

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 03.09.2021 17:58:33

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb13a5d426d79e5f1-113abbf73e913d66a4851fde56d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра космического приборостроения и систем связи

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова

(ЮЗГУ)

« 2 »

2018 г.



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИМПУЛЬСНОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ

Методические указания
по выполнению практической работы
для студентов, обучающихся по специальности
10.05.02 «Информационная безопасность
телекоммуникационных систем»
по дисциплине «Измерения в телекоммуникационных системах»

Курск 2018

УДК 621.39

Составители: В.Г. Довбня, Д.С. Коптев

Рецензент:

Доктор технических наук, профессор кафедры космического приборостроения и систем связи *В.Г. Андронов*

Теоретические основы импульсного метода измерения металлических кабелей: методические указания по выполнению практической работы / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: В.Г. Довбня, Д.С. Коптев. – Курск, 2018. – 13 с.: илл. 4. – Библиогр.: с. 13.

Методические указания по выполнению практической работы содержат все необходимые теоретические сведения для изучения теоретических основ импульсного метода измерения металлических кабелей и список контрольных вопросов для самопроверки изучаемого материала.

Методические указания соответствуют учебному плану по специальности 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем», а также рабочей программе дисциплины «Измерения в телекоммуникационных системах».

Предназначены для студентов, обучающихся по специальности 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем», очной формы обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 2.10.18. Формат 60x84/16.

Усл. печ. л. 0,755. Уч.-изд. л. 0,684. Тираж 100 экз. Заказ 2123. Бесплатно

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

1 Цель практического занятия

Изучение теоретических основ импульсного метода измерения металлических кабелей.

2 Необходимые теоретические сведения

В основе импульсного метода измерений лежит определение интервала времени между моментом посылки в измеряемую линию зондирующего электрического импульса и моментом возвращения импульса от места повреждения к месту измерения. Зная скорость распространения электромагнитной энергии по линии v и время t , прошедшее с момента посылки в линию зондирующего импульса до возвращения импульса к месту измерений, можно определить расстояние до места повреждения

$$l = \frac{vt}{2} \quad (1)$$

Для того, чтобы обнаружить возвратившийся импульс и, следовательно, иметь возможность подсчитать время между посылкой и возвращением импульса, после посылки импульса следует некоторая пауза, в течение которой электромагнитная волна распространяется до места повреждения и возвращается обратно к началу линии. Этот процесс многократно повторяется.

Для уяснения принципа импульсного метода измерений рассмотрим сначала распространение одиночного импульса по линии, не имеющей потерь. Посланный в некоторый момент времени импульс распространяется по линии со скоростью v и через промежуток времени $t = l/v$ достигает конца линии, который нагружен сопротивлением Z_H . При равенстве сопротивления нагрузки Z_H волновому сопротивлению линии Z_c энергия импульса целиком поглощается сопротивлением нагрузки (рис. 1а). Если же $Z_H \neq Z_c$, то распространяющийся импульс частично отразится от нагрузки. Величина и фаза отражённого импульса зависят от величины отклонения Z_H от Z_c и определяется уравнением:

$$U_0 = U_{\Pi} (Z_H - Z_c) / (Z_H + Z_c) \quad (2)$$

где U_0 — напряжение отражённого импульса, U_{Π} — напряжение посланного импульса.

Если $Z_H > Z_c$, то отражённый импульс имеет тот же знак, что и зондирующий (рис. 1б), и обратный знак, если $Z_H < Z_c$ (рис. 1в). В предельных

случаях при размыкании цепи $Z_H = \infty$ и $U_O = U_{II}$, а при коротком замыкании цепи $Z_H = 0$ и $U_O = -U_{II}$.

У начала линии отражённый импульс частично поглощается сопротивлением генератора Z_G , частично отражается. Величина и фаза импульса, отражённого от начала линии, определяются уравнением

$$U_{ГО} = U_0(Z_G - Z_C) / (Z_G + Z_C) \quad (3)$$

где $U_{ГО}$ — напряжение импульса, отражённого от передатчика, Z_G — сопротивление передатчика. Если оценивают лишь пиковые значения отраженных импульсов, в формулы (2) и (3) подставляют значения модулей сопротивлений.

Очевидно, что если Z_H и Z_G не равны Z_C , то на линии имеют место многократные отражения до тех пор, пока вся энергия импульса не рассеется в конечных сопротивлениях. Поэтому входное сопротивление импульсного прибора должно быть согласовано с волновым сопротивлением измеряемой линии.

Подобным образом происходят отражения энергии, распространяющейся вдоль линии, во всех тех местах, в которых местное волновое сопротивление отличается от номинальной величины. Причинами отклонения местного значения волнового сопротивления от номинальной величины могут быть изменение размеров

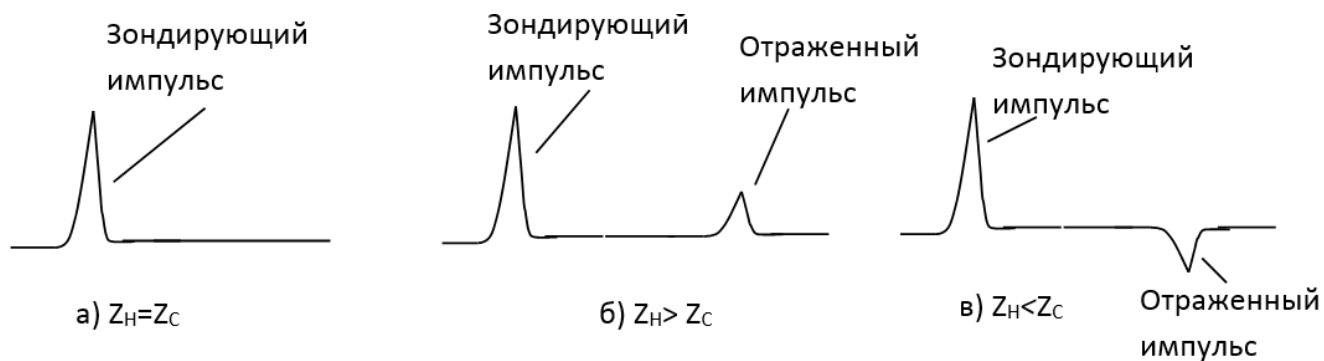


Рисунок 1 – Возможные положения зондирующего и отраженного импульсов

цепей, вызванные деформацией или разбросом полуфабрикатов, плохие соединения в местах сочленения строительных длин, повреждения изоляции и как крайние случаи, обрывы или касания проводников. Если в однородной линии имеется участок длиной s с отличным от остальной линии волновым сопротивлением $Z' = Z + \Delta Z$, то результирующий коэффициент отражения

$$r = \frac{i \left(\frac{Z'}{Z} - \frac{Z}{Z'} \right) \operatorname{tg} \frac{\omega s}{v}}{2 + i \left(\frac{Z'}{Z} + \frac{Z}{Z'} \right) \operatorname{tg} \frac{\omega s}{v}}, \quad (4)$$

где v — скорость распространения электромагнитной энергии вдоль линии.

В случае коротких неоднородностей малой величины $\frac{\omega s}{v} \ll 1$ и $\frac{\Delta Z}{Z} \ll 1$ выражение (4) упрощается

$$r = i \frac{\omega s}{v} \frac{\Delta Z}{Z}. \quad (5)$$

Так, например, неоднородность коаксиальной пары, вызываемая смятием внешнего проводника или сращиванием двух кусков кабеля приводит к сосредоточенному увеличению погонной емкости $C_1 = \Delta C s$ и вызывает появление коэффициента отражения, величина которого определяется выражением (6):

$$r_c = -i \omega \frac{C_1 Z}{2}. \quad (6)$$

При измерениях реальных линий нельзя не учитывать искажений импульсов, происходящих вследствие потерь энергии в цепях, и фазовых искажений.

Схема, поясняющая принцип действия рефлектометра представлена на рисунке 2. В настоящее время на рынке контрольно-измерительного оборудования имеется большой выбор рефлектометров, однако, несмотря на разнообразие конструктивных решений и характеристик этих приборов, обобщенная схема на дает достаточно полное представление об их структуре и подключении к измеряемым цепям.

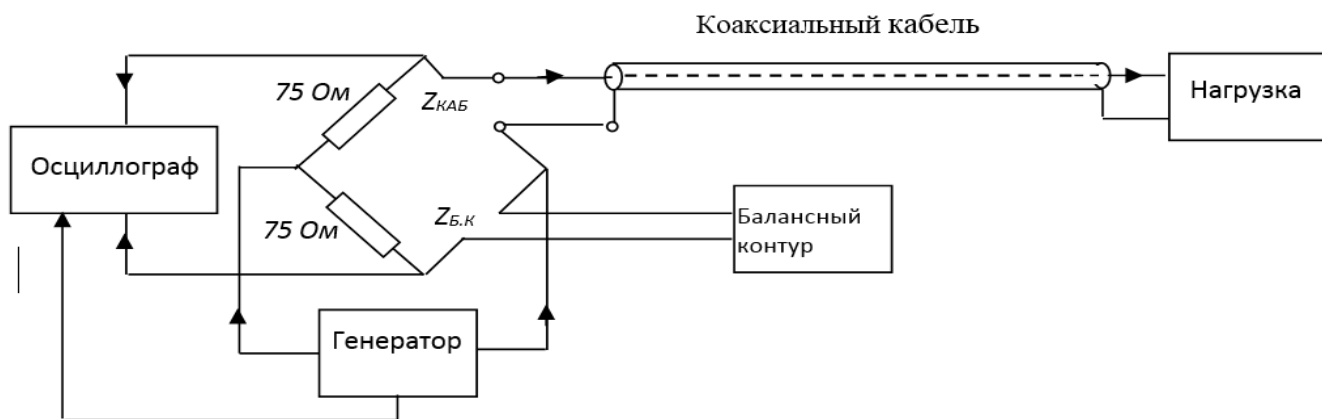


Рисунок 2 – Структурная схема, поясняющая принцип действия рефлектометра

Сущность импульсного метода измерений состоит в следующем. Импульсы напряжения малой длительности и определенной периодичности подаются от генератора импульсов через мостовую схему на вход коаксиальной пары и распространяются по ней. Если бы коаксиальная пара была однородной и нагруженной на свое волновое сопротивление, то каждый импульс на конце коаксиальной пары поглощался бы приемником (сопротивлением нагрузки), не отражаясь при распространении по коаксиальной паре, как это показано на рисунке 1а. При наличии несогласованной нагрузки на конце линии произойдет отражение энергии и в обратном направлении (к началу линии) будет распространяться отраженный импульс. В зависимости от характера несогласованности $Z_H > Z_C$ или $Z_H < Z_C$ отраженный импульс будет иметь полярность, показанную на рисунке 1, б и в. Осциллограммы, представленные на рисунке 1 отображаются на экране осциллографа, входящего в состав рефлектометра. Он подключен к диагонали моста. Поскольку осциллограф и генератор зондирующих импульсов подключены к разным диагоналям, сигнал от генератора (при наличии баланса) не будет проходить на выход осциллографа. Для того, что бы отобразить зондирующий импульс, сигнал подается на вход осциллографа по отдельной линии, как показано на рисунке 2. Таким образом, осциллограф имеет два входа: один для приема сигнала от генератора зондирующих импульсов, другой для приема отраженного сигнала. Хотя осциллограф подключен к диагонали, отраженный сигнал поступает на его вход, поскольку коаксиальная линия подключена к отдельному плечу мостовой схемы.

Теперь поясним назначение мостовой схемы. Зондирующий импульс, посылаемый в линию, имеет достаточно большое пиковое напряжение (порядка нескольких десятков вольт). Вообще чем больше его

энергия, тем эффективнее работает прибор, поскольку от этого зависит и дальность его действия, и способность обнаруживать малые неравномерности. Дальность действия определяется затуханием, вносимым кабелем. Зондирующий импульс, в отличие от полезного сигнала, проходит по длине линии дважды в прямом и обратном направлениях, соответственно и ослабляется в два раза сильнее. К этому добавим, что коэффициент отражения от конца линии не всегда равен единице, а зависит от величины сопротивления нагрузки. Приходящий обратный сигнал, может быть обработан, если выдержанно определенное отношение сигнал/шум. При измерениях линий имеющих большую длину этот показатель имеет определяющее значение.

Что касается малых неоднородностей, то отраженный сигнал, особенно если неоднородность расположена на большом расстоянии от начала, по определению должен быть малым. Поэтому вход осциллографа, на который подается отраженный сигнал, должен быть снабжен высокочувствительным усилителем. Но при этом возникает сложность обеспечения его правильной работы при подаче в линию зондирующих импульсов. Принцип измерения построен так, что для получения результата необходимо и генератор и высокочувствительный приемный усилитель подключить к входу линии. В этом случае мощный импульс с генератора (несколько десятков вольт) поступит не только в линию, но на вход усилителя, рассчитанного на прием сигналов слабых сигналов (единиц микровольт). В результате произойдет недопустимая перегрузка усилителя. Возможны разные пути решения этой задачи. Одним из них является применение сбалансированного моста. Генератор импульсов и вход осциллографа подключены к разным диагоналям моста и, следовательно, сигнал с генератора не поступает на вход осциллографа, а свободно поступает в линию, которая подключена к отдельному плечу моста. Отраженный сигнал поступает на то же плечо моста и беспрепятственно доходит до входа осциллографа.

Для обеспечения баланса моста в два плеча включены резисторы величиной 75 Ом, что соответствует волновому сопротивлению исследуемого кабеля. Что касается плеча, образуемого входным сопротивлением кабеля $Z_{КАБ}$, то оно в принципе может быть не чисто активным и для достижения баланса к нижнему плечу подсоединяется балансный контур с входным сопротивлением $Z_{Б.К}$. Балансный контур имеет в своем составе регулируемое активное сопротивление, а так же L и C, подстройкой которых добиваются полного баланса моста.

Следует отметить, что мостовая схема должна не только обеспечивать режим баланса, но и согласование с входным сопротивлением линии. Дело в том, что отраженный сигнал, дойдя до входа линии, при отсутствии согласования отразится от его начала и снова вернется в линию. Такие многократные отражения исказят осциллограмму на экране ЭЛТ.

Внешний вид осциллограмм, представленный на рис. 4.4., характерен для идеализированной линии, когда неоднородности параметров вдоль линии отсутствуют, а сигнал отражается от несогласованного выхода. При наличии же неоднородностей, повреждений или при несогласованной нагрузке, возникают отраженные импульсы, которые возвращаются к началу измеряемой коаксиальной пары через мостовую схему, следуя друг за другом и создавая в начале коаксиальной пары напряжение, непрерывно изменяющееся во времени. Это напряжение отображается на экране ЭЛТ в виде кривой, подобной показанной на рисунке 3 и называемой импульсной характеристикой измеряемой коаксиальной пары.

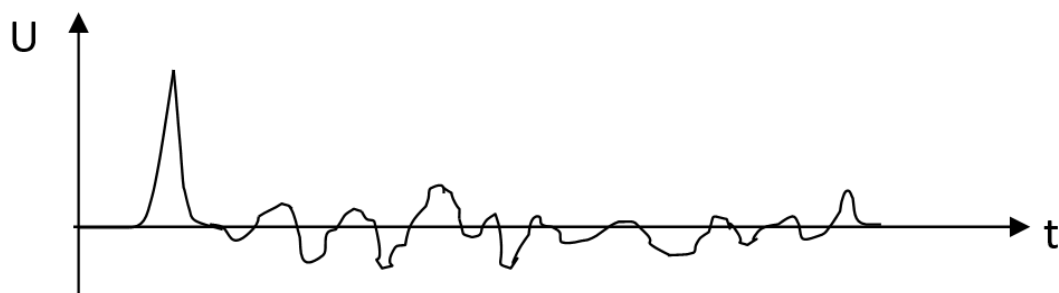


Рисунок 3 – Импульсная характеристика коаксиальной пары

Причиной возникновения неоднородностей могут быть механические повреждения кабелей, проникновение влаги и т.п. Другой причиной неоднородностей могут быть технологические дефекты производства и монтажа кабелей и муфт, вставки отрезков кабеля других типов, сделанные при спешном ремонте и т.п., вплоть до катушек Пупина, которые не были сняты при переводе существующей кабельной линии с аналоговой на цифровую систему передачи. Перечисленные факторы зачастую не влияют на качество передачи аналоговых сигналов, но могут резко ухудшить качество передачи цифровых сигналов.

Структурная схема рефлектометра

Приборы, выпускаемые для импульсных измерений имеют достаточно сложное устройство, отличаются разнообразием схемных решений. Однако в обобщенном виде могут быть вполне рассмотрены на основе структурной схемы, представленной на рисунке 4.

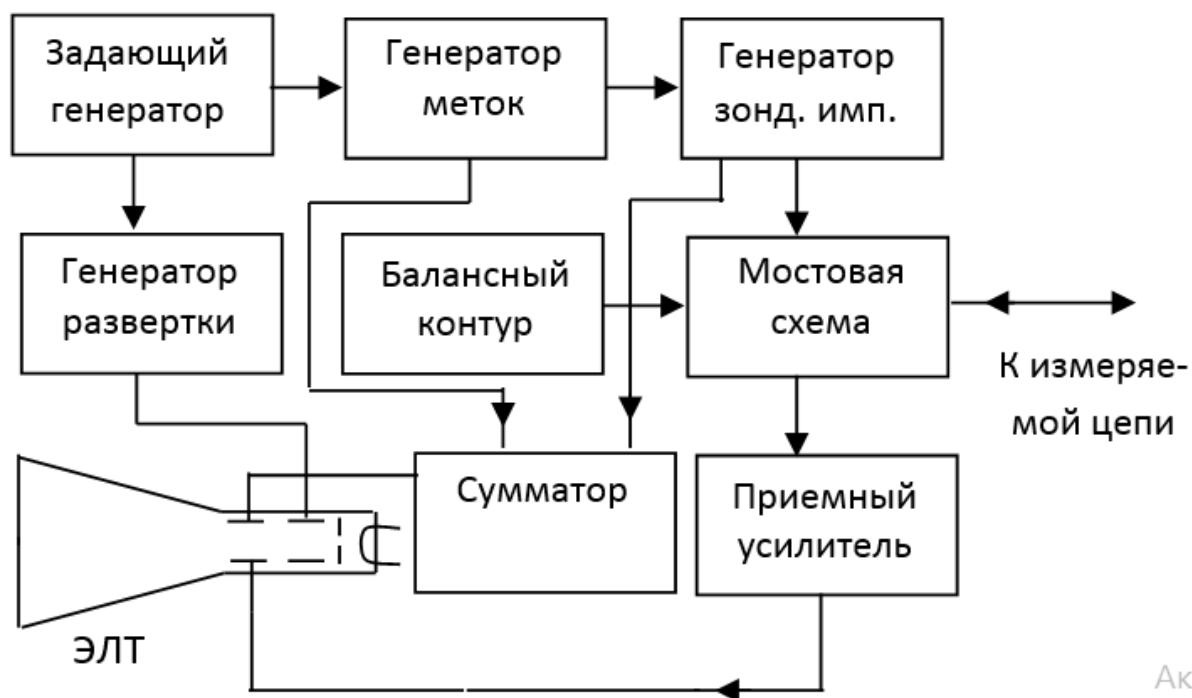


Рисунок 4 – Обобщенная схема приборов для импульсных измерений

В состав прибор входят:

- генератор зондирующих импульсов определенной амплитуды и формы, следующих с постоянной частотой повторения;
- приемник измерительных импульсов (на схеме приемный усилитель), который должен обладать необходимой чувствительностью и достаточно широкой полосой пропускания;
- индикатор (ЭЛТ), измеряющий промежутки времени, выражающиеся в микро- и наносекундах, между посылкой зондирующих и приходом отраженных импульсов.

Кроме того, схемы импульсных приборов содержат ряд дополнительных устройств и элементов (корректоры, интегратор, дифференциальный трансформатор, балансный и нагрузочный контуры и др.), совершенствующих работу и расширяющих технические возможности приборов.

Задающий генератор вырабатывает высокостабильные синусоидальные колебания, необходимые для управления работой генератора масштабных меток, генератора импульсов и блока ждущей развертки. Генератор импульсов вырабатывает зондирующие импульсы необходимой длительности, формы и частоты. Частота посылок импульсов должна быть такой, чтобы интервал между соседними импульсами не был меньше вре-

мени пробега импульсом двойной длины измеряемой линии. Однако частота не должна быть слишком малой, так как при малой частоте могут быть заметными мелькания на экране ЭЛТ импульсного прибора.

Генератор масштабных меток, вырабатывает кратковременные импульсы, следующие один за другим через определенные промежутки времени.

Генератор развертки предназначен для получения напряжения, изменяющегося пропорционально времени. Вырабатываемое этим генератором пилообразное напряжение подается на горизонтально отклоняющие пластины ЭЛТ. В результате световое пятно, постепенно двигаясь слева направо, чертит на экране горизонтальную линию (прямой ход), а затем быстро возвращается в исходное положение (обратный ход). Описанный процесс многократно повторяется. Чтобы обратный ход светового пятна не затруднял наблюдений, его обычно «гасят» в течение времени обратного хода, подавая на управляющий электрод специальные импульсы, как это обычно делается в осциллографах.

Для того, что бы обеспечить постоянную скорость движения развертывающего светового пятна вдоль горизонтальной оси (оси времени) необходимо во время прямого хода высокая линейность нарастания пилообразного напряжения. При этом расстояния между двумя любыми точками вдоль горизонтальной оси на экране будут пропорциональны времени, затрачиваемому на прохождение световым пятном этих расстояний. Горизонтальная линия развертки в некотором масштабе изображает исследуемую линию связи. Поэтому необходимо выбрать скорость развертки, во столько раз меньше скорости распространения импульса по линии, во сколько раз длина экрана трубки меньше удвоенной длины рассматриваемого участка цепи.

В приборе используется ждущая развертка, т.е. генератор развертки включается одновременно с посылкой в линию зондирующего импульса. Начало отсчета на линии развертки можно отметить с помощью ослабленного зондирующего импульса, подаваемого на вертикально отклоняющие пластины ЭЛТ. На эти же пластины через приемный усилитель подается также отраженный импульс, поступающий с линии. Он создает на экране трубки вертикальный выброс. Расстояние между началами зондирующего и отраженного импульсов и определяет в известном масштабе расстояние до неоднородности линии.

При линейной развертке точность определения расстояния до места расположения неоднородности определяется точностью градуировки, ко-

торая, в свою очередь, зависит от диаметра экрана ЭЛТ. Обычно применяются ЭЛТ диаметром порядка 100 мм. Масштаб при этом получается мелким, и поэтому точность отсчета расстояния небольшая. Применение трубок с большим диаметром приводит к значительному удорожанию прибора, а главное, не дает все же радикального решения задачи. Поэтому для повышения точности измерений развертку включают не одновременно с посылкой зондирующего импульса, а с задержкой - спустя некоторое время. Время задержки выбирают таким, чтобы развертка началась несколько ранее и заканчивалась несколько позднее прихода в приемник отраженного импульса. Применение так называемой задержанной развертки позволяет просматривать импульсные характеристики отдельных участков линии в разных масштабах, что равносильно значительному увеличению диаметра трубки. Задержку развертки можно получить различными способами: с помощью фазорегулятора, искусственных линий и т.п.

Следует отметить, что в большинстве современных приборов применяются цифровые методы обработки и отображения отраженных сигналов. Такие приборы обеспечивают более высокую точность измерений и большие удобства в эксплуатации. В данном разделе рассмотрены принципы действия аналогового прибора, поскольку при этом имеется возможность «заглянуть» внутрь ящика и пояснить взаимодействие его частей. При описании современного прибора пришлось бы ограничиться фотографией его внешнего вида и перечислением основных характеристик, поскольку внутреннее устройство большинства современных приборов является секретом фирмы.

При постоянной и известной скорости развертки расстояние от неоднородности до места повреждения может быть определено с помощью накладной сетки. Отсчет при этом должен производиться от начала зондирующего импульса, что предопределяет необходимость одновременного просмотра всей измеряемой линии.

Более совершенным методом является использование калибрационных меток. Эти метки вырабатываются специальным генератором и подаются на сумматор, где складываются в определенной пропорции с зондирующими импульсами и поступают на вертикально отклоняющие пластины ЭЛТ.

Для защиты приемного усилителя от перегрузки напряжением зондирующего импульса в схеме предусмотрена мостовая схема и балансный контур (аналогично схеме на рис.1.26). Если сопротивление

балансного контура соответствует входному сопротивлению измеряемой цепи во всем спектре частот импульса, то мостовая схема оказывается сбалансированной для зондирующего импульса, и он не попадет в приемный усилитель. Для импульса, отраженного от неоднородности, мостовая схема разбалансирована, - поэтому отраженный импульс попадает на усилитель и далее на горизонтальные пластины ЭЛТ.

Практически невозможно полностью сбалансировать входное сопротивление цепи в широком диапазоне частот, поэтому ослабленный зондирующий импульс через усилитель попадает на трубку, где просматривается в начале оси времени, в результате чего уменьшается точность измерения начального участка цепи и получается так называемая «мертвая зона». Балансный контур служит для согласования прибора с входным сопротивлением измеряемой коаксиальной пары.

При прохождении вдоль коаксиальной пары зондирующего импульса последний изменяется по форме, амплитуде и длительности. Искажение зондирующего импульса зависит от его длительности, а также типа и длины коаксиальной пары. Затухание импульса увеличивается прямо пропорционально длине коаксиальной пары, и вы короче длительность импульса $t_{и}$, тем больше затухание.

Из-за искажений зондирующего импульса уменьшается его амплитуда, а форма как бы растягивается, в результате чего увеличивается его длительность. Следовательно, без коррекции зондирующего импульса, которая позволяет восстановить амплитуды отраженных импульсов, полученные данные окажутся искаженными.

В современных импульсных приборах применяется принцип одновременной коррекции амплитуды и фазы. Характеристики корректирующего контура определяются характеристиками затухания и фазы коаксиальных пар, а также формой и длительностью зондирующих импульсов. Как правило, погрешность коррекции импульса в импульсных приборах не превышает $\pm 0,5$ дБ.

Импульсные приборы характеризуются следующими основными параметрами: формой, длительностью и амплитудой зондирующих импульсов, частотой их следования, чувствительностью и длительностью развертки прибора. Указанные характеристики разных приборов весьма различны и зависят от параметров измеряемых линий, частотного диапазона и требований в отношении точности измерений.

3 Домашнее задание

Изучить основы теории, изложенные в настоящих методических указаниях и учебной литературе:

- Хромой Б. П. Метрология и измерения в телекоммуникационных системах (Том 2) – М.: ИРИАС, 2008. – 560 с.

По заданию преподавателя подготовить доклад на тему:

«Типы и основные технические характеристики современных рефлектометров».

Быть готовым к ответам на контрольные вопросы по теме практического занятия.

4 Контрольные вопросы

1. Приведите выражение для определения расстояния до места повреждения линии с помощью рефлектометра.

2. Из каких соображений рассчитывается период следования зондирующих импульсов рефлектометра?

3. Приведите вид осциллограммы зондирующего и отраженного импульсов рефлектометра для случая $Z_H = Z_C$.

4. Приведите вид осциллограммы зондирующего и отраженного импульсов рефлектометра для случая $Z_H > Z_C$.

5. Приведите вид осциллограммы зондирующего и отраженного импульсов рефлектометра для случая $Z_H < Z_C$.

6. Поясните назначение балансного контура в структурной схеме рефлектометра.