не менее 6 дБ при дифференциальной системе, нагруженной на телефонный аппарат абонента.

В сложных ВЧ каналах при наличии переприема или промежуточного усилителя со сменой частот измерение устойчивости на усилительном участке транзитного канала выполняется так же, как для простого канала.

В каналах, оборудованных промежуточными усилителями с инверсией частот приема и передачи или без смены частот (прямого усиления), следует ожидать уменьшения устойчивости транзитного канала в условиях увеличения затухания ВЧ трактов усилительных участков.

При измерении устойчивости транзитного канала с промежуточным усилителем прямого усиления между ВЧ кабелем и ВЧ входом каждого оконечного полукомплекта аппаратуры уплотнения включают магазин, затухание которого устанавливается численно равным рабочему пределу регулирования системы АРУ промежуточного усилителя в соответствующем направлении передачи.

Измерение помех в телефонных каналах производится псофометром, который подключается 600-омным входом к выходу дифференциальной системы телефонного канала. На противоположном конце канала выход дифференциальной системы нагружается на резистор сопротивлением 600 Ом. При измерении уровня собственных помех канала по всем другим каналам системы связи рабочие и служебные сигналы не передаются. При измерении переходных влияний между каналами многоканальной системы связи исследуемый канал, как и в предыдущем случае, нагружается с обеих сторон на нагрузки сопротивлением 600 Ом. На вход канала, влияние которого необходимо измерить, подается влияющий сигнал, на противоположном конце выход дифференциальной системы влияющего канала нагружается на резистор сопротивлением 600 Ом. В качестве влияющего сигнала используется либо одночастотный сигнал уровнем передачи 0 дБ, либо двухчастотный сигнал уровнем передачи каждого сигнала —6 дБ по напряжению. В случае многоканальных систем влияющие одночастотные сигналы подаются на вход двух каналов. Частоты влияющих каналов выбираются таким образом, чтобы в исследуемый канал проникали сигналы комбинационных частот.

При выборе значений частот влияющих сигналов необходимо учитывать рекомендации § 4-6. Степень влияния, дБ, оценивается защищенностью

$$A_a = p_n - p_a = 20 \lg \frac{U_n}{U_a}, \quad (11-14)$$

где p_n , U_n — номинальные значения уровня и напряжения рабочего сигнала в точке измерения; p_a , U_a — уровни и напряжения влияющего сигнала в той же точке измерения.

Нелинейные искажения сигнала в телефонном канале оцениваются коэффициентом нелинейных искажений

$$K_{н.и} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{U_1}, \quad (11-15)$$

где U_1 — U_n — напряжения на выходе канала соответственно первой и последующих n -гармонических составляющих синусоидального сигнала, передаваемого по каналу.

Методика измерения сводится к следующему. Синусоидальный сигнал частоты 400 Гц передается по телефонному каналу уровнем на входе дифференциальной системы —6 дБ. На приемном конце канала (выходе дифференциальной системы) на нагрузке сопротивлением 600 Ом анализатором гармоник измеряются напряжения всех гармонических составляющих сигнала, и по формуле (11-15) определяется коэффициент нелинейных искажений. Сигнал измерительного генератора (ИГ) не должен содержать гармонических составляющих амплитудами более 0,5%, если это условие не выполнено, то сигнал ИГ подается на вход канала через фильтр, срезающий высшие гармонические составляющие.

11-3. Измерение каналов телемеханики

В общем случае качество работы канала телемеханики определяется искажениями, которые претерпевает сигнал телемеханики при передаче его по каналу. Чем меньше эти искажения, тем выше качество работы канала телемеханики.

Для каналов дискретных систем телемеханики искажения проявляются в виде изменения формы и частоты передаваемого сигнала. Для каналов частотных систем телемеханики важным фактором является также соотношение уровней сигнала и помехи на выходе приемника канала.

Качественными показателями дискретного канала телемеханики являются:

а) краевые искажения посылок σ_n в номинальных (паспортных) условиях работы канала;

- б) запас по перекрываемому затуханию $A_{\text{зап}}$;
 в) допускаемое изменение остаточного затухания $\Delta a_{\text{ост.тм}}$ канала телемеханики.

Критерием для оценки этих величин является номинальный запас устойчивости канала телемеханики, определяемый выражением

$$Z_y = \mu - \delta_{\text{м.д.}} \quad (11-16)$$

где μ — исправляющая способность приемного устройства телемеханики, работающего по данному каналу; $\delta_{\text{м.д.}}$ — максимальная допустимая величина искажений посылок.

Исправляющей способностью называется максимальная величина искажений параметра сигнала, выраженная в процентах и измеренная на входе приемного устройства телемеханики, при которой это устройство еще может нормально выполнять свои функции, т. е. работать без блокировки принятой комбинации и исправления или повторного запроса. Исправляющая способность устройства определяется по паспортным данным аппаратуры либо путем специальных измерений.

Величина Z_y в общем случае зависит от стабильности и качественных показателей параметров аппаратуры уплотнения, ВЧ тракта и условий эксплуатации. В большинстве случаев Z_y принимается равным 10—15%.

Краевые искажения $\delta_{\text{и}}$ измеряются с помощью измерителей краевых искажений при номинальной скорости передачи посылок по данному каналу в номинальном режиме канала связи, т. е. в режиме, когда все основные параметры канала связи соответствуют данным электрического паспорта, составленного при вводе канала в эксплуатацию. При выполнении измерения $\delta_{\text{и}}$ по всем другим каналам данной системы связи осуществляют передачу сигнала 800 Гц номинального уровня по телефонным каналам и сигналам телемеханики по каналам телемеханики. Чем больше разность значений $\delta_{\text{и}}$ и $\delta_{\text{м.д.}}$, тем выше качество канала телемеханики.

Запас по перекрываемому затуханию определяется по формуле

$$A_{\text{зап}} = \Delta a_{\text{тр}}, \quad (11-17)$$

где $\Delta a_{\text{тр}}$ — добавочное затухание ВЧ тракта, при введении которого краевые искажения посылок достигают значения $\delta_{\text{м.д.}}$.

Данное измерение выполняется в следующей последовательности. По всем каналам, кроме исследуемого,

передается информация. По исследуемому каналу передаются с номинальной скоростью комбинации испытательного текста, а на приемном конце измеряются краевые искажения. С помощью магазина затуханий (МЗ), подключенного к выходу ВЧ передатчика аппаратуры уплотнения (передающего полукомплекта), ступенями в 3—5 дБ снижают уровень передачи до тех пор, пока измеритель краевых искажений на приемном конце канала не зарегистрирует появление искажений, равных $\delta_{\text{м.д.}}$. Добавочное затухание $\Delta a_{\text{м.з.}}$, введенное на МЗ, будет численно равно $A_{\text{зап}}$. Величина $A_{\text{зап}}$ должна быть не менее 15 дБ, и чем она больше, тем выше качество канала телемеханики.

Если частотная характеристика затухания ВЧ тракта нестабильна во времени, то для оценки качества канала телемеханики большой интерес представляет запас по изменению остаточного затухания канала телемеханики, который определяется величиной

$$\Delta a_{\text{ост.тм}} = p_{\text{м.д.}} - p_{\text{н}} = 20 \lg \frac{U_{\text{макс}}}{U_{\text{н}}} = 20 \lg \frac{U_{\text{н}}}{U_{\text{мин}}}, \quad (11-18)$$

где $p_{\text{м.д.}}$ — максимально (минимально) допустимый уровень сигнала телемеханики на выходе фильтра приемного модема; $p_{\text{н}}$ — номинальный уровень сигнала в той же точке измерения; $U_{\text{макс}}$, $U_{\text{мин}}$ — максимально и минимально допустимые напряжения сигнала канала телемеханики на выходе фильтра приемного модема; $U_{\text{н}}$ — номинальное напряжение сигнала телемеханики в той же точке измерения.

Как видно из (11-18), величина $\Delta a_{\text{ост.тм}}$ характеризуется двумя значениями, соответствующими понижению и повышению уровня приема канала телемеханики. Измерение значений $\Delta a_{\text{ост.тм}}$ выполняется в следующей последовательности. По исследуемому каналу передаются с номинальной скоростью комбинации испытательного текста, а по всем другим каналам данной системы передаются рабочие сигналы.

Ориентируясь по показаниям измерителя краевых искажений, подключенного к выходу исследуемого канала телемеханики, изменяют усиление группового усилителя каналов телемеханики на приемном полукомплекте аппаратуры уплотнения до появления искажений, равных $\delta_{\text{м.д.}}$. Сначала усиление усилителя увеличивают по сравнению с номинальным усилением, а затем уменьшают. Для каждого значения усиления, при котором

краевые искажения равны $\delta_{м.д.}$, измеряют уровень приемного сигнала $P_{м.д.}$ или напряжение на выходе приемного фильтра $U_{м.д.}$. Зная значения P_H и U_H номинального режима работы системы связи, по формуле (11-18) определяют два значения допустимого изменения остаточного затухания канала телемеханики. При измерении уровней (напряжения) передачу информации по всем каналам системы связи, в том числе и по исследуемому каналу телемеханики, временно прекращают.

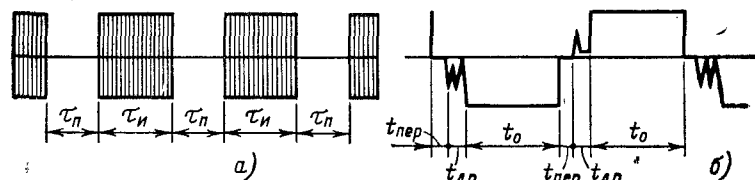


Рис. 11-2. Осциллограммы импульсов (а) и движения якоря поляризованного реле (б).

При выполнении измерения искажений необходимо определить вид наблюдаемых краевых искажений. Случайные искажения и искажения преобладания измеряют при передаче по каналу телемеханики «точек», т. е. непрерывной комбинации элементарных посылок, в которой две соседние посылки отличаются знаком (0 и 1; «+» и «—»). Эту испытательную комбинацию обозначают 1:1. Как правило, измеритель искажений при наличии случайных искажений периодически показывает ряд величин, лежащих в пределах от α_1 до $\alpha_{макс}$. С достаточной точностью можно считать, что α_1 — величина искажений преобладания, а $\alpha_2 = (\alpha_{макс} - \alpha_1)$ — величина случайных искажений.

Для выявления наличия характеристических искажений измерение выполняется при передаче по каналу испытательной серии посылок типа 1:6 и 6:1, т. е. серии, в которой элементарная посылка одного знака находится в окружении шести элементарных посылок другого знака. Если при комбинации 1:6 искажения равны α_2 , а при комбинации 6:1 — α_3 , то характеристическое искажение в канале телемеханики определяют по формуле

$$\alpha_x = 0,5 |\alpha_2 - \alpha_3|, \quad (11-19)$$

а искажения преобладания по формуле

$$\alpha_n = 0,5 |\alpha_2 + \alpha_3|. \quad (11-20)$$

При отсутствии измерителя искажений измерение искажений выполняется с помощью осциллографирования импульсов на входе и выходе канала и сравнения полученных осциллограмм. Наиболее точные результаты получаются при использовании шлейфных осциллографов. Измерение искажений импульсов с помощью электронных осциллографов при наличии модемов с релейным (контактным) выходом выполняется в следующей последовательности. На передающем конце канала вы-

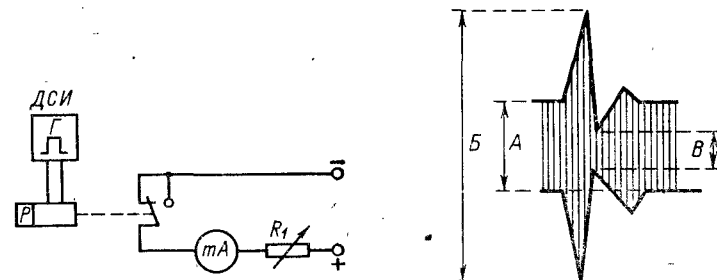


Рис. 11-3. Измерение коэффициента отдачи реле.

Рис. 11-4. Осциллограмма сигнала несущей частоты канала телемеханики, подверженного влиянию импульсной помехи.

ход датчика симметричных импульсов подключается к вертикальному входу осциллографа. Параллельно выходу датчика через конденсатор небольшой емкости и ограничивающий резистор подключается выход звукового генератора, с которого подается сигнал тональной частоты. При определенной развертке на экране осциллографа появится неподвижное изображение импульсов, подобное изображенному на рис. 11-2,а. Используя сетку осциллографа, датчик регулируют так, чтобы длительности импульсов τ_n и пауз $\tau_{ин}$ были равны. После этого датчик подключают к каналу, а на контактах приемного реле этого канала собирают измерительную схему, подобную описанной выше. Искажения импульсов, %, определяются по формуле

$$\delta = \left| \frac{\tau'_n - \tau_n}{\tau_n + \tau_{ин}} \right| \cdot 100. \quad (11-21)$$

При наличии у приемного модема релейного выхода необходимо проверить качество работы поляризованного реле путем осциллографирования импульсов, поступаю-

щих с якоря реле в местную цепь. При выполнении этого измерения по каналу передаются симметричные послышки. На рис. 11-2,б приведена осциллограмма движения якоря приемного реле. Здесь t_0 — время отдачи реле, т. е. время нахождения якоря у одного из контактов (время замыкания контактов); $t_{\text{пер}}$ — время перехода якоря поляризованного реле от одного контакта к другому; $t_{\text{др}}$ — время дребезга реле — время вибрации якоря у контакта. Время потерь реле определяется величиной $t_{\text{п}} = t_{\text{пер}} + t_{\text{др}}$, а качество работы реле определяется коэффициентом отдачи K_0 или коэффициентом потерь $K_{\text{п}}$:

$$K_0 = \frac{t_0}{T_0} = 1 - K_{\text{п}} = 1 - \frac{t_{\text{п}}}{T_0}, \quad (11-22)$$

где T_0 — длительность элементарной послышки, причем $T_0 = t_0 + t_{\text{п}}$.

Простейшая схема измерения коэффициента отдачи реле приведена на рис. 11-3. При выключенном датчике симметричных импульсов ДСИ с помощью резистора R_1 устанавливают показание миллиамперметра, равное 100 делениям шкалы прибора (чувствительность прибора здесь не имеет значения). При включении ДСИ стрелка прибора покажет α делений. Коэффициент отдачи, %, подсчитывается по формуле

$$K_0 = \alpha.$$

Если при измерении дискретного канала телемеханики окажется, что краевые искажения выше установленной нормы, необходимо выполнить комплекс специальных измерений для определения причин возникновения добавочных искажений. В первую очередь по осциллографу, подключенному к выходу фильтра приемного модема, оценивают паразитную амплитудную модуляцию помехи.

Паразитная амплитудная модуляция определяется по формуле (3-8) в условиях передачи по каналу с номинальной скоростью комбинации точек. Глубина паразитной амплитудной модуляции не должна превышать 40%.

Помехи измеряются при передаче по каналу телемеханики немодулированного сигнала несущей частоты. Установив малую частоту развертки электронного осциллографа, подключенного к выходу приемного фильтра до ограничителя амплитуд, по кривой на рис. 11-4

определяют амплитуды помех и их характер:

$$U_{\text{пом}} = U_c \frac{B-A}{A}; \quad U'_{\text{пом}} = U_c \frac{A-B}{A}, \quad (11-23)$$

где U_c — напряжение сигнала несущей частоты в точке измерения.

На осциллограмме рис. 11-4 показано воздействие импульсной помехи, вызывающей случайные искажения. При наличии постоянной селективной (синусоидальной) помехи следует ожидать появления периодически меняющихся искажений. Для проверки качества ограничения приемного сигнала осциллограф подключается к выходу ограничителя максимальных амплитуд и при передаче по каналу информации измеряется паразитная амплитудная модуляция, которая не должна превышать 2—3%.

При наличии значительных характеристик искажений необходимо выполнить измерения частотной характеристики канала телемеханики. На передающем конце канала в передающем модеме выключают генератор несущей частоты, а на вход выходного усилителя включают измерительный генератор (ИГ). На выходе фильтра приемного модема до ограничителя амплитуд включают вольтметр. С ИГ подают сигнал частоты, равной номинальному значению средней частоты рабочей полосы канала. На приемном модеме измеряют напряжение U_0 этого сигнала. Частоту ИГ сначала уменьшают, а затем увеличивают до значений F_1 и F_4 , при которых напряжение приемного сигнала равно $0,25U_0$. Подобным же образом определяют частоты F_2 и F_3 , при которых напряжение приемного сигнала равно $0,5U_0$. В интервалах частот F_2 — F_3 производят измерение частотной характеристики через каждые $0,1(F_3 - F_2)$ Гц, фиксируя при этом также точки экстремальных значений затухания. По данным измерения выполняют графическое построение частотной характеристики относительного затухания канала $\Delta a_{\text{ч.х}} = \psi(F)$:

$$\Delta a_{\text{ч.х}} = 20 \lg \frac{U_0}{U_F}, \quad (11-24)$$

где U_F — напряжение приемного сигнала на данной частоте измерения.

На рис. 11-5 представлены две типичные частотные характеристики канала телемеханики. Характеристика 1 канала с эффективной полосой частот пропускания $\Delta\Phi_1$ имеет неравномерность затухания 2,5 дБ, а характеристика 2 — неравномерность затухания 6,0 дБ. Максимальная скорость передачи по каналу телемеханики при отсутствии влияния характеристических искажений определяется по формуле

$$B_M = \frac{1}{k\Delta\Phi}, \quad (11-25)$$

где $k=1,15 \div 1,3$.

По известному значению $\Delta\Phi$ выполняют проверку правильности установки частотного сдвига несущего сигнала канала телемеханики. Оптимальное значение частотного сдвига определяется формулой

$$\Delta f_c = (0,65 \div 0,7) \Delta\Phi. \quad (11-26)$$

Каналы частотных систем телемеханики характеризуются напряжениями рабочих сигналов на входе $U_{вх}$ и выходе $U_{вых}$ канала, частотной характеристикой остаточного затухания и запасом по перекрываемому затуханию. В ряде случаев практический интерес представляет нелинейность сигнала на выходе канала телемеханики. Нелинейность выходного сигнала измеряется в соответствии с рекомендациями, изложенными выше.

Остаточным затуханием канала частотной системы телемеханики называется величина

$$a_{ост.тм} = 20 \lg \frac{U_{вх}}{U_{вых}}. \quad (11-27)$$

Частотной характеристикой остаточного затухания называется зависимость $a_{ост.тм}$ от частоты сигнала, передаваемого по каналу. Качество частотной характеристики оценивается величиной неравномерности

$$\Delta a_{ост.тм} = a'_{ост.тм} - a''_{ост.тм}, \quad (11-28)$$

где $a'_{ост.тм}$ — остаточное затухание на средней частоте рабочей полосы датчика устройства телемеханики. Для устройств типа ТНЧ эта частота равна 35 Гц; $a''_{ост.тм}$ — остаточное затухание на других частотах рабочей полосы.

При измерении на вход канала подается сигнал непосредственно от датчика устройства телемеханики либо от измерительного генератора (ИГ). Напряжение сигнала $U_{вх}$ устанавливается равным рабочему напряжению, соответствующему техническим условиям на аппаратуру уплотнения.

Выход канала нагружается на номинальную нагрузку, параллельно которой подключаются электронный вольтметр и осциллограф.

При измерении частотной характеристики остаточного затухания напряжение сигнала на входе канала поддерживается постоянным, а частота сигнала меняется в пределах рабочей полосы частот ступенями в 3—5 Гц. В обязательном порядке измеряется остаточное затухание на граничных и средней частотах рабочей полосы. Неравномерность частотной характеристики вычисляется по формуле

$$\Delta a_{ч.х} = 20 \lg \frac{U_c}{U_F}, \quad (11-29)$$

где U_c — напряжение приемного сигнала средней частоты; U_F — то же других частот.

Для определения запаса по перекрываемому затуханию каналов частотных систем телемеханики выполняются измерения напряжений: $U_{\text{сиг}}$ — сигнала поднесущей частоты на выходе фильтра приема; U_c — рабочего сигнала на выходе приемника при передаче по каналу средней частоты рабочей полосы; $U_{\text{пом}}$ — помехи на выходе приемника при передаче рабочих сигналов по всем каналам системы, кроме исследуемого канала. Если минимально допустимая для данного канала разность уровней рабочего сигнала и помехи составляет $p_{\text{с/п}}$, то запас по перекрываемому затуханию определяется выражением

$$A_{\text{зап}} = 20 \lg \frac{U_c}{U_{\text{пом}}} - p_{\text{с/п}}. \quad (11-30)$$

Запас по перекрываемому затуханию можно определить следующим образом. По исследуемому каналу передается сигнал поднесущей частоты, а по всем другим

каналам данной системы уплотнения передаются рабочие сигналы. На выходе исследуемого канала телемеханики измеряют напряжение помехи. Подключив к выходу ВЧ передатчика магазин затухания (МЗ), увеличивают его затухание, начиная с нуля, степенями в 2—3 дБ до тех пор, пока напряжение помех на выходе канала телемеханики не достигнет нормированного значения.

Затухание, введенное на МЗ, будет численно равно $A_{зат}$.

11-4. Эксплуатационно-контрольные измерения каналов связи

Наличие в энергосистемах значительного количества каналов диспетчерского и технологического управления требует решения проблем организации эксплуатационно-контрольных измерений, позволяющих в сокращенные интервалы времени выполнить проверку

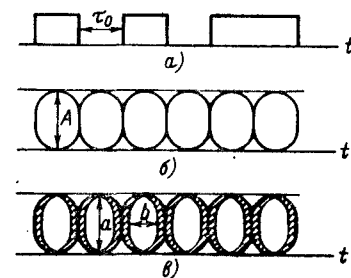


Рис. 11-6. Диаграмма дискретных сигналов (а), осциллограммы неискаженных (б) и искаженных (в) посылок.

качества передаваемой по нему информации. Рассмотрим некоторые методы контрольных измерений свободных каналов связи.

Оценка канала телемеханики по диаграмме «глаза» выполняется в следующей последовательности. С передающего конца канала передается комбинация дискретных посылок вида 1:2 или 1:3 (рис. 11-6,а). На приемном конце канала принятые дискретные сигналы подаются на вход вертикальной развертки электронного осциллографа ЭО, частота горизонтальной развертки которого установлена кратной частоте дискретных сигналов. При отсутствии в канале связи амплитудных и фазовых искажений на экране ЭО будет наблюдаться фигура рис. 11-6,б, а при наличии искажений — фигура, показанная на рис. 11-6,в. Искажения, обусловленные неравномерностью частотной характеристики канала связи, определяются степенью уменьшения вертикального размера «гла-

за» и характеризуются коэффициентом

$$\Delta_1 = \frac{a}{A}, \quad (11-31)$$

где a — фактически существующее открытие «глаза»; A — максимально возможное открытие «глаза».

Фазовые искажения определяются коэффициентом

$$\Delta_2 = \frac{\tau_0 - b}{b}, \quad (11-32)$$

где τ_0 — длительность элементарной посылки; b — ширина открытия «глаза», наблюдаемая на экране ЭО.

Следует отметить, что величины Δ_1 и Δ_2 являются в то же время и функцией помех, имеющих место в канале связи. Чем выше уровень помех, тем толще затемненные участки изображения «глаза» (рис. 11-6,в). При $\Delta_2 > (\mu - 10)\%$ канал связи считается непригодным для передачи дискретных сигналов с заданной скоростью передачи $B = 1/\tau_0$. Здесь μ — исправляющая способность приемного устройства дискретных сигналов.

Оценка качества канала связи по «отклику» на единичный контрольный сигнал производится следующим образом.

На вход канала подается измерительный импульс прямоугольной формы и очень малой длительности. На выходе канала из-за ограниченной полосы частот пропускания образуется импульс интегрального синуса, показанный на рис. 11-7. Ширина лепестка импульса на выходе канала пропорциональна ширине полосы частот пропускания канала связи, т. е. $\Delta\tau_0 = k/f_0$, где f_0 — граничная частота полосы пропускания канала связи со стороны низкочастотного входа канала.

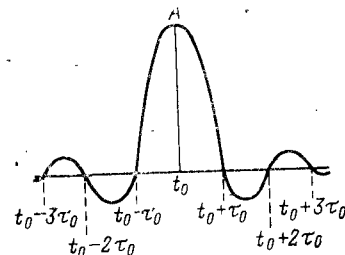


Рис. 11-7. Осциллограмма импульса интегрального синуса.

При отсутствии амплитудных и фазовых искажений в канале форма выходного импульса симметрична (рис. 11-7). Наличие искажений вызывает нарушение формы импульса. На приемном конце канала связи напряжение измерительного импульса подается через систему переменного амплитудного и фазового корректора на вход вертикальной развертки ЭО. Измерительные импульсы передаются периодически при скважности не менее 32τ₀, поэтому при соответствующей частоте развертки ЭО на экране можно получить неподвижное изображение импульса. Меняя параметры амплитудного и фазового корректора, включенного перед ЭО, добиваются получения неискаженной формы приемного импульса. По введенной в канал амплитудной и фазовой коррекции определяют амплитудно-частотные и фазочастотные искажения, имеющие место в исследуемом канале связи. Следует отметить, что измерительные приборы, построенные по данному методу измерения, достаточно сложны.

Оценку канала передачи дискретной информации можно осуществлять по пиковому и среднему значениям напряжения измерительных импульсов, так как при передаче импульса по каналу связи вследствие наличия фазочастотных и амплитуд-

но-частотных искажений наблюдается изменение значений отношения пикового и среднего напряжения импульсов. Функциональная схема измерительного устройства, основанного на данном методе измерения, приведена на рис. 11-8, а. С генератора измерительных сигналов ГИС на вход канала связи КС подаются измерительные импульсы специальной формы с большой скважностью. Возможные формы измерительных импульсов показаны на рис. 11-8, б. На приемном конце канала эти импульсы усиливаются усилителем У, и их напряжение измеряется измерителями пиковых значений ИПЗ и среднего значения ИСЗ. Измеритель отношения пикового и среднего значения напряжений ИОН обеспечивает выдачу значения коэффи-

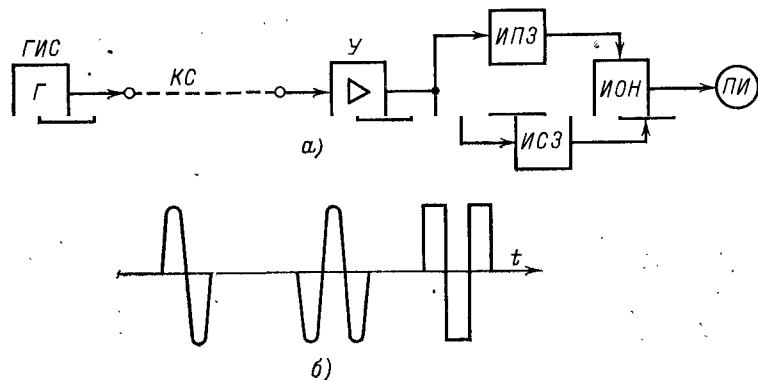


Рис. 11-8. Функциональная схема (а) и форма испытательных импульсов (б) устройства для измерения искажений в канале дискретной информации.

циента отношения на цифровой или стрелочный прибор индикации ПИ. Чем меньше значение коэффициента отношения, тем большие искажения имеются в канале. При отсутствии искажений показание ПИ равно единице.

Перечисленные выше методы контрольных измерений качества канала связи рассчитаны на измерение свободных каналов, т. е. каналов, по которым не передается рабочая информация. В ряде случаев возникает необходимость контроля состояния канала связи без перерыва передачи по этому каналу аналоговой или дискретной информации. Существующие способы такого контроля предусматривают несколько вариантов измерения: в выделенных частотных поддиапазонах канала связи; в принудительных паузах аналоговой передачи; на уровне помех, имеющих место в канале связи.

Устройства контроля в выделенных частотных поддиапазонах канала показаны на рис. 11-9. В устройстве по функциональной схеме рис. 11-9, а используется способ передачи контрольного (измерительного) сигнала на краю спектра частот телефонного канала. Контрольный канал выделяется с помощью узкополосных фильтров УФ, настроенных на частоту 300 Гц либо на частоту 3200—3400 Гц. В этом случае полосовой фильтр канала ФК настраивается так, чтобы напряжение контрольного сигнала, поступающее в канал с гене-

ратора контроля ГК, не попадало в спектр частот телефонного канала. Сигнал контрольной частоты на приемном конце канала выделяется УФ и анализируется индикатором контроля ИК. Поскольку сигнал контрольной частоты проходит через все элементы систем связи, тракт передачи ТП, линейный тракт ЛТ и тракт приема ТПР, то по контролю его приемного уровня на входе ИК можно судить о состоянии остаточного затухания системы связи.

Недостаток данного способа измерения заключается в том, что сигнал контрольной частоты расположен на краю спектра рабочих частот системы связи, и измерения не дают возможности судить полностью о качестве канала.

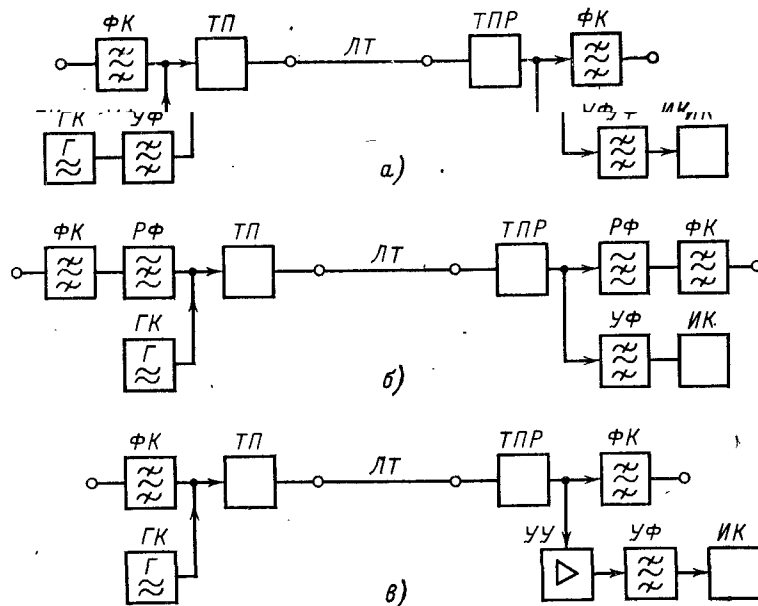


Рис. 11-9. Функциональные схемы устройств контроля остаточного затухания канала в частотных поддиапазонах.

а — на краю рабочего спектра частот канала; б — в середине рабочего спектра частот канала; в — контрольным сигналом, близким к уровню собственных шумов канала связи, и поэтому не может вызвать ухудшение ка-

В функциональной схеме устройства по рис. 11-9, б для контрольного сигнала выделена узкая (10—20 Гц) полоса частот внутри рабочей полосы частот системы связи. Для исключения влияния контрольного сигнала на качество передачи информации предусмотрены узкополосные режекторные фильтры РФ, которые не пропускают сигнал контрольной частоты в сторону НЧ окончания канала связи. В функциональной схеме устройства по рис. 11-9, в используется способ измерения канала связи с использованием сигнала контрольной частоты, близким к уровню собственных шумов канала связи, и поэтому не может вызвать ухудшение ка-

чества передачи информации по каналу связи. Сигнал ГК в данном случае передается уровнем на 45—50 дБ ниже уровня рабочего сигнала и располагается в средней части спектра частот телефонного канала. Для выделения измерительного сигнала на приемном конце канала предусмотрен узкополосный усилитель УУ и узкополосный фильтр УФ с полосой пропускания 2—3 Гц. Только при такой высокой избирательности появляется возможность выделения измерительного сигнала, близкого к уровню собственных помех канала связи. Все устройства, приведенные на рис. 11-9, обеспечивают непрерывные измерения (контроль) остаточного затухания канала связи.

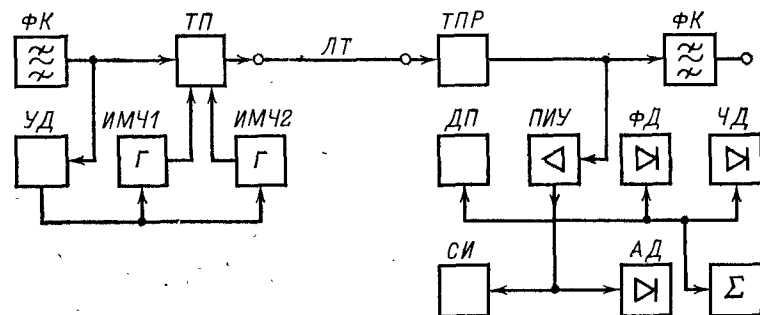


Рис. 11-10. Функциональная схема измерителя по методу двух АМ сигналов.

Для оценки качества канала по нескольким параметрам применяется устройство измерения (контроль) при двух амплитудно-модулированных измерительных сигналах. Функциональная схема такого устройства приведена на рис. 11-10. В фильтре канала ФК предусмотрены элементы, не пропускающие в сторону НЧ окончания канала измерительные сигналы частот f_1 и f_2 . Эти сигналы вырабатываются источниками модулированной частоты ИМЧ1 и ИМЧ2, которые обеспечивают амплитудную модуляцию сигналов f_1 и f_2 инфразвуковой частотой F . Глубина модуляции изменяется под воздействием управляющего детектора УД, реагирующего на уровень рабочего сигнала, передаваемого по каналу связи. Модулированные сигналы f_1 и f_2 подаются в тракт передачи ТП канала связи. На приемном конце канала измерительные сигналы f_1 и f_2 выделяются блоком приема измерительного устройства ПИУ, в котором выполняется соответствующее преобразование амплитудно-модулированных измерительных сигналов с выделением модулирующего сигнала F . Фазовый детектор ФД, реагируя на сдвиг фаз сигналов F , полученных при детектировании измерительных сигналов f_1 и f_2 , обеспечивает контроль группового времени передачи по каналу связи. Блок Σ , в котором производится суммирование и получение среднего значения приемных уровней измерительных сигналов, обеспечивает контроль остаточного затухания канала. Блок частотного детектора ЧД, реагирующий на оба измерительных сигнала, обеспечивает контроль расхождения значений несущих частот преобразователя трактов передачи и приемной аппаратуры уплотнения. Амплитудный детектор АД обеспечивает контроль неравномерности амплитудно-час-

тотной характеристики канала связи на основе сравнения уровней двух измерительных сигналов. Блок детектора помех ДП выделяет помехи, возникшие при передаче измерительных сигналов по каналу связи, и осуществляет контроль уровня этих помех. Счетчик импульсов СИ реагирует на появление импульсных помех, превышающих заданное значение уровня, обеспечивая тем самым контроль канала связи и по этому параметру.

Рассмотренная система контроля предусматривает возможность автоматической сигнализации в случае нарушения норм отдельных параметров канала связи.

Способ контроля каналов связи в паузах между передачей аналоговой информации (телефонного разговора) предусматривает принудительное прекращение передачи информации на короткий интервал времени и передачу в этом интервале времени специального измерительного сигнала, на который реагирует малоинерционный индикатор контроля, расположенный на приемном конце канала связи.

Длительность отдельных звуков человеческой речи лежит в пределах от 20 до 260 мс, и вследствие большой информационной избыточности телефонного разговора пропадание от одного до трех звуков, как показали экспериментальные исследования, не влечет за собой ухудшения передачи информации. Исходя из этого, длительность принудительной паузы выбирают равной 100—150 мс при повторяемости не чаще чем 1 раз в 15—30 с. Контроль качества канала связи осуществляется измерением достоверности передачи дискретной информации со скоростью 1200 Бод, передаваемой в интервале времени принудительной паузы. Информация закодирована в виде специальной комбинации посылок. На приемном конце канала связи эта комбинация дискретных посылок воспринимается контрольным устройством и достоверность передачи устанавливается путем сравнения принятой комбинации с эталонной, заложенной в приемнике контрольного устройства.

Значительный интерес для повышения уровня организации эксплуатации СДТУ энергосистем представляют устройства автоматического измерения (контроля) основных параметров каналов связи. Как правило, требуется осуществить автоматический контроль трех параметров канала связи: остаточного затухания, неравномерности, частотной характеристики остаточного затухания и психометрического уровня помех. В некоторых случаях ставится задача контроля четвертого параметра — коэффициента нелинейных искажений. Устройства автоматического контроля служат для:

- 1) контроля соответствия параметра канала некоторой зоне допуска с получением сигнала «годен — не годен»;
- 2) непосредственного измерения параметра с выдачей измеренной величины на стрелочный или записывающий прибор.

В системе автоматического контроля предусматриваются: распорядительные и исполнительные станции. Распорядительной станцией является, например, линейно-аппаратный зал (ЛАЗ) предприятия электросетей (ПЭС), а исполнительными станциями будут все те периферийные объекты, на которых установлена аппаратура каналов связи, связывающих объект с ПЭС;

поочередный контроль всех каналов связи данного ЛАЗ с запоминанием занятых каналов связи с целью повторного их контроля; измерение параметров в обоих направлениях передачи канала связи;

Минимальная длительность проведения контрольного измерения при соблюдении заданной частоты этих измерений.

Как правило, устройства автоматического контроля представляют собой достаточно сложные системы с программным управлением и дистанционным контролем качества выполняемых функций. На рис. 11-11 приведена функциональная схема устройства для измерения частотной характеристики остаточного затухания телефонного канала. При выполнении измерения с помощью коммутационных устройств станций А и Б к прибору автоматического измерения подключаются два канала связи многоканальной системы МС. Один из этих каналов измеряемый ИК, а второй — служебный СК, используемый для передачи команд и результатов измерений.

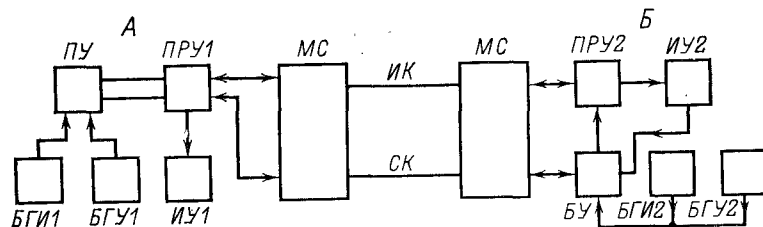


Рис. 11-11. Функциональная схема устройства автоматического контроля частотной характеристики остаточного затухания телефонного канала.

На распорядительной станции А располагаются программное устройство ПУ, приемно-передающее устройство ПРУ1, блок измерительных генераторов БГИ1, блок генераторов управления БГУ1, измерительное и регистрирующее устройство ИУ1. На исполнительной станции Б располагаются приемное устройство ПРУ2, блок управления БУ, измерительное устройство ИУ2. Программное устройство ПУ управляет работой элементов исполнительной станции Б, передавая соответствующие команды по СК с использованием генератора управляющих сигналов БГУ1. Сигналы команд воспринимаются БУ, который выполняет полученные команды и в соответствии с ними обеспечивает измерение сигналов на станции Б и передачу полученных результатов на станцию А. Обратная информация передается по СК с использованием сигналов БУ2. При измерении в направлении передачи А — Б сигналы измерительных частот передаются через ПУ от БГИ1, а при измерении в обратном направлении передачи измерительные сигналы на вход ИК поступают с БГИ2 в соответствии с командой, посылаемой ПУ по СК. Данные измерения в обратном (Б — А) направлении передачи непосредственно фиксируются ИУ1, это же устройство фиксирует результаты измерений станции Б в соответствии с информацией, передаваемой БУ от станции Б по СК. Информация в БУ поступает с ИУ2.

В настоящее время разработана более простая система полуавтоматического измерения частотных характеристик в обоих направлениях передачи канала телефонной связи при наличии оператора только на одном пункте канала связи. Функциональная схема этого устройства приведена на рис. 11-12. На станции А распола-

гается пульт оператора, содержащий генератор фиксированных частот ГФЧ и приемное устройство, включающее дифсистему ДС, преобразователь частоты ПЧ, узкополосный фильтр УФ и измеритель уровня ИУ.

На противоположной станции канала связи располагается автоматический датчик контрольных сигналов, содержащий ДС, ПЧ1, фильтр нижних частот ФНЧ, измерительный фильтр ИФ, переключающее устройство ПУ и два тракта передачи ТП1 и ТП2. В ТП1 предусмотрен ограничитель максимальных амплитуд. Устройства измерения рассчитаны на подключение к испытываемому каналу связи КС со стороны двухпроводного входа канала. Процесс измерения осуществляется следующим образом. Оператор станции А подклю-

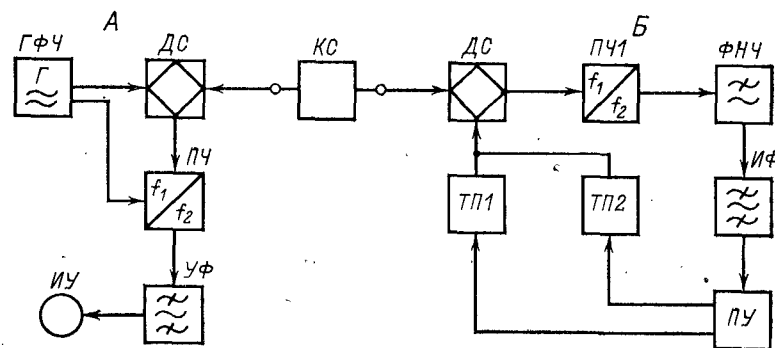


Рис. 11-12. Функциональная схема устройств полуавтоматического контроля частотной характеристики остаточного затухания канала.

чает пульт оператора к нужному каналу связи и вызывает набором номера через АТС станции Б автоматический датчик контрольных сигналов.

Автоматический датчик станции Б предназначен для обслуживания всех каналов связи, заканчивающихся в пункте Б, и подключение его к тому или другому каналу связи осуществляется через АТС пункта Б. После подключения автоматического датчика к каналу связи оператор с ГФЧ подает в канал измерительный сигнал заданной частоты, например F_1 уровнем p_0 . На станции Б сигнал частоты F_1 проходит ДС и поступает на преобразователь частоты ПЧ1, несущая частота которого равна f_n . Преобразованный сигнал вида $f_n - F_1$ выделяется ФНЧ и соответствующим узкополосным фильтром блока ИФ. Переключающее устройство ПУ периодически с интервалом в 2—3 с направляет сигнал $f_n - F_1$ то на вход ТП1, то на вход ТП2. При прохождении сигнала через ТП1, где имеется ограничитель максимальных амплитуд, на вход КС через ДС подается измерительный сигнал частоты $f_n - F_1$ постоянным уровнем p_0 , который остается неизменным во всех пределах изменения остаточного затухания a_{AB} в направлении передачи А — Б. При прохождении контрольного сигнала через ТП2 уровень этого сигнала на входе канала связи определяется по формуле

$$p_2 = p_0 - a_{AB} + \Delta a, \quad (11-33)$$

где Δa — затухание тракта приема-передачи автоматического датчика, которое известно и постоянно.

Таким образом, на вход устройства измерения станции А поступает сигнал контрольной частоты, уровень которого периодически меняется при передаче сигнала p_{02} от величины

$$p_{пр1} = p_{02} - a_{БА} \quad (11-34)$$

до уровня

$$p_{пр2} = p_0 - a_{АБ} + \Delta a - a_{БА} \quad (11-35)$$

при передаче сигнала уровнем p_0 со стороны станции Б. Здесь $a_{БА}$ — остаточное затухание на частоте $f_n - F_1$ в направлении передачи Б — А. Контрольный сигнал частоты $f_n - F_1$, пройдя ДС, поступает на ПЧ, у которого сигнал несущей частоты равен F , так как ПЧ питается непосредственно от ГФЧ. Таким образом, при приеме любой контрольной частоты на выходе ПЧ будет сигнал, частота которого равна:

$$f_k = F_1 + (f_n - F_1) = f_n. \quad (11-36)$$

Узкополосный фильтр УФ настроен на частоту f_n , и сигнал этой частоты, пройдя УФ, поступает на вход измерителя уровня ИУ. Оператор, наблюдая за стрелкой прибора ИУ, фиксирует два значения уровня контрольного сигнала: $p_{пр1}$ и $p_{пр2}$, причем всегда $p_{пр1} > p_{пр2}$. Значения остаточного затухания на частоте F_1 в направлении передачи от А к Б и остаточного затухания на частоте $f_n - F_1$ в направлении передачи от Б к А определяются по формулам:

$$a_{БА} = p_{02} - p_{пр1}; \quad (11-37)$$

$$a_{АБ} = p_0 - a_{БА} + \Delta a - p_{пр2}. \quad (11-38)$$

Если выполнены условия $p_0 = p_{02}$ и $\Delta a = 0$, то

$$a_{АБ} = p_{пр1} - p_{пр2}. \quad (11-39)$$

Подобным же образом выполняется измерение остаточного затухания в обоих направлениях передачи канала связи и на других частотах ГФЧ. Особенностью данного способа измерения является нормирование частотной характеристики остаточного затухания в каждом направлении передачи на разных фиксированных частотах. Приборы, используемые в энергосистемах, обеспечивают измерение частотной характеристики в направлении А — Б на частотах 0,4; 0,8; 1,2; 1,6 и 2 кГц и в обратном направлении передачи на частотах 0,6; 1; 1,4; 1,8 и 2,2 кГц.

Актуальной задачей дальнейшего совершенствования организации эксплуатации каналов СДТУ в энергосистемах является разработка автоматической системы контроля каналов связи по параметру остаточного затухания и уровню линейных помех.

Проверка качества аппаратуры уплотнения в условиях эксплуатации системы связи выполняется при определении причин аппаратных отказов или в процессе плановых профилактических работ.

Обычно эта проверка осуществляется следующим образом. Эксплуатационный персонал на обоих концах системы связи отключает ВЧ аппаратуру от ВЧ линии и нагружает ВЧ передатчик аппа-

ратуры на нагрузку 75 или 100 Ом. В соответствии с рекомендациями § 10-2 выполняются измерения тракта передачи аппаратуры, устранение выявленных повреждений и регулировка режимов углов тракта передачи.

Когда данная работа выполнена на обоих оконечных пунктах системы связи, аппаратура уплотнения подключается к ВЧ линии и начинаются работы по проверке и регулировке тракта приема аппаратуры.

С передатчика аппаратуры пункта А в линию передается только сигнал контрольной частоты. В пункте Б измеряют уровень этого сигнала на выходе полосового фильтра приема аппаратуры и во всех контрольных точках тракта приема, где проходит сигнал контрольной частоты. В соответствии с данными измерения выполняют регулировку системы автоматического регулирования усиления (АРУ) и усиления (затухания) соответствующих узлов ВЧ тракта приема аппаратуры уплотнения. Не снимая сигнала контрольной частоты с передатчика аппаратуры пункта А, передают сигнал телефонного канала частотой 800 Гц с уровнем -5 дБ на входе дифференциальной системы телефонного канала.

В пункте Б по сигналу телефонного канала выполняют измерение и регулировку диаграммы уровня в тракте приема тональной частоты. Установив на выходе дифференциальной системы телефонного канала, нагруженной на входное сопротивление указателя уровня (600 Ом), уровень -18 дБ, приступают к измерению регулировочной характеристики системы АРУ. Измерение выполняется в следующей последовательности.

В блоке ручной регулировки уровня приема аппаратуры устанавливают затухание на $10-15$ дБ меньше, чем номинальное значение, отмеченное в паспорте аппаратуры. Регистрируют показания указателя уровня, включенного на выходе дифференциальной системы телефонного канала.

Увеличивая затухание в блоке ручной регулировки уровня приема ступенями по 5 дБ, для каждого значения отмечают показания указателя уровня.

Измерение прекращают, когда указатель уровня покажет -3 — -4 дБ.

Выполняется графическое построение зависимости

$$a_0 = p_{пер} - p_{пр} = \varphi(a_p),$$

где $p_{пер}$ — уровень сигнала 800 Гц на входе канала пункта А; $p_{пр}$ — уровень приемного сигнала 800 Гц на выходе канала в пункте Б, измеренный указателем уровня; a_p — значение затухания в блоке ручной регулировки приемного уровня.

Рабочим участком регулировочной характеристики системы АРУ считается участок кривой $a_0 = \varphi(a_p)$, в пределах которого неравномерность равна 4 дБ:

$$\Delta a_0 = a_{02} - a_{01} = 4,$$

где a_{01} и a_{02} — значения остаточного затухания, соответствующие границам рабочего участка регулировочной характеристики системы АРУ.

Пределы работы АРУ определяются величиной

$$\Delta a_{AM} = a_{p2} - a_{p1},$$

где a_{p1} и a_{p2} — значения затухания в блоке ручной регулировки уровня, соответствующие значениям остаточного затухания a_{o1} и a_{o2} на кривой $a_0 = \Phi(a_p)$. Выключив в аппаратуре пункта А сигнал 800 Гц, приступают к проверке и измерению каналов вызова и телемеханики. Для этого со стороны пункта А передают соответствующий сигнал и по этому сигналу в приемном тракте аппаратуры пункта Б выполняют измерение диаграммы уровня в соответствующих точках тракта и регулировку диаграммы уровня.

После эксплуатационной проверки тракта приема аппаратуры пункта Б точно в такой же последовательности выполняют проверку и регулировку тракта приема аппаратуры в пункте А. Описанный метод эксплуатационных измерений аппаратуры уплотнения требует наличия высококвалифицированного эксплуатационного персонала на обоих пунктах системы связи и значительных затрат. Эксплуатационные измерения аппаратуры в значительной мере упрощаются при использовании специального контрольно-измерительного устройства (КИУ). В общем случае такое устройство состоит из следующих блоков, включенных последовательно: магазина затухания (МЗ-1), преобразователя частоты (ПЧ-1), фильтра нижних частот (ФНЧ), преобразователя частоты (ПЧ-2), выходного усилителя (ВУ), магазина затухания (МЗ-2).

Подключение КИУ к аппаратуре уплотнения выполняется в следующей последовательности:

Аппаратуру уплотнения, подлежащую эксплуатационным измерениям, отключают от ВЧ линии.

На вводной панели аппаратуры отключают ВЧ выход линейного фильтра тракта передачи от входа полосового ВЧ фильтра тракта приема.

Выход линейного фильтра подключают к входу МЗ-1 КИУ, а выход МЗ-2 КИУ подключают на вход полосового ВЧ фильтра тракта приема аппаратуры уплотнения.

4. От генераторов несущих частот аппаратуры уплотнения с помощью соединительных шнуров подают сигналы несущих частот в диагональ преобразователей ПЧ-1 и ПЧ-2 КИУ. В диагональ ПЧ-1 подают сигнал несущей частоты, питающей модулятор последней ступени частотного преобразования аппаратуры уплотнения. В диагональ ПЧ-2 подается сигнал несущей частоты первого демодулятора тракта, приема аппаратуры уплотнения.

При таком включении контрольно-измерительное устройство КИУ обеспечивает преобразование линейного спектра рабочих частот передачи аппаратуры уплотнения в линейный спектр рабочих частот приема аппаратуры уплотнения.

Сигналы передатчика, пройдя МЗ-1, поступают на вход первого преобразователя частоты ПЧ-1, где преобразуются в спектр промежуточных частот, который аналогичен спектрам промежуточных частот трактов передачи и приема аппаратуры уплотнения. Сигналы спектра промежуточных частот выделяются низкочастотным фильтром ФНЧ и с выхода фильтра поступают на вход второго преобразователя частоты ПЧ-2. Второй преобразователь частоты преобразует спектр промежуточных частот в спектр рабочих частот приема аппаратуры уплотнения. На выходе имеют место две боковые полосы частот, одна из которых соответствует спектру рабочих частот приема аппаратуры, а вторая располагается вне полосы пропускания полосового ВЧ фильтра тракта приема аппаратуры уплотнения. Сигналы обеих боковых полос усиливаются выходным усилителем ВУ и через МЗ-2 КИУ поступают на вход полосового ВЧ фильтра

приема аппаратуры уплотнения, который пропускает только сигналы боковой полосы частот соответствующей рабочей полосы частот приема аппаратуры уплотнения.

Рассмотренное КИУ позволяет, используя сигналы тракта передачи аппаратуры уплотнения, выполнять полный комплекс измерений и регулировок приемного тракта аппаратуры уплотнения.

Процесс эксплуатационных измерений аппаратуры при наличии КИУ сводится к следующему.

1. При выключенном электропитании КИУ выполняют комплекс измерений тракта передатчика аппаратуры в соответствии с методикой, изложенной в § 11-2. Нагрузкой передатчика в данном случае является входное сопротивление МЗ-1 КИУ.

2. Отключают все сигналы передатчика, кроме сигнала контрольной частоты, отключают вход тракта передачи телефонного канала от дифференциальной системы и включают электропитание КИУ.

3. По сигналу контрольной частоты приема (образованного КИУ из сигнала контрольной частоты передатчика) выполняют измерение диаграммы уровней тракта приема аппаратуры и регулировку диаграммы уровней.

4. На вход тракта передачи от измерительного генератора подают сигнал 800 Гц с уровнем —12 дБ.

5. По сигналу телефонного канала (образованного КИУ из сигнала передачи) выполняют регулировку приемного тракта телефонного канала и измерение диаграммы уровня. Включив на вход дифференциальной системы телефонного канала указатель уровня ($Z_{вх} = 600 \text{ Ом}$), устанавливают уровень сигнала в этой точке равным —12 дБ.

6. Измеряют регулировочную характеристику системы АРУ и пределы работы АРУ по методике, изложенной выше.

7. Измеряют амплитудную характеристику остаточного затухания и частотную характеристику тракта телефонного канала путем изменения соответственно уровня передачи и частоты сигнала измерительного генератора, подключенного на вход тракта передачи аппаратуры уплотнения.

8. Отключив измерительный генератор и включив поочередно сигналы вызова и телемеханики в тракте передачи аппаратуры, выполняют измерения и регулировку в приемных трактах соответствующих сигналов.

Использование КИУ для эксплуатационных проверок и измерений параметров аппаратуры уплотнения открывает широкие возможности для повышения производительности труда эксплуатационного персонала при обслуживании систем связи и повышает качество контрольно-измерительных работ.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Пересчет децибел в отношения напряжений (токов) и мощностей (децибелы положительные, отношения больше единицы)

дБ	Отношение напряжений (токов)	Отношение мощностей	дБ	Отношение напряжений (токов)	Отношение мощностей
0,0	1,000	1,000	4,5	1,679	2,818
0,1	1,012	1,023	4,6	1,698	2,884
0,2	1,023	1,047	4,7	1,718	2,951
0,3	1,035	1,072	4,8	1,738	3,020
0,4	1,047	1,096	4,9	1,758	3,090
0,5	1,059	1,122	5,0	1,778	3,162
0,6	1,072	1,148	5,1	1,799	3,236
0,7	1,084	1,175	5,2	1,820	3,311
0,8	1,096	1,202	5,3	1,841	3,388
0,9	1,109	1,230	5,4	1,862	3,467
1,0	1,122	1,259	5,5	1,884	3,548
1,1	1,135	1,288	5,6	1,905	3,631
1,2	1,148	1,318	5,7	1,928	3,715
1,3	1,161	1,349	5,8	1,950	3,802
1,4	1,175	1,380	5,9	1,972	3,890
1,5	1,189	1,413	6,0	1,995	3,981
1,6	1,202	1,445	6,1	2,018	4,074
1,7	1,216	1,479	6,2	2,042	4,169
1,8	1,230	1,514	6,3	2,065	4,266
1,9	1,245	1,549	6,4	2,089	4,365
2,0	1,259	1,585	6,5	2,113	4,467
2,1	1,274	1,622	6,6	2,138	4,571
2,2	1,288	1,660	6,7	2,163	4,677
2,3	1,303	1,698	6,8	2,188	4,786
2,4	1,318	1,738	6,9	2,213	4,898
2,5	1,334	1,778	7,0	2,239	5,012
2,6	1,349	1,820	7,1	2,265	5,129
2,7	1,365	1,862	7,2	2,291	5,248
2,8	1,380	1,905	7,3	2,317	5,370
2,9	1,396	1,950	7,4	2,344	5,495
3,0	1,413	1,995	7,5	2,371	5,623
3,1	1,429	2,042	7,6	2,399	5,754
3,2	1,445	2,089	7,7	2,427	5,888
3,3	1,462	2,138	7,8	2,455	6,026
3,4	1,479	2,188	7,9	2,483	6,166
3,5	1,496	2,239	8,0	2,512	6,310
3,6	1,514	2,291	8,1	2,541	6,457
3,7	1,531	2,344	8,2	2,570	6,607
3,8	1,549	2,399	8,3	2,600	6,761
3,9	1,567	2,455	8,4	2,630	6,918
4,0	1,585	2,512	8,5	2,661	7,079
4,1	1,603	2,570	8,6	2,692	7,244
4,2	1,622	2,630	8,7	2,723	7,413
4,3	1,641	2,692	8,8	2,754	7,586
4,4	1,660	2,754	8,9	2,786	7,762

Продолжение приложения 1

дБ	Отношение напряжений (токов)	Отношение мощностей	дБ	Отношение напряжений (токов)	Отношение мощностей
9,0	2,818	7,943	13,9	4,955	24,55
9,1	2,851	8,128	14,0	5,012	25,12
9,2	2,884	8,318	14,1	5,070	25,70
9,3	2,917	8,511	14,2	5,129	26,30
9,4	2,951	8,710	14,3	5,188	26,92
9,5	2,985	8,913	14,4	5,248	27,54
9,6	3,020	9,120	14,5	5,309	28,18
9,7	3,055	9,333	14,6	5,370	28,84
9,8	3,090	9,550	14,7	5,433	29,51
9,9	3,126	9,772	14,8	5,495	30,20
10,0	3,162	10,000	14,9	5,559	30,90
10,1	3,199	10,23	15,0	5,623	31,62
10,2	3,236	10,47	15,1	5,689	32,36
10,3	3,273	10,72	15,2	5,754	33,11
10,4	3,311	10,96	15,3	5,821	33,88
10,5	3,350	11,22	15,4	5,888	34,67
10,6	3,388	11,48	15,5	5,957	35,48
10,7	3,428	11,75	15,6	6,026	36,31
10,8	3,467	12,02	15,7	6,095	37,15
10,9	3,508	12,30	15,8	6,166	38,02
11,0	3,548	12,59	15,9	6,237	38,90
11,1	3,589	12,88	16,0	6,310	39,81
11,2	3,631	13,18	16,1	6,383	40,74
11,3	3,673	13,49	16,2	6,457	41,69
11,4	3,715	13,80	16,3	6,531	42,66
11,5	3,758	14,13	16,4	6,607	43,65
11,6	3,802	14,45	16,5	6,683	44,67
11,7	3,846	14,79	16,6	6,761	45,71
11,8	3,890	15,14	16,7	6,839	46,77
11,9	3,936	15,49	16,8	6,918	47,86
12,0	3,981	15,85	16,9	6,998	48,98
12,1	4,027	16,22	17,0	7,079	50,12
12,2	4,074	16,60	17,1	7,161	51,29
12,3	4,121	16,98	17,2	7,244	52,48
12,4	4,169	17,38	17,3	7,328	53,70
12,5	4,217	17,78	17,4	7,413	54,95
12,6	4,266	18,20	17,5	7,499	56,23
12,7	4,315	18,62	17,6	7,586	57,54
12,8	4,365	19,05	17,7	7,674	58,88
12,9	4,416	19,50	17,8	7,762	60,26
13,0	4,467	19,95	17,9	7,852	61,66
13,1	4,519	20,42	18,0	7,943	63,10
13,2	4,571	20,89	18,1	8,035	64,57
13,3	4,624	21,38	18,2	8,128	66,07
13,4	4,677	21,88	18,3	8,222	67,61
13,5	4,732	22,39	18,4	8,318	69,18
13,6	4,786	22,91	18,5	8,414	70,79
13,7	4,842	23,44	18,6	8,511	72,44
13,8	4,898	23,99	18,7	8,610	74,13

Продолжение приложения 1

дБ	Отношение напряжений (токов)	Отношение мощностей	дБ	Отношение напряжений (токов)	Отношение мощностей
18,8	8,710	75,86	19,9	9,886	97,72
18,9	8,810	77,62	20,0	10,000	100,00
19,0	8,913	79,43	25,0	17,78	316,2
19,1	9,016	81,28	30,0	31,62	1000,0
19,2	9,120	83,18	35,0	56,23	3162
19,3	9,226	85,11	40,0	100,00	10 ⁴
19,4	9,333	87,10	45,0	177,8	3,162·10 ⁴
19,5	9,441	89,13	50,0	316,2	10 ⁵
19,6	9,550	91,20	55,0	562,3	3,162·10 ⁵
19,7	9,661	93,33	60,0	1000	10 ⁶
19,8	9,772	95,50			

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Пересчет децибел в отношения напряжений (токов) и мощностей (децибелы отрицательные, отношения меньше единицы)

—дБ	Отношение напряжений (токов)	Отношение мощностей	—дБ	Отношение напряжений (токов)	Отношение мощностей
0,0	1,0000	1,0000	2,7	0,7328	0,5370
0,1	0,9886	0,9772	2,8	0,7244	0,5248
0,2	0,9772	0,9550	2,9	0,7161	0,5129
0,3	0,9661	0,9333	3,0	0,7079	0,5012
0,4	0,9550	0,9120	3,1	0,6998	0,4898
0,5	0,9441	0,8913	3,2	0,6918	0,4786
0,6	0,9333	0,8710	3,3	0,6839	0,4677
0,7	0,9226	0,8511	3,4	0,6761	0,4571
0,8	0,9120	0,8318	3,5	0,6683	0,4467
0,9	0,9016	0,8128	3,6	0,6607	0,4365
1,0	0,8913	0,7943	3,7	0,6531	0,4266
1,1	0,8810	0,7762	3,8	0,6457	0,4169
1,2	0,8710	0,7586	3,9	0,6383	0,4074
1,3	0,8610	0,7413	4,0	0,6310	0,3981
1,4	0,8511	0,7244	4,1	0,6237	0,3890
1,5	0,8414	0,7079	4,2	0,6166	0,3802
1,6	0,8318	0,6918	4,3	0,6095	0,3715
1,7	0,8222	0,6761	4,4	0,6026	0,3631
1,8	0,8128	0,6607	4,5	0,5957	0,3548
1,9	0,8035	0,6457	4,6	0,5888	0,3467
2,0	0,7943	0,6310	4,7	0,5821	0,3388
2,1	0,7852	0,6166	4,8	0,5754	0,3311
2,2	0,7762	0,6026	4,9	0,5689	0,3236
2,3	0,7674	0,5888	5,0	0,5623	0,3162
2,4	0,7586	0,5754	5,1	0,5559	0,3090
2,5	0,7499	0,5623	5,2	0,5495	0,3020
2,6	0,7413	0,5495	5,3	0,5433	0,2951

Продолжение приложения 2

—дБ	Отношение напряжений (токов)	Отношение мощностей	—дБ	Отношение напряжений (токов)	Отношение мощностей
5,4	0,5370	0,2884	10,3	0,3055	0,09333
5,5	0,5309	0,2818	10,4	0,3020	0,09120
5,6	0,5248	0,2754	10,5	0,2985	0,08913
5,7	0,5188	0,2692	10,6	0,2951	0,08710
5,8	0,5129	0,2630	10,7	0,2917	0,08511
5,9	0,5070	0,2570	10,8	0,2884	0,08318
6,0	0,5012	0,2512	10,9	0,2851	0,08128
6,1	0,4955	0,2455	11,0	0,2818	0,07943
6,2	0,4898	0,2399	11,1	0,2786	0,07762
6,3	0,4842	0,2344	11,2	0,2754	0,07586
6,4	0,4786	0,2291	11,3	0,2723	0,07413
6,5	0,4732	0,2239	11,4	0,2692	0,07244
6,6	0,4677	0,2188	11,5	0,2661	0,07079
6,7	0,4624	0,2138	11,6	0,2630	0,06918
6,8	0,4571	0,2089	11,7	0,2600	0,06761
6,9	0,4519	0,2042	11,8	0,2570	0,06607
7,0	0,4467	0,1995	11,9	0,2541	0,06457
7,1	0,4416	0,1950	12,0	0,2512	0,06310
7,2	0,4365	0,1905	12,1	0,2483	0,06166
7,3	0,4315	0,1862	12,2	0,2455	0,06026
7,4	0,4266	0,1820	12,3	0,2427	0,05888
7,5	0,4217	0,1778	12,4	0,2399	0,05754
7,6	0,4169	0,1738	12,5	0,2371	0,05623
7,7	0,4121	0,1698	12,6	0,2344	0,05495
7,8	0,4074	0,1660	12,7	0,2317	0,05370
7,9	0,4027	0,1622	12,8	0,2291	0,05248
8,0	0,3981	0,1585	12,9	0,2265	0,05129
8,1	0,3936	0,1549	13,0	0,2239	0,05012
8,2	0,3890	0,1514	13,1	0,2213	0,04898
8,3	0,3846	0,1479	13,2	0,2188	0,04786
8,4	0,3802	0,1445	13,3	0,2163	0,04677
8,5	0,3758	0,1413	13,4	0,2138	0,04571
8,6	0,3715	0,1380	13,5	0,2113	0,04467
8,7	0,3673	0,1349	13,6	0,2089	0,04365
8,8	0,3631	0,1318	13,7	0,2065	0,04266
8,9	0,3589	0,1288	13,8	0,2042	0,04169
9,0	0,3548	0,1259	13,9	0,2018	0,04074
9,1	0,3508	0,1230	14,0	0,1995	0,03891
9,2	0,3467	0,1202	14,1	0,1972	0,03890
9,3	0,3428	0,1175	14,2	0,1950	0,03802
9,4	0,3388	0,1148	14,3	0,1928	0,03715
9,5	0,3350	0,1122	14,4	0,1905	0,03631
9,6	0,3311	0,1096	14,5	0,1884	0,03548
9,7	0,3273	0,1072	14,6	0,1862	0,03467
9,8	0,3236	0,1047	14,7	0,1841	0,03388
9,9	0,3199	0,1023	14,8	0,1820	0,03311
10,0	0,3162	0,1000	14,9	0,1799	0,03236
10,1	0,3126	0,09772	15,0	0,1778	0,03162
10,2	0,3090	0,09550	15,1	0,1758	0,03090

Продолжение приложения 2

—дБ	Отношение напряжений (токов)	Отношение мощностей	—дБ	Отношение напряжений (токов)	Отношение мощностей
15,2	0,1738	0,03020	18,1	0,1245	0,01549
15,3	0,1718	0,02951	18,2	0,1230	0,01514
15,4	0,1698	0,02884	18,3	0,1216	0,01479
15,5	0,1679	0,02818	18,4	0,1202	0,01445
15,6	0,1660	0,02754	18,5	0,1189	0,01413
15,7	0,1641	0,02692	18,6	0,1175	0,01380
15,8	0,1622	0,02630	18,7	0,1161	0,01349
15,9	0,1603	0,02570	18,8	0,1148	0,01318
16,0	0,1585	0,02512	18,9	0,1135	0,01288
16,1	0,1567	0,02455	19,0	0,1122	0,01259
16,2	0,1549	0,02399	19,1	0,1109	0,01230
16,3	0,1531	0,02344	19,2	0,1096	0,01202
16,4	0,1514	0,02291	19,3	0,1084	0,01175
16,5	0,1496	0,02239	19,4	0,1072	0,01148
16,6	0,1479	0,02188	19,5	0,1059	0,01122
16,7	0,1462	0,02138	19,6	0,1047	0,01096
16,8	0,1445	0,02089	19,7	0,1035	0,01072
16,9	0,1429	0,02042	19,8	0,1023	0,01047
17,0	0,1413	0,01995	19,9	0,1012	0,01023
17,1	0,1396	0,01950	20,0	0,1000	0,01000
17,2	0,1380	0,01905	25,0	0,0562	$3,162 \cdot 10^{-3}$
17,3	0,1365	0,01862	30,0	0,0316	0,001
17,4	0,1349	0,01820	35,0	0,0178	$3,162 \cdot 10^{-4}$
17,5	0,1334	0,01778	40,0	0,0100	10^{-4}
17,6	0,1318	0,01738	45,0	0,0056	$3,162 \cdot 10^{-5}$
17,7	0,1303	0,01698	50,0	0,0032	10^{-5}
17,8	0,1288	0,01660	55,0	0,0018	$3,162 \cdot 10^{-6}$
17,9	0,1274	0,01622	60,0	0,0010	10^{-6}
18,0	0,1259	0,01585			

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Пересчет децибел в единицы напряжения, тока и мощности при стандартном нулевом уровне, 1 мВт, 600 Ом

дБ	U, мВ	I, мА	P, мВт
—20	77,5	0,1291	0,0100
—19	86,9	0,1448	0,0126
—18	97,5	0,1625	0,0158
—17	109,5	0,1825	0,0199
—16	122,8	0,2046	0,0251
—15	137,7	0,2295	0,0316
—14	154,5	0,2576	0,0398
—13	173,2	0,2887	0,0501
—12	194,6	0,3243	0,0631
—11	218,3	0,3638	0,0794

Продолжение приложения 3

дБ	U, мВ	I, мА	P, мВт
—10	244,9	0,4082	0,100
—9,5	259,4	0,4324	0,112
—9	274,8	0,4581	0,126
—8,5	291,0	0,4851	0,141
—8	308,4	0,5139	0,158
—7,5	326,5	0,5443	0,178
—7	347,4	0,5790	0,199
—6,5	366,5	0,6109	0,224
—6	388,2	0,6470	0,251
—5,5	401,1	0,6686	0,282
—5	435,6	0,7259	0,316
—4,5	451,4	0,7525	0,355
—4	488,7	0,8145	0,398
—3,5	517,7	0,8630	0,447
—3	548,4	0,9139	0,501
—2,5	570,8	0,9515	0,562
—2	615,3	1,025	0,631
—1,5	641,7	1,070	0,708
—1	690,4	1,150	0,794
—0,5	721,2	1,202	0,891
0	774,6	1,291	1,000
+0,5	0,8105	1,351	1,122
1,0	0,8691	1,448	1,26
1,5	0,9108	1,518	1,41
2,0	0,9752	1,625	1,58
2,5	1,033	1,722	1,78
3,0	1,094	1,825	1,99
3,5	1,159	1,932	2,24
4,0	1,228	2,046	2,51
4,5	1,300	2,167	2,82
5,0	1,377	2,295	3,16
5,5	1,459	2,432	3,55
6,0	1,546	2,576	3,98
6,5	1,637	2,729	4,47
7,0	1,732	2,887	5,01
7,5	1,836	3,060	5,62
8,0	1,946	3,243	6,31
—8,5	2,061	3,436	7,08
9,0	2,183	3,638	7,94
9,5	2,312	3,854	8,91
10,0	2,449	4,082	10,0
11	2,748	4,581	12,6
12	3,083	5,139	15,8
13	3,474	5,790	19,9
14	3,882	6,470	25,1
15	4,356	7,259	31,6
16	4,887	8,145	39,8
17	5,484	9,139	50,1
18	6,153	10,255	63,1
19	6,903	11,505	79,4
20	7,746	12,909	100

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Классификация радиоизмерительных приборов

В соответствии с нормалью «Приборы радиоизмерительные общего применения. Классификация и обозначения», утвержденной в 1960 г., все приборы в зависимости от их назначения делятся на 19 групп. Каждая группа обозначается прописными буквами русского алфавита и состоит из нескольких подгрупп, обозначаемых цифрами по порядку. Каждому типу прибора в подгруппах присвоены порядковые номера, перед которыми ставится черточка (дефис).

Классификация предусматривает следующие основные группы и подгруппы приборов:

Группа А. Приборы для измерения тока

- А1 — установка для проверки амперметров
- А2 — амперметры постоянного тока
- А3 — амперметры переменного тока
- А4 — универсальные амперметры

Группа Б. Источники питания для измерений и измерительных приборов

- Б1 — источники постоянного тока
- Б2 — источники переменного тока
- Б3 — комбинированные источники

Группа В. Приборы для измерения напряжения

- В1 — установки для проверки вольтметров
- В2 — вольтметры постоянного тока
- В3 — вольтметры переменного тока
- В4 — вольтметры импульсные
- В5 — вольтметры фазочувствительные
- В6 — вольтметры селективные (избирательные)
- В7 — вольтметры универсальные

Группа Г. Генераторы измерительные

- Г2 — генераторы шумовых сигналов
- Г3 — генераторы сигналов
- Г4 — генераторы стандартных сигналов
- Г5 — генераторы импульсов
- Г6 — генераторы сигналов специальной формы
- Г7 — свип-генераторы

Группа Д. Приборы для измерений ослаблений, аттенюаторы и делители напряжения

- Д1 — установки для проверки аттенюаторов
- Д2 — аттенюаторы на активных сопротивлениях
- Д3 — аттенюаторы емкостные
- Д4 — аттенюаторы предельные
- Д5 — аттенюаторы поглощающие
- Д6 — делители напряжения

Группа Е. Приборы для измерения параметров элементов и цепей с сосредоточенными постоянными

- Е2 — меры активных сопротивлений

- Е3 — меры индуктивностей
- Е4 — меры емкостей
- Е5 — меры проводимостей
- Е6 — измерители активных сопротивлений
- Е7 — измерители индуктивностей
- Е8 — измерители емкостей
- Е9 — измерители добротности
- Е10 — измерители полных сопротивлений

Группа И. Приборы для импульсных измерений

- И1 — установка для проверки импульсных приборов
- И2 — измеритель временных параметров
- И3 — измеритель числа импульсов
- И4 — анализатор импульсов
- И5 — линия задержки

Группа К. Аппаратура контроля радиоэлектронных устройств

Группа Л. Измерители параметров приемно-усилительных электровакуумных и транзисторных приборов

Группа М. Приборы для измерения мощности

Группа П. Приборы для измерения напряженности поля и радиопомех

- П3 — измерители напряженности поля
- П4 — измерители радиопомех

Группа Р. Приборы для измерения параметров элементов и трактов с распределенными постоянными

- Р1 — линии измерительные
- Р3 — измерители полных сопротивлений и комплексных коэффициентов передач
- Р4 — измерители затухания
- Р5 — измерители параметров кабельных линий

Группа С. Приборы для наблюдения и исследования формы сигналов и спектра

- С1 — осциллографы электронно-лучевые
- С2 — измерители коэффициента амплитудной модуляции
- С3 — измерители девиации частоты
- С4 — анализаторы спектра
- С5 — анализаторы гармоник
- С6 — измерители коэффициента нелинейных искажений

Группа У. Усилители измерительные

Группа Ф. Приборы для измерения сдвига фаз и времени запаздывания

- Ф2 — фазометры
- Ф3 — фазовращатели измерительные
- Ф4 — измерители группового времени запаздывания
- Ф5 — измерители корреляции

Группа Х. Приборы для наблюдения и исследования характеристик радиоустройств

- Х1 — приборы для исследования частотных характеристик

- X2 — приборы для исследований переходных характеристик
- X3 — приборы для исследования фазочастотных характеристик
- X4 — приборы для исследования амплитудных характеристик
- X5 — измерители коэффициента шума

Группа Ч. Приборы для измерения частоты

- Ч2 — частотомеры резонансные
- Ч3 — частотомеры электроинтегральные
- Ч4 — частотомеры гетеродинные
- Ч5 — калибраторы кварцевые и опорные генераторы

Группа Э. Функциональные узлы и модули коаксиальных и волновых трактов и приборов

Группа Я. Функциональные узлы и модули радиоизмерительных приборов

Список литературы

1. Кушнир Ф. В., Савенко В. Г., Верник С. В. Измерения в технике связи. М.: Связь, 1970.
2. Емельянов Г. А., Шварцман В. О. Передача дискретной информации и основы телеграфии. М.: Связь, 1973.
3. Ромберг В. С., Фарбер Ю. Д. Измерения характеристик многоканальных систем связи. М.: Связь, 1974.
4. Розов В. М., Тараненко Л. Д., Ермистов В. В. Измерения и контроль в однополосном радиооборудовании. М.: Связь, 1974.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Амплитудная характеристика канала 263
 — — ограничителя 229
 — — преобразователя частоты 227
 — — тракта передачи 238
 — — усилителя 109
 Амплитудно-модулированное колебание 73
 Анализаторы частоты 77

В

Волновой канал 131
 — — все фазы — земля 172, 205
 — — междофазный 172, 205
 Высокочастотный тракт 130, 160
 — — входное сопротивление 165
 — — неравномерность затухания 162
 — — рабочее затухание 166

Д

Децибел 9
 Диаграмма уровней 10
 Дискретные сигналы 40

З

Заградитель 130, 143
 — вносимое затухание 145
 — заграждающее сопротивление 143

Заградитель номинальное заграждающее сопротивление 143
 Запас стабильности канала передачи дискретной информации 57
 Затухание 10
 — вносимое 87, 101
 — несогласованности 89, 103
 — остаточное 11, 262, 274
 — относительное 176
 — передачи 88, 103
 — перехода подстанции 190
 — рабочее 86, 99, 262
 — собственное или характеристическое 87

И

Избирательность приемного тракта 105
 Измерение частоты методом дискретного счета 72
 — — — перезаряда конденсатора 72
 Измерители тока детекторные 22
 — уровня 26
 Изоляция, сопротивление 134
 — электрическая прочность 135
 Интерференция токов волновых каналов 131, 173
 Исправляющая способность приемного устройства 57, 268

К

Канал связи 6, 9
 Коэффициент усиления 91

Коэффициент усиления по мощности 91
 — — по напряжению 91
 Куметры 222

Л

Линейная часть характеристики 227, 235

М

Максимальная чувствительность приемника 254
 Максимальный предел регулирования системы АРУ 254
 — уровень передачи 238
 Метод измерения частоты сигнала сравнением 69
 — малого сопротивления 92
 — пульсирующего эллипса 75
 — сравнения 93
 Модуляционная характеристика передатчика 231
 Мостовые схемы 68

Н

Напряжение действующее 23
 — пиковое 23
 — помех психометрическое 29
 — средневыпрямленное 24
 Непер 9
 Неравномерность амплитудной характеристики 110
 — частотной характеристики затухания 105

О

Осциллограф 30
 — магнитоэлектрический 31
 — электронный 31

П

Помехи 152
 — от коммутационных операций и коротких замыканий 160

Помехи от короны 153
 Порог ограничения 229
 Приборы термоэлектрические 22
 Принцип интеграции импульсов 46
 Продукты нелинейности 121
 Псофометры 28, 30

Р

Рабочее затухание преобразователя частоты 225
 Рабочий предел регулирования системы АРУ 253
 — участок амплитудной характеристики 238, 263
 — — модуляционной характеристики 232
 Развертка изображения 33
 Разрешающая способность прибора 77
 Регулировочная характеристика АРУ 253
 Резонансная частота тракта 173, 212

С

Сопротивление входное 81
 — — короткого замыкания 82
 — — холостого хода 82
 — полное 81
 — характеристическое 82
 Стробоскопические измерители искажений 45
 Схема присоединения к тракту неоптимальная 173, 179, 212
 — — — оптимальная 172, 179

Т

Тракт групповой 238
 — индивидуальный 238

У

Уровни передачи абсолютные 9
 — — измерительные 9

Уровни передачи относительные 9

- по мощности 9
- — напряжению 9
- — току 9

Усиление тракта передачи 91

- приема 92
- транзитного тракта 92

Устойчивость канала 265

- промежуточного усилителя 265

Ф

Фазовая модуляция 74

Фигуры Лиссажу 70, 115

Фильтр присоединения 137

- входное сопротивление 137, 142

- затухание несогласованности 138, 141

- полоса пропускания 137

- рабочее затухание 137, 138

- разделительный 148

Х

Характернографы 36

Ц

Частотная манипуляция 74

- модуляция 74
- характеристика дискриминатора 235

- затухания преобразователя частоты 227

- избирательности фильтра (контура) 105

- модема передачи 233

- модуля полного сопротивления 84

- остаточного затухания 263, 274

- тракта передачи 239

- Чувствительность модема приема 235

Ш

Шум белый 21

- узкополосный 21

- широкополосный 21

Шумовой генератор 21

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
ЧАСТЬ ПЕРВАЯ. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ СПЕЦИАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ	5
Глава первая. Специальные измерения	5
1-1. Виды, объемы, методы и точность специальных измерений	5
1-2. Уровни передачи	8
Глава вторая. Измерительные приборы	12
2-1. Измерительные генераторы	12
2-2. Измерители тока, напряжения и уровня	22
2-3. Осциллографы	30
2-4. Измерители частотных и вольт-амперных характеристик	36
2-5. Измерители краевых искажений дискретных посылок	40
2-6. Приборы для оценки достоверности передачи, регистрации перерывов в канале связи и импульсных помех	51
2-7. Датчики дискретных испытательных сигналов	57
2-8. Измерительные приборы многоцелевого назначения	60
Глава третья. Измерение параметров электрических сигналов	67
3-1. Параметры электрических сигналов	67
3-2. Измерение частоты синусоидального колебания	68
3-3. Измерение параметров модулированных колебаний	73
3-4. Измерение спектра частот	76
3-5. Измерение параметров дискретного сигнала	77
Глава четвертая. Измерение параметров двухполосников и четырехполосников	81
4-1. Параметры двухполосников и четырехполосников	81
4-2. Измерение входных сопротивлений	92
4-3. Измерение затухания	98
4-4. Измерение усиления	106
4-5. Измерение фазовых характеристик	113
4-6. Измерение нелинейности	121
ЧАСТЬ ВТОРАЯ. ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ТРАКТОВ	130
Глава пятая. Основные особенности высокочастотных трактов	130
Глава шестая. Измерение параметров элементов высокочастотного тракта и уровня помех	134
6-1. Определение электрических характеристик изоляции измеряемых элементов и разрядников	134
	301

6-2. Измерение параметров устройств присоединения к линии электропередачи	136
6-3. Измерение параметров высокочастотных загрядителей	143
6-4. Измерение параметров разделительных фильтров и шунтирующего действия параллельно включенных сопротивлений	147
6-5. Измерение параметров высокочастотного кабеля	151
6-6. Измерение помех на выходе высокочастотного тракта	152

Глава седьмая. Измерение параметров высокочастотного тракта

7-1. Методы измерения	160
7-2. Особенности частотных характеристик затухания и входного сопротивления простого тракта по нетранспонированной линии	171
7-3. Особенности частотных характеристик затухания и входного сопротивления простого тракта по транспонированной линии	178
7-4. Особенности частотных характеристик затухания и входного сопротивления высокочастотного тракта с ответвлением	180
7-5. Особенности частотных характеристик затухания и входного сопротивления высокочастотного тракта с обходом промежуточной подстанции	185
7-6. Особенности измерения параметров сложных высокочастотных трактов	188
7-7. Особенности измерения параметров высокочастотных трактов по грозозащитным тросам и изолированным проводам расщепленной фазы	189
7-8. Измерение затухания перехода подстанции	190
7-9. Определение причин ненормально высокого затухания тракта и неравномерности этого затухания	192
7-10. Определение причин и места возникновения помех ненормально высокого уровня	200

Глава восьмая. Измерения высокочастотных параметров линии электропередачи

8-1. Общие положения	202
8-2. Особенности схемы подключения измерительных приборов к линии электропередачи	202
8-3. Измерение параметров волновых каналов линии электропередачи	205
8-4. Измерение параметров, характеризующих высокочастотные тракты при различных схемах подключения к линии	210
8-5. Измерение влияния повреждений линии на затухание высокочастотного тракта	214

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ. ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ АППАРАТУРЫ УПЛОТНЕНИЯ И ВЧ КАНАЛОВ

Глава девятая. Измерение узлов аппаратуры

9-1. Измерение фильтров аппаратуры	217
9-2. Измерение усилителей	222
9-3. Измерение генераторов и преобразователей частоты	223

9-4. Измерение амплитудных ограничителей	228
9-5. Измерение модемов каналов телемеханики	231
9-6. Измерение блока питания аппаратуры уплотнения	237

Глава десятая. Измерение параметров аппаратуры уплотнения

10-1. Измерение параметров тракта передачи оконечной аппаратуры уплотнения	237
10-2. Измерение параметров приемных трактов оконечной аппаратуры уплотнения	249
10-3. Измерение параметров промежуточных усилителей	256

Глава одиннадцатая. Измерение параметров каналов связи

11-1. Общие измерения	258
11-2. Измерение каналов телефонной связи	262
11-3. Измерение каналов телемеханики	267
11-4. Эксплуатационно-контрольные измерения каналов связи	276

Приложения

Список литературы

Предметный указатель

АНДРЕЙ ИВАНОВИЧ МАЛЫШЕВ
ЮРИЙ ПАВЛОВИЧ ШКАРИН

**Специальные измерения высокочастотных каналов
по пиниам электропередачи**

Редактор И. И. Цитвер

Редактор издательства И. П. Березина

Переплет художника П. П. Перевалова

Технический редактор О. Д. Кузнецова

Корректор М. Г. Гулина

ИБ № 1659

Сдано в набор 28.09.78

Подписано к печати 29.01.79

Т-01984

Формат 84×108¹/₃₂ Бумага типографская № 3 Гарн. шрифта литературная

Печать высокая Усл. печ. л. 15,96 Уч.-изд. л. 17,35

Тираж 9500 экз.

Заказ 842

Цена 75 к.

Издательство «Энергия», 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Московская типография № 10 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10