

РОСЖЕЛДОР
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ростовский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО РГУПС)

Х.Ш. Кульбикаян, Б.Х. Кульбикаян, А.В. Шандыбин

ИЗМЕРЕНИЯ В ТЕХНИКЕ СВЯЗИ

Учебно-методическое пособие
для лабораторных работ

Ростов-на-Дону
2017

УДК 656.25(07) + 06

Рецензент – кандидат технических наук, доцент Д.В. Швалов

Кульбикаян, Х.Ш.

Измерения в технике связи: учебно-методическое пособие для лабораторных работ / Х.Ш. Кульбикаян, Б.Х. Кульбикаян, А.В. Шандыбин; ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов н/Д, 2017. – 68 с.

Рассмотрены краткие сведения из теории измерения в технике связи. Приведены методические указания к лабораторным работам, предусмотренным РПД. Показаны алгоритмы оборудования рабочего места, производства измерений и обработки результатов измерений.

Предназначено для студентов специальности «Системы обеспечения движения поездов» всех форм обучения, изучающих дисциплину «Измерения в технике связи».

Одобрено к изданию кафедрой «Связь на железнодорожном транспорте».

© Кульбикаян Х.Ш., Кульбикаян Б.Х.,
Шандыбин А.В., 2017
© ФГБОУ ВО РГУПС, 2017

Оглавление

1. ЦИФРОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЯ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ	5
1.1 Цель работы	5
1.2. Приборы и оборудование	5
1.3. Содержание работы	5
1.4. Сведения из теории	5
1.5. Назначение и основные технические характеристики универсального вольтметра.....	21
1.6. Устройство и работа прибора и его составных частей	26
1.7. Порядок работы.....	32
1.8. Содержание отчета.....	34
1.9. Контрольные вопросы	35
Рекомендуемая литература	35
2. ИЗМЕРИТЕЛИ МОДУЛЯЦИИ	36
2.1 Цель работы	36
2.2 Приборы и оборудование	36
2.3 Порядок работы	36
2.4 Краткие теоритические сведения	36
2.5 Измеритель модуляции СКЗ-46	41
2.6 Методические указания к проведению измерений.....	47
2.7 Содержание отчета.....	48
2.8 Контрольные вопросы	49
Рекомендуемая литература	49
3. ИЗМЕРЕНИЕ АЧХ ХАРАКТЕРИОГРАФОМ Х1-50.....	50
3.1 Цель работы.....	50
3.2 Содержание работы.....	50
3.3 Сведения из теории	50
3.4. Технические характеристики прибора Х1-50	52
3.5. Подготовка к работе и калибровка Х1-50.....	55

3.6 Порядок проведения экспериментальных исследований	56
3.7. Содержание отчета.....	57
3.8. Контрольные вопросы	57
Рекомендуемая литература	57
4. ИМПУЛЬСНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ	58
4.1 Цель работы.....	58
4.2 Содержание работы.....	58
4.3 Метод импульсных измерений	58
4.4 Краткое описание прибора Р5-10	60
4.5 Подготовка прибора к измерениям	63
4.6. Указания к проведению измерений.....	63
4.7 Содержание отчета.....	66
4.8 Контрольные вопросы	66
Рекомендуемая литература	67

1. ЦИФРОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЯ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

1.1 Цель работы

Изучить устройство и принцип работы вольтметра с цифровым отсчетом. Научиться с помощью вольтметра В7-38 производить измерение постоянных и переменных напряжений, а также величины активных сопротивлений.

1.2. Приборы и оборудование

1. Вольтметр универсальный В7-38.
2. Милливольтметр ВЗ-38.
3. Измеритель R, L, C цифровой Е7-8.
4. Измеряемые объекты.

1.3. Содержание работы

1. Изучить по данному методическому указанию принципы построения измерителей напряжения с цифровым отсчетом.

Изучить структурную схему и принцип работы вольтметра В7-38 и ознакомиться с его основными метрологическими характеристиками.

2. В соответствии с инструкцией, имеющейся на рабочем месте, изучить порядок включения вольтметра В7-38, порядок подготовки и проведения измерений с его помощью.

3. Используя лабораторный макет, измерить величину напряжения постоянного тока положительной и отрицательной полярности. Определить погрешность измерения.

4. На том же макете измерить величину напряжения переменного тока низкой и высокой частоты. Определить погрешность измерения.

5. Измерить на лабораторном макете величину активного сопротивления и определить погрешность измерения, используя в качестве образцового прибора измеритель сопротивлений цифровой Е7-8.

6. Определить зависимость входного сопротивления вольтметра В7-38 от частоты.

7. Составить отчет по лабораторной работе.

1.4. Сведения из теории

1.4.1. Общие сведения

Непрерывная величина $x(t)$ – величина, которая может иметь в заданном интервале времени при бесконечно большом числе моментов времени бесконечно большое число значений.

Любая непрерывная величина, ограниченная некоторыми предельными значениями, может быть дискретизирована во времени и квантована по уровню.

Дискретизация – физическая операция преобразования непрерывной во времени величины в дискретную, при которой сохраняются ее мгновенные значения только в определенные моменты времени (моменты дискретизации).

Шаг дискретизации – промежуток времени Δt между двумя ближайшими моментами дискретизации. Шаг дискретизации может быть постоянным (рис. 1.1а) или переменным. При дискретизации теряется часть информации, однако каждое значение дискретной величины строго связано с определенным моментом времени. Дискретный сигнал в отличие от непрерывного может иметь только конечное число значений.

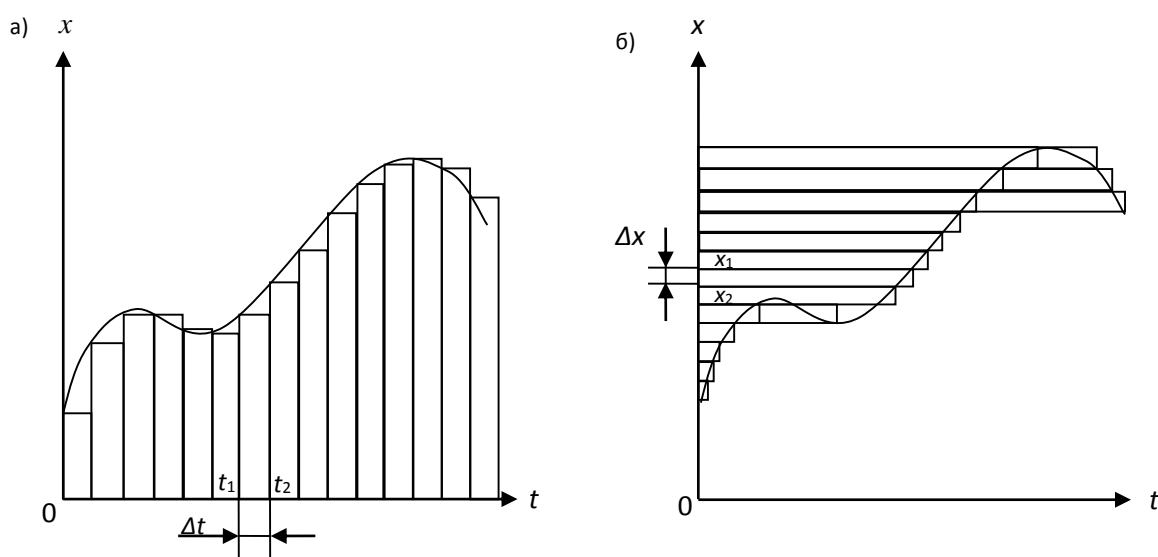


Рисунок 1.1. Временные диаграммы, поясняющие дискретизацию во времени (а) и квантование по уровню (б) непрерывной функции.

Квантование – физическая операция преобразования непрерывной величины в квантованную заменой ее мгновенных значений ближайшими фиксированными значениями, совокупность которых образована по определенному закону. Квант (ступень квантования) – разность Δx ; между двумя соседними значениями (рис. 1.1б). При квантовании теряется часть информации, но получаемое в результате квантования значение величины известно с точностью, определяемой ступенью квантования. В результате равномерного квантования мгновенные значения непрерывной величины представляются конечным числом ступеней квантования.

Цифровое кодирование – операция условного представления числового значения величины последовательностью цифр (сигналов), подчиняющихся определенному закону.

Цифровые измерительные приборы автоматически преобразуют непрерывную измеряемую величину или ее аналог (физическую величину, пропорциональную измеряемой) в дискретную форму, подвергают цифровому кодированию и выдают результат измерения в виде чисел, появляющихся на отсчетном устройстве или фиксируемых цифropечатающим устройством.

Цифровые измерительные приборы многопредельны, универсальны, предназначены для измерения напряжения постоянного и переменного токов, частоты, фазы, сопротивления, отношения напряжений и других электрических, а также неэлектрических величин. Среди измерительных приборов особое место занимают *цифровые вольтметры*, позволяющие обеспечить автоматический выбор предела и полярности измеряемых напряжений; автоматическую коррекцию погрешностей; малые погрешности измерения (0,01 – 0,001%) при широком диапазоне измеряемых напряжений (от 1 мкВ до 1000 В), выдачу результатов измерения в цифровом виде, документальную регистрацию с помощью цифropечатающего устройства, ввод измерительной информации в ЭВМ и сложные информационно-измерительные системы. Основные недостатки цифровых вольтметров – сложность схем, высокая стоимость, меньшая надежность.

Цифровой вольтметр в отличие от аналогового содержит аналого-цифровой преобразователь (кодирующее устройство) (АЦП), устройство цифрового отсчета.

Цифровые вольтметры классифицируют по способу преобразования непрерывной величины в дискретную; структурной схеме АЦП; применяемым техническим средствам; способу компенсации.

По способу преобразования различают цифровые вольтметры с поразрядным кодированием (взвешиванием), с время- и частотно-импульсными преобразованиями.

В цифровых вольтметрах с поразрядным кодированием происходит последовательное сравнение значений измеряемой величины с рядом дискретных значений образцовой величины; в цифровых вольтметрах с время-импульсным преобразованием значения измеряемой величины U_x преобразуется во временной интервал Δt с последующим заполнением этого интервала импульсами N образцовой частоты (счетными импульсами); в цифровых вольтметрах с частотно-импульсным преобразованием (интегрирующих) происходит преобразование значения измеряемого напряжения U_x в частоту f следования импульсов.

По структурной схеме АЦП цифровые вольтметры делятся на вольтметры прямого преобразования и уравнивающего преобразования. В вольтметрах прямого преобразования отсутствует обратная связь с выхода на вход, и непрерывная измеряемая величина непосредственно преобразуется в дискретную. В вольтметрах уравнивающего преобразования обязательно имеется обратная связь, т.е. входная величина в процессе преобразования уравнивается выходной.

По применяемым техническим средствам цифровые вольтметры делятся на электромеханические вольтметры (переключающие устройства измерительной цепи строятся на контактных элементах – электромагнитные реле, шаговые искатели, реверсивные электродвигатели) и электронные вольтметры (переключающие устройства измерительной цепи построены на бесконтактных электронных элементах – электронные ключи, триггеры и др.). Электромеханические цифровые вольтметры обладают большой точностью и малым быстродействием (1-2 измерения/с), а электронные цифровые вольтметры – меньшей точностью, но большим быстродействием (десятки тысяч измерений в секунду).

По способу уравнивания цифровые вольтметры делятся на вольтметры со следящим и развертывающим уравниванием. В вольтметрах со следящим уравниванием измеряемая величина U_x непрерывно сравнивается с компенсирующей величиной U_k . В вольтметрах с развертывающим уравниванием операция сравнения величин измеряемой U_x и компенсирующей U_k происходит по определенной наперед заданной программе. Компенсирующее напряжение принудительно изменяется от нуля до максимального значения и прекращает это изменение в момент равенства напряжений, т.е. при $U_x = U_k$.

Измерительная информация в цифровых вольтметрах может быть представлена в десятичном коде для визуального отсчета и выведена в двоичном коде на цифropечатающее устройство для регистрации. Каждый цифровой вольтметр имеет *устройство цифрового отсчета*, состоящее из дешифраторов и знаковых (цифровых) индикаторов.

Дешифраторы являются преобразователями дискретных сигналов, т.е. позволяют получать на выходе нужную комбинацию сигналов при подаче определенной комбинации сигналов на входе. В цифровых вольтметрах дешифраторы преобразуют двоично-десятичный код в соответствующие напряжения, управляющие цифровыми индикаторами, обеспечивающими визуальную индикацию в десятичном коде (например, код 2–4–2–1, 8–4–2–1 в десятичный код от 0 до 9). Для выполнения этой задачи обычно используют диодные схемы «И», как наиболее простые и достаточно быстродействующие.

Знаковые индикаторы используют для представления результатов измерения в цифровой форме. Конструкция знаковых индикаторов может быть различна, например: индикаторы с лампами накаливания, выполненные в виде прозрачных пластин (светопровода) из оргстекла или люцита, на которых нанесены цифры и имеется боковая подсветка в торец лампочкой (число пластин соответствует числу индуцируемых знаков); индикаторы из газоразрядных счетных ламп (декатронов) и ламп типа «ИН» с анодами в виде сеток и катодами, выполненными в форме арабских цифр от 0 до 9 (рис. 1.2) (число ламп должно соответствовать числу десятичных разрядов отсчетного устройства); люминесцентные мозаичные индикаторы (рис. 1.3), обеспечивающие яркое и четкое изображение цифр, состоящие из отдельных элементов мозаики, светящихся при подключении напряжения к

соответствующим элементам; мозаичные индикаторы со светоизлучающими диодами (обеспечивают высокую надежность и хорошую совместимость с транзисторными схемами); электронные индикаторы, выполненные на специальных электроннолучевых трубках; устройство в виде светового табло, содержащее набор либо из 10 ламп накаливания, либо из 10 неоновых ламп (в зависимости от значения измеряемой величины зажигает та или иная лампа и освещает соответствующую цифру).

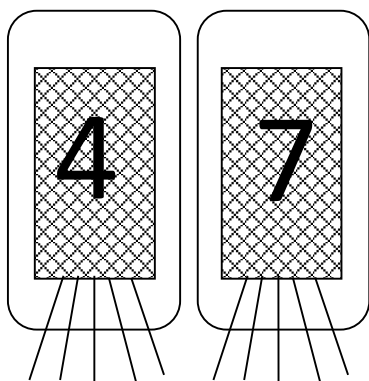


Рисунок 1.2

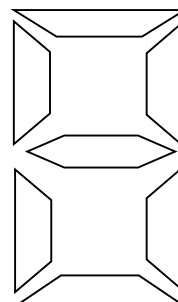


Рисунок 1.3

Для улучшения параметров цифровых измерительных приборов создаются комбинированные структуры с одновременным использованием различных методов преобразования, адаптивные (приспосабливающиеся к параметрам измеряемого сигнала) структуры с автоматической коррекцией, автоматической калибровкой, структуры с устранением избыточной информации, со статической обработкой информации, термостатирующими устройствами и т. п.; используются элементы, узлы, обладающие улучшенными характеристиками.

1.4.2 Общие сведения о вольтметрах с цифровым отсчетом

В цифровых электронных вольтметрах постоянные или медленно изменяющиеся напряжения подвергаются преобразованию, в результате которого аналоговый сигнал превращается в дискретный, а значение последнего отображается на индикаторном устройстве в виде светящихся десятичных знаков.

В соответствии с этим основными узлами цифровых вольтметров являются: входное устройство, аналого-цифровой преобразователь (АЦП), цифровой индикатор и устройство управления работой прибора (автоматика).

Входное устройство обеспечивает высокое входное сопротивление прибора, изменение масштаба измеряемого напряжения, преобразование переменного напряжения в постоянное и фильтрацию помех.

Аналого-цифровой преобразователь предназначен для преобразования постоянного или медленно изменяющегося во времени по сравнению с циклом измерения аналогового сигнала в импульсный сигнал с числом импульсов, пропорциональным величине измеряемого напряжения.

Устройство управления обеспечивает синхронную последовательность работы всех узлов приборов в соответствии с установленным циклом измерения.

Достоинством цифровых вольтметров является то, что они позволяют устранить субъективные ошибки экспериментатора, автоматизировать процесс измерения напряжения (вводить данные измерений на ЭВМ), наряду с измерением напряжения измерить другие параметры электрических цепей (сопротивление, частоту и др.), т.е. они относятся к группе приборов В7.

Цифровые вольтметры по своему схемному решению различаются в основном типом АЦП. Наибольшее распространение получили вольтметры с время-импульсным преобразованием, с частотным преобразованием, с двойным интегрированием и поразрядным уравниванием.

Основные параметры цифровых вольтметров. Точность преобразования определяется погрешностью квантования по уровню, характеризуемой числом разрядов в выходном коде.

Погрешность цифровых вольтметров имеет две составляющие, из которых одна зависит от измеряемой величины (мультипликативная), а другая не зависит (аддитивная). Такое представление связано с дискретным принципом измерения непрерывной величины, так как в процессе квантования возникает абсолютная погрешность, обусловленная конечным числом уровней квантования. Абсолютная погрешность измерения напряжения

$$\Delta U = \pm(\gamma_{\text{отн}} U_x + m), \text{ или } \Delta U = \pm(\gamma_{\text{отн}} U_{\text{кз}} + m), \quad (1.1)$$

где $\gamma_{\text{отн}}$ – относительная погрешность измерения; U_x – значение измеряемого напряжения; $U_{\text{кз}}$ – конечное значение на выбранном пределе измерения; m – значение, определяемое единицей младшего разряда цифрового отсчетного устройства (аддитивная погрешность дискретности).

Основная допускаемая относительная погрешность представляется и в другом виде:

$$\gamma_{\text{отн}} = \pm \left(a + b \frac{U_{\text{кз}}}{U_x} \right), \quad (1.2)$$

где a и b – постоянные числа, характеризующие класс точности прибора.

Первый член погрешности не зависит от показаний прибора, а второй увеличивается при уменьшении U_x по гиперболическому закону.

Время преобразования – время, затрачиваемое на выполнение одного преобразования аналоговой величины в цифровой код.

Пределы изменения входной величины – диапазоны преобразований входной величины, которые полностью определяются числом разрядов и «весом» наименьшего разряда.

Чувствительность (разрешающая способность) – наименьшее различимое преобразователем изменение значения входной величины.

Наиболее распространенные формы входных величин – напряжение или ток, временной интервал.

Системы кодирования – двоичная, двоично-десятичная и др.

1.4.3 Цифровые вольтметры постоянного тока с поразрядным кодированием (взвешиванием)

Цифровой вольтметр с поразрядным кодированием представляет собой прибор электромеханического типа с следящим уравниванием, в котором происходит последовательное сравнение значений измеряемой величины с рядом дискретных значений образцовой величины. Схема такого вольтметра представлена на рис. 1.4а. Измеряемое напряжение U_x через аттенуатор (делитель напряжения) подается на устройство сравнения, на второй вход которого поступает дискретное компенсационное напряжение U_k , создаваемое источником образцового напряжения и дискретным компенсатором. Последний состоит из трех декад (рис. 1.4б), содержащих четыре резистора «весом» 2, 4, 2, 1, и из добавочной декады, содержащей один резистор «весом» 1. Значения сопротивлений резисторов каждой декады отличаются от значений сопротивлений резисторов следующей декады в 10 раз (на рис. 1.4б показана одна декада резисторов).

Сначала резисторы $R4 - R7$ заземлены, и компенсационное напряжение U_k равно нулю. Затем резистор $R4$ подсоединяют к источнику опорного напряжения напряжением U_0 , и компенсационное напряжение будет равно

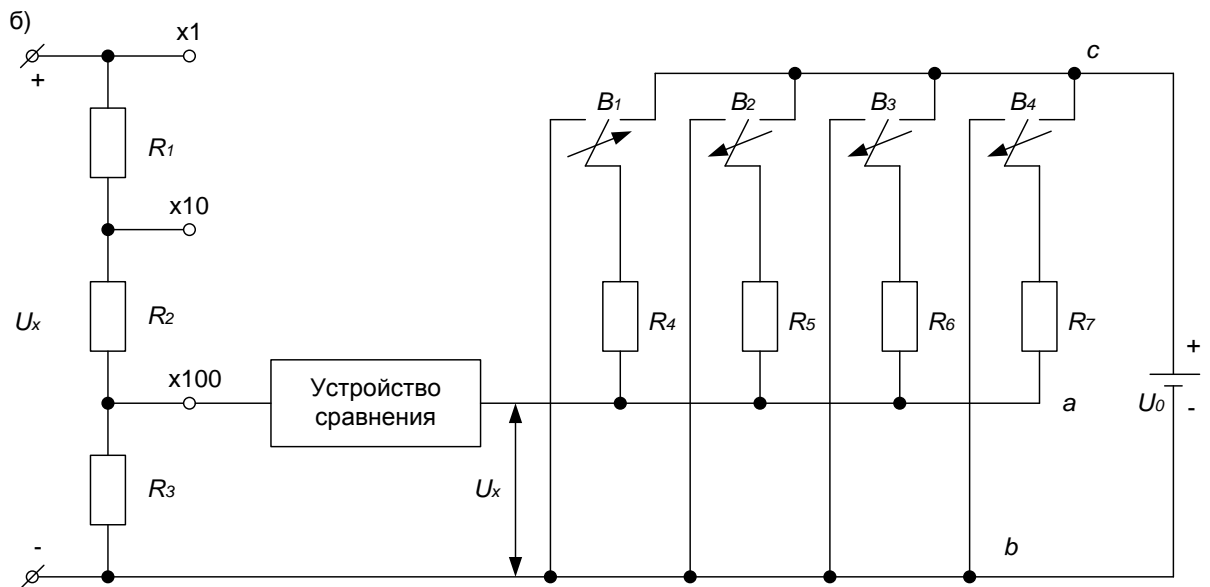
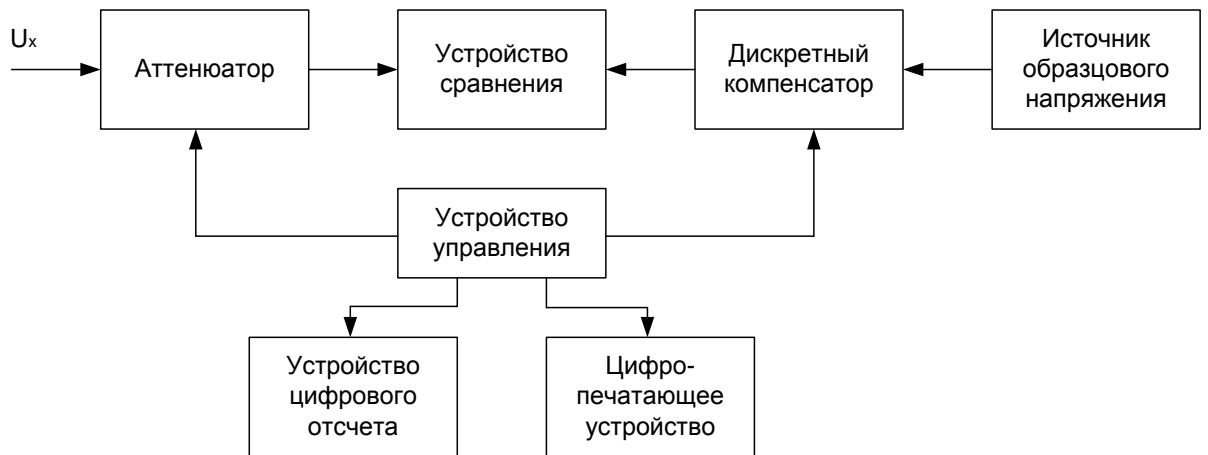
$$U_k = \frac{U_0 \cdot g_4}{g_4 + g_5 + g_6 + g_7} = \frac{U_0}{g} \sum_{i=4}^7 k_i \frac{1}{R_i}, \quad (1.3)$$

где g_4, g_5, g_6, g_7 – проводимости соответствующих резисторов R_i ; k_i – коэффициент, равный 1 или 0 в зависимости от того, включен ли резистор R_i на шину c .

Устройство сравнения при $U_x \neq U_k$ дает необходимую команду *Много* – *мало* в устройство управления, пока напряжение разбаланса $U_x - U_k$ не сделается равным нулю. Если измеряемое напряжение U_x больше компенсационного напряжения U_k ($U_x > U_k$), то устройство сравнения дает команду *Много*, резистор $R4$ остается включенным, и параллельно к нему включается резистор $R5$ и т. д. Если измеряемое напряжение $U_x < U_k$, то устройство сравнения дает команду *Мало*, резистор $R4$ отключается, и включается резистор $R5$. Так по команде устройства сравнения переключаются резисторы всех декад, и в цепи остаются те резисторы, параллельное соединение которых дает значение, при котором U_k равно U_x . Результаты измерения в двоичном коде с устройства управления поступают в устройство цифрового отсчета, где преобразуются в десятичную систему счисления и выводятся на цифровое табло, либо на цифropечатающее

устройство. Временные диаграммы напряжения (рис. 4.4б) поясняют принцип компенсации.

а)



в)

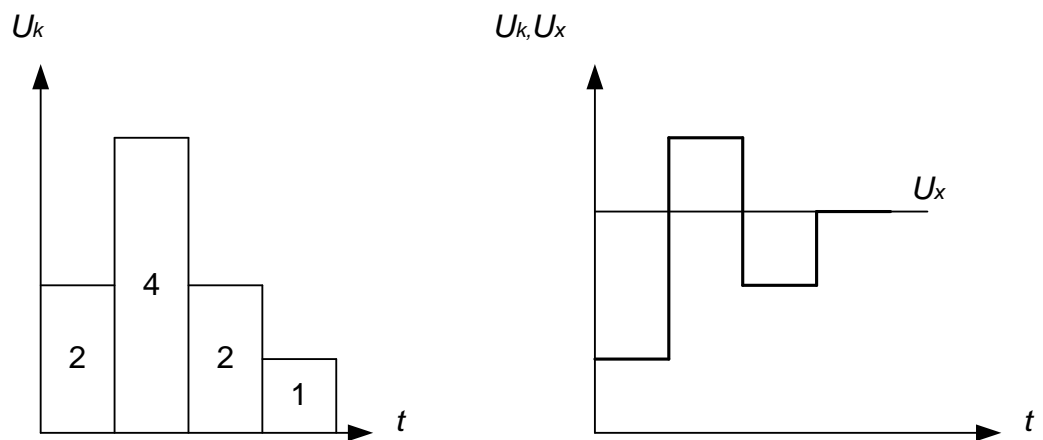


Рисунок 1.4

Устройство управления состоит из коммутационной системы и датчика программы. В качестве коммутационной системы используются

электромагнитные реле. При помощи контактов этих реле переключаются резисторы дискретного компенсатора, зажигаются соответствующие лампочки в цифровом устройстве отсчета, включается цифropечатающее устройство.

В качестве датчика программы используется реле-искатель, с помощью которого по очереди принудительно срабатывают коммутационные реле. Выбор предела измерения и полярности происходит автоматически. По данной схеме выполнен вольтметр ВК2-6.

Цифровые вольтметры с поразрядным кодированием позволяют измерять напряжение с наибольшей точностью, определяющей является погрешность компенсационного напряжения.

1.4.4 Цифровые вольтметры постоянного тока с время-импульсным преобразованием

В основу работы цифровых вольтметров постоянного тока с время-импульсным преобразованием положен время-импульсный метод преобразования постоянного тока в прямо пропорциональный интеграл времени с последующим измерением длительности интервала. Измеряемое напряжение подается на входное устройство, в котором напряжение приводится с помощью делителя к номинальному пределу (10 В) и далее поступает на усилитель постоянного тока. В усилителе постоянного тока оно усиливается и преобразуется в симметричное напряжение (рис. 4.5 *a*). Сигналы с выходов усилителя постоянного тока, потенциалы которых связаны линейно со значением и знаком U_k , подаются на входы устройства сравнения (двух компараторов). На вторые входы устройства сравнения подается линейно-падающее напряжение U_k от генератора линейно-изменяющего напряжения. В моменты уравнивания напряжения U_k с напряжением $+U_x$ и $-U_x$ происходит два последовательных срабатывания устройства сравнения, которые следуют через промежуток времени $\Delta t = kU_x$. На выходе устройства сравнения образуется прямоугольный импульс длительностью Δt . Этот импульс отпирает генератор счетных импульсов (образцовая частота обычно 0,8 – 1 МГц), импульсы с которого поступают на электронный счетчик импульсов и устройство цифрового отсчета.

На время обратного хода пилообразного напряжения генератор счетных импульсов запирается прямоугольным импульсом цикла.

Узел сброса, управляемый хронизатором, вырабатывает отрицательный сбросовый импульс, переводящий все декады устройства цифрового отсчета перед началом прямого хода в положения 0. Длительность цикла измерения определяется хронизатором.

Полярность измеряемого постоянного напряжения определяется очередностью срабатывания устройства сравнения, и соответствующий сигнал «-», «+», «~» подается в устройство цифрового отсчета.

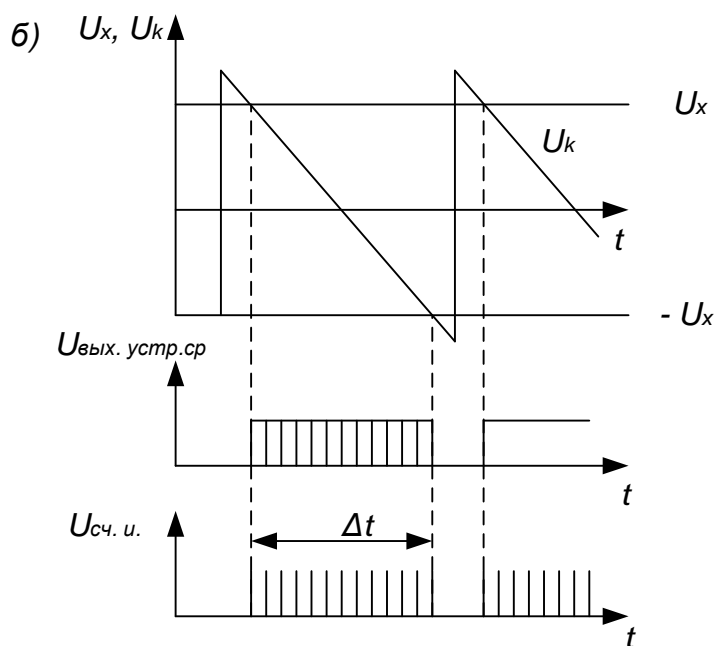
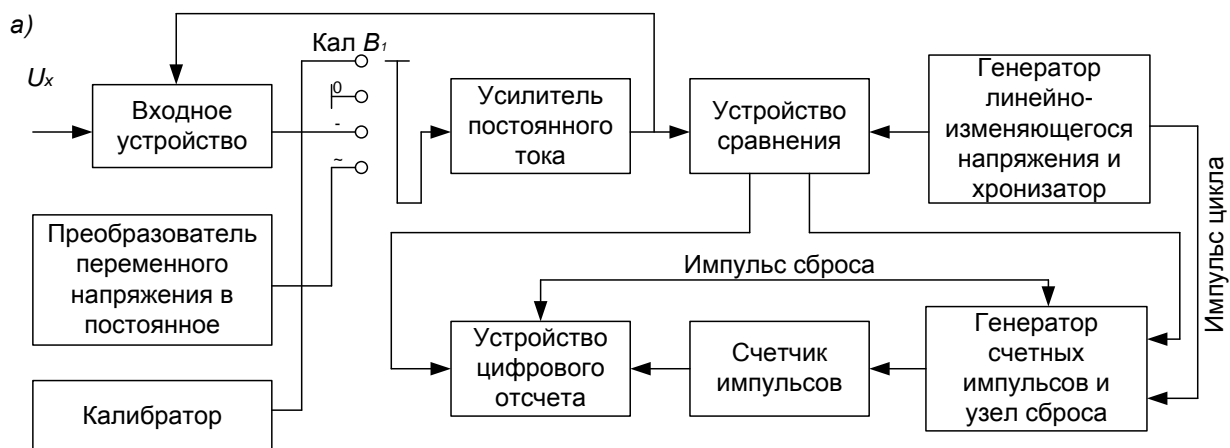


Рисунок 1.5

При установке нуля прибора вход усилителя постоянного тока заземляется, а при калибровке на его вход подается напряжение от встроенного внутри калибратора (источника калибровочного напряжения).

Временные диаграммы, поясняющие принцип компенсации в цифровом вольтметре с время-импульсным преобразованием, показаны на рис. 1.5б.

В случае измерения переменного напряжения входной сигнал после делителя подается на преобразователь переменного напряжения в постоянное, а затем поступает уже на вход усилителя постоянного тока. В качестве преобразователя используется полупроводниковый детектор среднего значения.

Погрешность прибора зависит от линейности и скорости изменения компенсирующего напряжения, стабильности генератора, генератор счетных импульсов, чувствительности устройства сравнения, точности установки нуля или опорного напряжения.

Метод время-импульсного преобразования используется в вольтметрах ВК7-10А; В7-20 и др.

Один из основных недостатков вольтметров с время-импульсным преобразованием – влияние различных помех на результат измерения, в частности помех частоты 50 Гц промышленной сети. Наибольшая погрешность определяется пиковым значением напряжения помех $U_{м.пом}$. Для ослабления симметричных помех применяют частотно-импульсные (интегрирующие) вольтметры, которые измеряют среднеарифметическое значение напряжения за время, значительно превышающее период помехи или кратное одному или нескольким ее периодам

$$U_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T [U_x + u_{пом}(t)] dt = \frac{1}{T} \int_0^T (U_x + U_{м.пом} \cdot \sin \omega t) dt = U_x,$$

и вольтметры с двойным интегрированием. Из этой формулы следует, что среднеарифметическое значение напряжения за период интегрирования U_{cp} равно значению измеряемого постоянного напряжения U_x без симметричной помехи.

1.4.5 Цифровые вольтметры постоянного тока с частотно-импульсным преобразованием (интегрирующие)

В интегрирующем цифровом вольтметре осуществляется преобразование напряжения U частоту f . Преобразователь напряжения – частота – может быть выполнен на лампах, транзисторах, операционных усилителях. Вольтметр содержит интегратор – устройство, выходное напряжение $U_{инт}$ которого пропорционально интегралу по времени от входного напряжения, т. е. $U_{инт} = k \cdot \int_0^T u_{вх}(t) \cdot dt$, где k – постоянная интегрирования. Интегратор может быть реализован на лампах, транзисторах, операционных усилителях. Схема интегрирующего вольтметра с импульсной связью представлена на рисунке 4.6 а.

Измеряемое напряжение U_x интегрируется и подается на устройство сравнения, на другой вход которого поступает напряжение U_0 с источника образцового напряжения. В момент равенства выходного напряжения интегратора $U_{инт}$ и напряжения U_0 устройство сравнения включает формирователь импульсов обратной связи, формирующий в течение интервала времени t_{oc} импульс амплитудой U_{oc} , постоянной вольт-секундной площади $U_{oc}t_{oc}$ (рис. 1.6 б).

Цикл работы формирователя определяется интервалом времени $T_x = t_{инт} + t_{oc}$ зависящим от значения напряжения U_x .

Для процесса заряда и разряда интегратора справедливо выражение

$$\frac{1}{R_1 C} \cdot \int_0^{t_{инт}} U_x \cdot dt = U_0 = \int_0^{t_{oc}} \left(\frac{1}{R_2 C} U_{oc} - \frac{1}{R_1 C} U_x \right) \cdot dt, \quad (1.4)$$

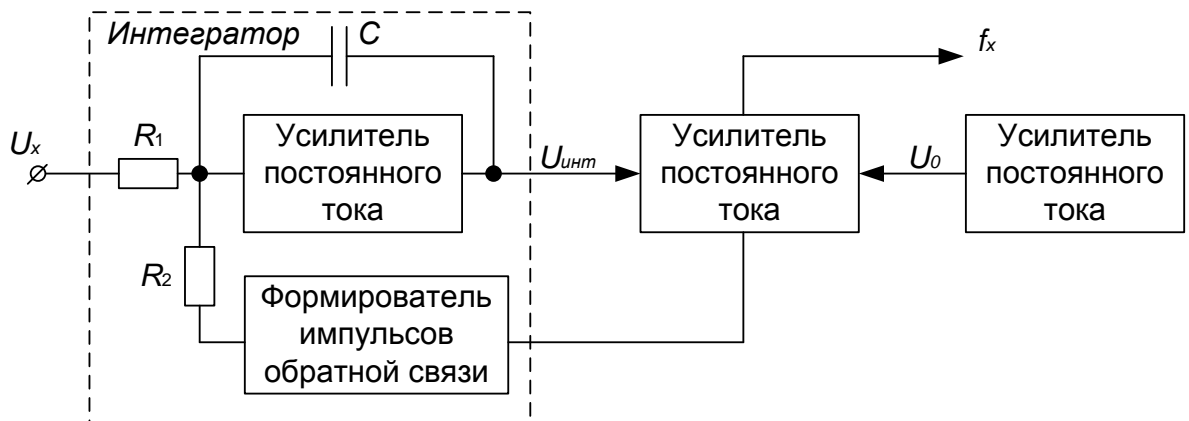
где $R_1 C = \tau_1$; $R_2 C = \tau_2$.

При прямоугольной форме импульсов амплитудой U_{oc} .

$$\begin{aligned} \frac{t_{\text{инт}}}{\tau_1} \cdot U_x = U_0 &= \frac{t_{oc}}{\tau_2} \cdot U_{oc} - \frac{t_{oc}}{\tau_1} \cdot U_x; \\ \frac{t_{\text{инт}} + t_{oc}}{\tau_1} \cdot U_x &= \frac{T_x}{\tau_1} \cdot U_x = \frac{t_{oc}}{\tau_2} \cdot U_{oc}, \end{aligned} \quad (1.5)$$

где $T_x = t_{\text{инт}} + t_{oc} = 1/f_x$.

а)



б)

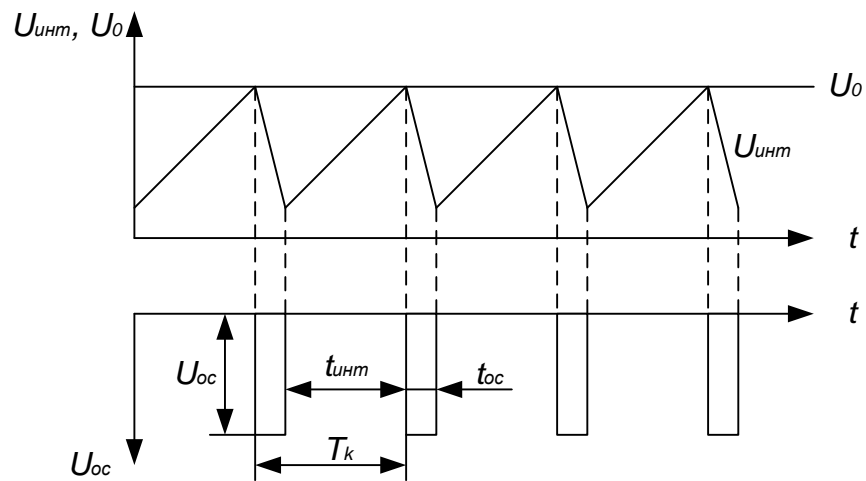


Рисунок 1.6

Следовательно, уравнение преобразования можно записать в виде

$$f_x = \frac{1}{T_x} = \frac{\tau_2}{\tau_1} \cdot \frac{U_x}{U_{oc} \cdot t_{oc}} = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{U_x}{U_{oc} \cdot t_{oc}} = k \cdot U_x, \quad (1.6)$$

т. е. параметры преобразователя не зависят от значений емкости C и образцового напряжения U_0 и определяются только отношением сопротивлений интегратора и стабильностью площади импульса обратной

связи. Подобные схемы могут обеспечить общую погрешность преобразования не более 0,1%.

На значение общей погрешности существенное влияние может оказать дрейф нуля интегратора, поэтому в преобразователях малых напряжений в частоту используют различные способы компенсации дрейфа нуля интегратора, не ухудшая быстродействие.

Частотно-импульсное преобразование используется в вольтметрах В2–23; В7–21 и др.

1.4.6 Цифровые вольтметры постоянного тока с двойным интегрированием

Метод время-импульсного преобразования в сочетании с двойным интегрированием позволяет эффективно ослабить влияние помех, измерить напряжение обеих полярностей, получить входное сопротивление, равное единицам ГигаОм, и малую погрешность измерения без предъявления особых требований к постоянству линейно-изменяющегося напряжения.

Вольтметр содержит (рис. 1.7 а) интегратор, на вход которого подается напряжение U_x либо напряжение U_0 .

Измерение напряжения U_x выполняется в два такта.

На первом такте (интегрирование «вверх») интегральное значение измеряемого напряжения U_x запоминается на выходе интегрирующего усилителя, на втором такте (интегрирование «вниз») интегральное значение напряжения U_x преобразуется во временной интервал Δt , в течение которого на счетчик от генератора счетных импульсов поступают импульсы образцовой частоты f_0 . Число прошедших импульсов N выражает значение U_x , т. е. $N=kU_x$, где k – постоянная.

В исходном состоянии все электронные ключи K разомкнуты. В начале первого такта (в момент времени t_1 пуска) устройство управления вырабатывает прямоугольный импульс калиброванной длительности Δt_n с крутым фронтом и срезом. В момент появления фронта импульса ключи K_1 и K_3 замыкаются, в результате чего на вход интегратора поступает измеряемое напряжение U_x и импульсы с частотой следования f_0 начинают поступать от генератора счетных импульсов на счетчик импульсов. На выходе интегратора напряжение возрастает по линейному закону (рис. 1.7 б), пропорционально U_x

$$U_{\text{инт}}(t_1 < t < t_2) = \frac{U_x t}{\tau_1}, \quad (1.7)$$

где τ_1 – постоянная интегрирования на первом такте.

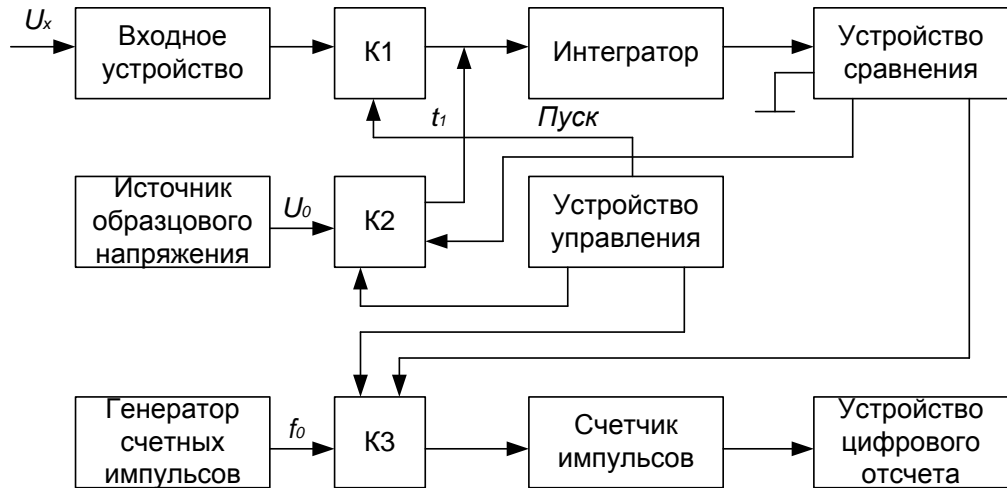
Когда на счетчик поступит N_m импульсов, он будет заполнен и импульс N_{m+1} в момент времени t_2 сбросит его в нулевое состояние. При этом размыкается ключ K_1 и замыкается ключ K_2 , в результате чего ко входу интегратора прикладывается от источника образцового напряжения напряжение U_0 полярность которого обратна полярности напряжения U_x . В этот момент заканчивается интегрирование «вверх» и начинается интегрирование «вниз».

Напряжение $U_{инт}$ начинает убывать по линейному закону пропорционально U_0

$$U_{инт}(t_2 < t < t_3) = U_x \left(\frac{\Delta t_n}{\tau_1} \right) - U_0 \left(\frac{t}{\tau_2} \right), \quad (1.8)$$

где Δt_n — длительность первого такта интегрирования; τ_2 — постоянная интегрирования на втором такте.

а)



б)

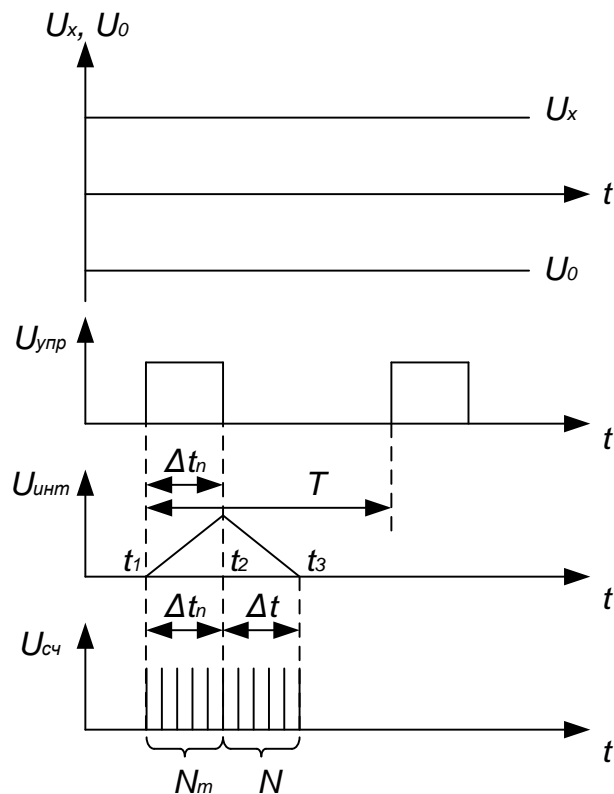


Рисунок 1.7

Импульсы от генератора счетных импульсов продолжают поступать на счетчик. В момент времени t_3 напряжение $U_{инт}$ становится равным нулю.

Устройство сравнения, второй вход которого соединен с корпусом прибора, срабатывает и размыкает ключ K_2 .

Для момента времени t_3 справедливо соотношение:

$$U_{\text{инт}}(t_3) = U_x \left(\frac{\Delta t_n}{\tau_1} \right) - U_0 \left(\frac{\Delta t}{\tau_2} \right) = 0, \quad (1.9)$$

где Δt – длительность второго такта интегрирования.

За время Δt на счетчик поступило N импульсов. Код числа N через дешифратор передается в устройство цифрового отсчета.

После размыкания ключа K_3 прибор приходит в исходное состояние и готов к новым измерениям. До начала нового измерения производится коррекция дрейфа интегратора и устройства сравнения при разомкнутых ключах.

Из приведенного выше соотношения для момента времени t_3 следует, что

$$\frac{U_x \Delta t_n - U_0 \Delta t}{\tau} = 0, \quad (1.10)$$

где $\tau_1 = \tau_2 = \tau$ – постоянная времени интегратора; R, C – параметры элементов схемы интегратора.

Откуда

$$\Delta t = \left(\frac{U_x}{U_0} \right) \Delta t_n = \frac{N}{f_0}. \quad (1.11)$$

Интервал времени Δt прямо пропорционален значению напряжения U_x и не зависит от постоянной времени интегратора, т.е. для осуществления метода время-импульсного преобразования с двойным интегрированием не требуются цепи с высокостабильными элементами. Число прошедших импульсов N , выражающих значение U_x равно

$$N = \left(\frac{U_x}{U_0} \right) \Delta t_n f_0 = k U_x. \quad (1.12)$$

Длительность интегрирования «вверх» Δt_n и значение образцового напряжения U_0 могут поддерживаться постоянными с высокой точностью, и поэтому погрешность преобразования напряжения во временной интервал при этом методе незначительна.

Метод время-импульсного преобразования в сочетании с двойным интегрированием используется в вольтметрах Щ1413, Щ1516.

1.4.7 Цифровые вольтметры постоянного тока с комбинированным преобразованием

Комбинированные цифровые вольтметры сочетают в себе два метода преобразования частотно-импульсного и поразрядного кодирования. Они обеспечивают относительно высокую точность измерения, необходимую скорость, хорошее ослабление шумов, наводок, накладываемых на входной измеряемый сигнал.

На рис. 1.8 представлена схема с комбинированным преобразованием вольтметра высокой точности.

Процесс измерения осуществляется *путем двух выборок* – грубой и более точной. Измеряемое напряжение U_x поступает на входное устройство, а затем через устройство сравнения на преобразователь напряжение-частота. Поскольку при первой выборке ко второму входу устройства сравнения напряжение еще не подводится, то на выходе его действует измеряемое напряжение U_x преобразуемое в последовательность импульсов, частота следования которых пропорциональна U_x (первичное интегрирование). Устройство управления замыкает электронные ключи K_1 , K_2 на определенное время, через них проходят импульсы, и счетчиком фиксируются только первые декады старшего разряда. Накопленное в счетчике число импульсов преобразуется с помощью цифро-аналогового преобразователя в постоянное напряжение U_k , грубо равное U'_x . Это напряжение поступает на второй вход устройства сравнения, в котором оно вычитывается из напряжения U_x .

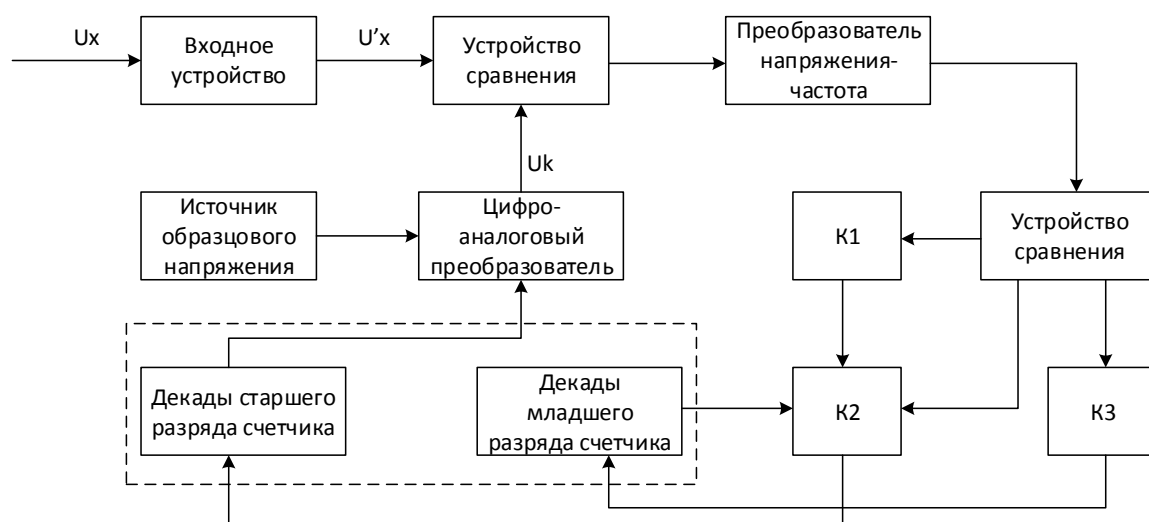


Рисунок 1.8

Оставшаяся некомпенсированной по старшим разрядам разность напряжений $\Delta U = U_x - U'_x$ подвергается вторичному интегрированию. Разность ΔU вновь преобразуется в последовательность импульсов, которые подсчитываются за определенный отрезок времени остальными декадами младшего разряда счетчика (при этом замкнут ключ K_3). Результаты двух измерений суммируются, и только после этого устройство цифрового отсчета выдает окончательный результат.

Погрешность измерения входного напряжения вольтметром с комбинированным преобразователем составляет $\pm 0,01\%$, при погрешности цифро-аналогового преобразователя $\pm 0,002\%$ и преобразователя напряжения–частота $\pm 0,3\%$. Сложность преобразования снижает быстродействие.

1.4.8. Цифровые вольтметры переменного тока

Цифровые вольтметры переменного тока строят в основном по принципу преобразования переменного напряжения в постоянное напряжение $U_- = \varphi(U\sim)$, которое затем измеряется вольтметром постоянного тока.

При создании преобразователей переменного тока в постоянный необходимо обеспечить высокую степень линейности амплитудной характеристики $U_- = \varphi(U\sim)$ при большом динамическом диапазоне, постоянство характеристик в широком диапазоне частот, малые пульсации преобразованного напряжения и т.д.

Измерение переменного напряжения связано с необходимостью учета формы кривой сигнала и схемы преобразователя. Выходное напряжение пропорционально средневыпрямленному, среднеквадратичному, амплитудному значению измеряемого напряжения (в зависимости от схемы преобразователя). Информация о значениях измеряемой величины выводится на устройство цифрового отсчета в действующих значениях синусоидального напряжения.

Наибольшее распространение в универсальных цифровых вольтметрах в режиме измерения переменного напряжения (рис. 6.5) получили двухполупериодные выпрямительные преобразователи среднего значения с фильтром и усилителем, охваченным глубокой отрицательной обратной связью.

Большое значение имеют методы измерения среднеквадратичного значения переменного тока, результаты измерения которых не зависят от формы кривой измеряемого напряжения. В этом отношении интерес представляют цифровые вольтметры среднеквадратичного значения с автоматической обработкой результатов измерения ряда мгновенных значений напряжений; принципом компарирования переменного измеряемого напряжения с известным опорным напряжением постоянного тока; принципом компарирования переменного измеряемого напряжения с опорным переменным напряжением (равным опорному напряжению постоянного тока), сформированным из измеряемого.

Погрешность цифровых вольтметров переменного тока значительно больше погрешности цифровых вольтметров постоянного тока и зависит от частотного диапазона (частотный диапазон бывает чаще всего от десятков герц до десятков килогерц, вне этих пределов погрешность вольтметра возрастает). Верхний предел частоты измеряемого напряжения в цифровых вольтметрах не превосходит 30 МГц.

1.5. Назначение и основные технические характеристики универсального вольтметра

1.5.1. Назначение вольтметра

Вольтметр универсальный цифровой В7-38 предназначен для измерения основных электрических величин: напряжения постоянного, переменного тока, сопротивления и силы тока.

1.5.2. Условия эксплуатации

- 1) питание от сети $220 \pm 22\text{В}$ частотой $50 \pm 0,5$ Гц;
- 2) относительная влажность до 80% при температуре воздуха до 298 К ($+25^{\circ}\text{C}$);
- 3) окружающая температура: от 263 К до 313 К (от минус 10 до плюс 40°C).

Нормальные условия эксплуатации:

- 1) напряжение сети $220 \pm 4,4$ В, частотой $50 \pm 0,5$ Гц, содержанием гармоник до 5%;
- 2) относительная влажность воздуха $65 \pm 15\%$;
- 3) температура окружающей среды $+20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($293 \pm 5\text{K}$);
- 4) атмосферное давление 100 ± 4 кПа (750 ± 30 мм. рт. ст.).

1.5.3 Технические характеристики

Прибор обеспечивает измерение напряжения, силы тока и сопротивления в нормальных условиях в соответствии с данными, приведенными в табл. 5.1,

где K_r – коэффициент гармоник;

U_x, I_x, R_x – показания прибора или номинальное значение меры (при поверке) напряжения, сопротивления, силы тока.

U_n, I_n, R_n — пределы измерения напряжения, сопротивления, силы тока.

Прибор измеряет средневыврявленное значение переменного напряжения, а проградуирован в среднеквадратических значениях.

Примечание:

1. Общее гнездо прибора допускает относительно заземляющего контакта напряжение постоянного или переменного тока не более 500 В.

2. Пределу измерения 0,2 В, кОм соответствует положение запятой на первой лампе слева.

Пределу измерения 2 В, кОм соответствует положение запятой на второй лампе слева и т. д.

На пределе 20000 кОм запятая не индицируется.

3. Измерение силы проводится с помощью выносного шунта.

Таблица 1.1

Измеряемая величина	Диапазон измеряемых величин, В, кОм, мА	Пределы измерения, В, мА, кОм	Пределы допускаемой основной погрешности, %	Примечание
Напряжение	$10^{-5} - 10^3$	0,2; 2	$\pm(0,04 + 0,02 \frac{U_n}{U_x})$	

постоянного тока		20; 200; 1000	$\pm(0,07 + 0,02 \frac{U_n}{U_x})$	
Напряжение переменного тока частотой 30-40 Гц	$10^{-5} - 300$	0,2; 2; 20; 200; 300	$\pm(1,5 + 0,1 \frac{U_n}{U_x})$	
Напряжение переменного тока частотой 40-60 Гц	$10^{-5} - 300$	0,2; 2; 20; 200	$\pm(0,4 + 0,05 \frac{U_n}{U_x})$	$K_r \leq 0,5\%$
		300	$\pm(0,5 + 0,4 \frac{U_n}{U_x})$	$K_r \leq 0,8\%$
Напряжение переменного тока частотой 60 Гц – 10 кГц	$10^{-5} - 300$	0,2; 2; 20; 200	$\pm(0,2 + 0,05 \frac{U_n}{U_x})$	$K_r \leq 0,2\%$
		300	$\pm(0,2 + 0,4 \frac{U_n}{U_x})$	$K_r \leq 0,5\%$
Напряжение переменного тока частотой: 10 – 100 кГц 10 – 20 кГц	$10^{-5} - 200$	0,2; 2	$\pm(0,2 + 0,1 \frac{U_n}{U_x})$	$K_r \leq 0,5\%$
Напряжение переменного тока частотой: 10 – 100 кГц 10 – 20 кГц	$10^{-5} - 200$	20; 200	$\pm(0,5 + 0,1 \frac{U_n}{U_x})$	$K_r \leq 0,5\%$
	$10^{-5} - 300$	300	$\pm(0,5 + 0,6 \frac{U_n}{U_x})$	$K_r \leq 0,5\%$

Сопротивление постоянному току	$10^{-5} - 2 \cdot 10^4$	0,2	$\pm(0,07 + 0,1 \frac{R_n}{R_x})$	
		2; 20	$\pm(0,07 + 0,02 \frac{R_n}{R_x})$	
		200	$\pm(0,07 + 0,02 \frac{R_n}{R_x})$	
		2000	$\pm(0,15 + 0,02 \frac{R_n}{R_x})$	
		$2 \cdot 10^4$	$\pm(0,5 + 0,1 \frac{R_n}{R_x})$	
Сила постоянного тока	$10^{-5} - 2 \cdot 10^3$	0,2; 2; 20; 200; 2000	$\pm(0,25 + 0,02 \frac{I_n}{I_x})$	
Сила переменного тока частотой 30 – 40 Гц	$10^{-5} - 2 \cdot 10^3$	0,2; 2; 20; 200; 2000	$\pm(1,6 + 0,1 \frac{I_n}{I_x})$	
Сила переменного тока частотой 40 Гц – 20 кГц	$10^{-5} - 2 \cdot 10^3$	0,2; 2; 20; 200; 2000	$\pm(0,5 + 0,05 \frac{U_n}{U_x})$	$K_r \leq 0,5\%$

4. Постоянная составляющая напряжения при измерении напряжения переменного тока допускается не более 600 В.

Предел допускаемой дополнительной погрешности измерения (изменение показаний) при изменении температуры окружающего воздуха от нормальных до предельных значений в рабочем диапазоне температур не превышает предела допускаемой основной погрешности на каждые 10 К.

Входное активное сопротивление прибора:

- 1) при измерении напряжения постоянного тока $10 \pm 0,5$ МОм;
- 2) при измерении напряжения переменного тока $1 \pm 0,05$ МОм.

Входная емкость не превышает 100 пФ.

Сила входного тока при измерении напряжения постоянного тока не превышает 0,5 нА.

Прибор выдерживает в течение 1 минуты перегрузку напряжением и силой постоянного и переменного тока в соответствии с табл. 1.2.

Таблица 1.2

Вход прибора	Перегрузка напряжением, В	
	постоянное	переменное среднее
U	1100	350
$U\sim$	600	350
R	100	100
Вход шунта	Перегрузка силой тока, мА	
0,2 мА	10	
2 мА	30	
20 мА	100	
200 мА	500	
2000 мА	3000	

Прибор обеспечивает ослабление внешних помех частотой $50 \pm 0,5$ Гц при измерении напряжения постоянного тока:

1) нормального вида – не менее 40 дБ при уровне помехи не превышающем предела измерения U_n , но не более 100 В;

2) общего вида – не менее 80 дБ при не симметрии входа 1 кОм, при напряжении помехи не более 250 В.

Выбор пределов измерения U -, $U\sim$, R , определение и индикация полярности и индикация выхода за предел измерения 20 МОм при измерении сопротивления – автоматические. При измерении силы тока выбор пределов измерения производится вручную.

Примечание: При измерении силы тока необходимо следить за тем, чтобы вольтметр находился на пределе 0,2 В.

Время измерения не превышает:

1) 1 с при измерении напряжения и силы постоянного тока и сопротивления постоянному току на пределах 0,2; 2; 20; 200 кОм;

2) 3 с при измерении напряжения и силы переменного тока и сопротивления постоянному току на пределе 2 МОм;

3) 15 с при измерении сопротивления постоянному току на пределе 20 МОм.

Прибор сохраняет свои характеристики в рабочих условиях без калибровки в течение 12-ти месяцев.

Электрическая изоляция цепей питания прибора и общего гнезда относительно заземляющего контакта выдерживает в течении 1 минуты без пробоя в нормальных условиях испытательное напряжение переменного тока частотой 50 Гц, среднеквадратическое значение которого равно 1500 В.

Сопротивление изоляции указанных цепей прибора в нормальных условиях не менее 20 МОм, при повышенной температуре – не менее 5МОм.

Прибор обеспечивает свои технические характеристики после времени установления рабочего режима, равного 15 мин.

Прибор сохраняет свои технические характеристики при питании его от сети переменного тока напряжением $220 \pm В$, частотой $50 \pm 0,5$ Гц и содержанием гармоник до 5%.

Мощность, потребляемая прибором от сети при номинальном напряжении, не превышает 10 ВА.

Прибор допускает непрерывную работу в рабочих условиях в течении времени не менее 24 часов, при сохранении своих технических характеристик. При этом обеспечиваются нормальные режимы ЭВМ, ППП, деталей и элементов в пределах норм стандартов и ТУ на них.

1.6. Устройство и работа прибора и его составных частей

1.6.1. Принцип действия

6.1.1. Принцип действия прибора основан на преобразовании измеряемой величины в пропорциональный ей интервал времени с последующим преобразованием этого интервала в дискретную форму и в цифровой код.

Измеряемые величины посредством делителя напряжения и соответствующих преобразователей трансформируются в нормированное постоянное аналоговое напряжение.

АЦП осуществляет основную функцию преобразования нормированного аналогового напряжения в цифровой код.

Преобразование напряжения во временной интервал осуществляется методом двухтактного интегрирования.

Преобразователь $U\sim/U$ - представляет собой линейный преобразователь средневыпрямленных значений, проградуированный в эффективных значениях.

Принцип действия преобразователя R/U - основан на пропускании известного стабильного тока через измеряемое сопротивление.

Преобразование I/U осуществляется путем выделения падения напряжения, созданного измеряемым током, на калиброванном сопротивлении шунта.

1.6.2 Структурная схема прибора

Структурная схема прибора приведена на рис. 1.9.

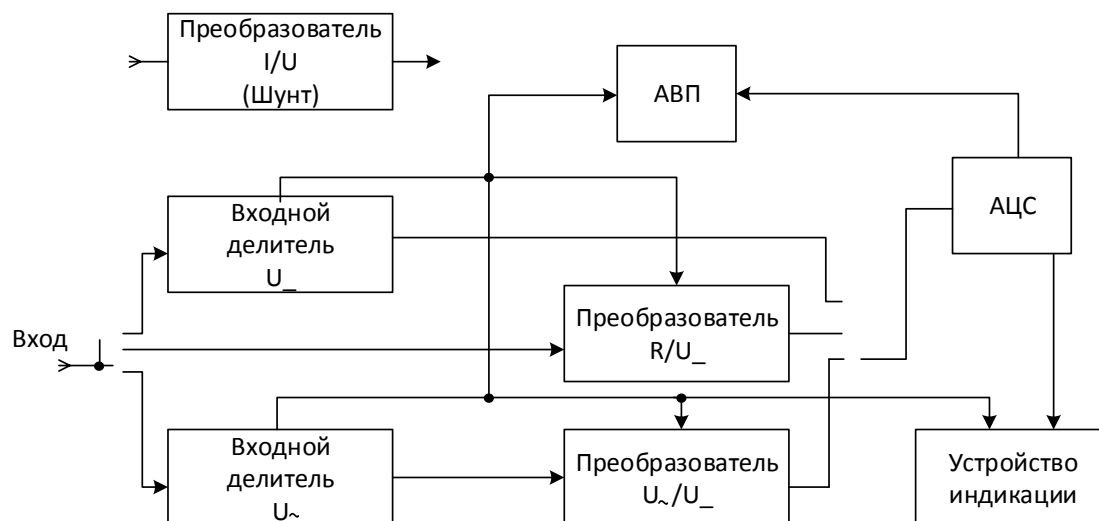


Рисунок 1.9

1.6.3. Схема электрическая принципиальная

Схема электрическая принципиальная вольтметра универсального цифрового В7-38 приведена в прил. 1. Перечень элементов приведен в прил. 2. Схема расположения элементов приведена в прил. 3.

На плате прибора расположены следующие основные узлы: входные делители, преобразователь U_{\sim}/U_{-} , преобразователь R/U_{-} , АЦП, АВП, устройство индикации и источник питания.

Входной делитель напряжения постоянного тока Э1 (10 МОм) коммутируется посредством реле Р1-2 и ключей А1 и А2.

Входной делитель напряжения переменного тока (1 МОм) выполнен на отдельных резисторах R1, R2, R3, R85 для обеспечения необходимого частотного диапазона. Коммутация осуществляется посредством реле Р1-1 и Р3-1. С1, С44 – элементы частотной коррекции.

Преобразователь U_{\sim}/U_{-} , выполненный на усилителях МС1, МС3 (прил. 1), представляет собой однополупериодный выпрямитель средневыпрямленных значений.

Для повышения входного сопротивления и масштабирования на входе преобразователя введен масштабный усилитель с последовательной ООС, имеющий коэффициент передачи 1 или 10, коммутируемый ключами Т21 и Т22.

Собственно преобразователь выполнен на усилителе МС3 с параллельной ООС через выпрямительные диоды Д7 и Д8. Используется положительная полуволна выпрямленного напряжения.

Для обеспечения большого динамического диапазона введена глубокая ООС по постоянному току через R32, R33 и С20.

На выходе преобразователя включен фильтр нижних частот R12, R13, R18, R125, С4, С7, С8, С12 для устранения пульсаций выпрямленного напряжения.

Элементы R6, R9, C6, Д2, Д3, Д4, Д1, R10, R75 выполняют функцию защиты.

Преобразователь R/U_ представляет собой стабилизатор тока, выполненный на усилителе МС2.

Величина тока определяется напряжением опорного источника и эталонными резисторами R23, R26, R34, R45, R48, R49, R40 - R43, R19, R35, коммутация которых осуществляется с помощью ключей Т38, Т39 и контактов реле Р2-1.

Элементы С16, С17 и ключи Т18, Т19, Т28, Т29 позволяют использовать неизолированный источник опорного напряжения.

Ключи Т7, Т8, Т17, и конденсатор С9 – элементы коррекции смещения нуля усилителя МС2.

Элементы R14, Т4, Т6, Т42, Д6 выполняют функцию защиты от перегрузок.

Преобразователь I/U представляет собой выносной многопредельный шунт, подключаемый к входным гнездам прибора.

АЦП включает в себя аналоговую часть, кварцевый генератор счетных импульсов, делитель частоты и устройство управления АЦП.

Аналоговая часть АЦП выполнена на элементах: МС4 (входной усилитель), МС7 (интегратор) и МС9 (компаратор). Основные временные соотношения приведены на рис. 1.3. Первый (фиксированный) такт интегрирования Т1 (диаграмма 1 рис. 1.3), в течение которого производится заряд интегрирующего конденсатора С27 током, пропорциональным входному напряжению, равен 100 мс.

В момент времени Т1 замкнуты ключи Т23.

По окончании интервала Т1 начинается второй такт интегрирования Т2 (диаграмма 2 рис. 3), заключающийся в разряде конденсатора С27 током, пропорциональным напряжению опорного источника (диаграмма 3 рис. 3). Поскольку скорость заряда конденсатора определяется величиной входного напряжения, а скорость разряда постоянна, интервал Т2, за время которого конденсатор С27 разрядится до исходного напряжения, будет пропорциональным входному значению напряжения.

В момент времени Т2 замкнуты ключи: Т33 – при положительной полярности преобразуемого напряжения или Т24 – при отрицательной полярности.

Источник опорного напряжения – отрицательной полярности, изменение полярности осуществляется переключением обкладок конденсатора С21 посредством ключей Т24 и Т33.

Элементы R22, R15, R16 служат для коррекции входного тока АЦП.

Запоминание напряжения смещения и дрейфа нуля осуществляется за время между измерениями.

При этом замыкаются ключи Т32, А7, Т26. Конденсатор С24 заряжается до напряжения смещения и дрейфа нуля усилителей. Конденсатор С21 заряжается до опорного напряжения. В момент времени Т1 + Т2, выделяемый

компаратором МС9 (диаграмма 4 рис. 3), напряжение на конденсаторе С24 компенсирует смещение и дрейф усилителей. Элементы R98, R99, R100 служат для коррекции погрешности разнополярности. Элементы R5, T13, T14 выполняют функцию защиты.

Кварцевый генератор счетных импульсов выполнен на логических элементах МС6-2, МС6-3, работает в непрерывном режиме, генерирует счетные импульсы частотой следования 200 кГц (диаграмма 7 рис. 1.10).

Делитель частоты (МСТ) выполняет функцию пересчета счетных импульсов и совместно с элементами МС19-1 и МС19-2 формирует последовательность тактовых импульсов T1 (диаграмма 1 рис. 1.10), определяющих частоту измерений прибора. Частота измерений выбрана равной 2,5 измерений в секунду для обеспечения нормальной работы устройства АВП, установления переходных процессов и нормального восприятия семисегментной индикации.

Сброс делителя частоты синхронизирован с сетью (диаграмма 6 рис. 1.10) посредством элементов T49, M C11-2.

Элементы С43, R91, МС12-4, МС8-4 предназначены для формирования сигнала управления коррекцией смещения нуля усилителя преобразователя R/U_T3 (диаграмма 8 рис. 1.10).

Устройство управления АЦП выполняет следующие функции:

- 1) фиксации полярности (МС11-1);
- 2) формирование интервала T1+T2 посредством триггера, выполненного на элементах МС6-1, МС5-1 (диаграмма 5 рисунок 1.10);
- 3) формирование сигнала для управления ключами полярности источника опорного напряжения (МС5-2, МС5-3).

Транзистор T44 согласует выход компаратора с устройством управления АЦП.

Форма напряжения на транзисторе T44 представлена на диаграмме 9 рис. 1.10.

В приборе применен АВП следящего типа с использованием реверсного счетчика МС15.

Дешифратор АВП преобразует двоичный код реверсного счетчика в код управления ключами выбора пределов и десятичной запятой и выполнен на элементах: МС16, МС17, МС8-2, МС18, T52, T54.

Ограничение работы реверсного счетчика на сложение элементов МС18-2, 3Д18, R79, на вычитание – МС8-3.

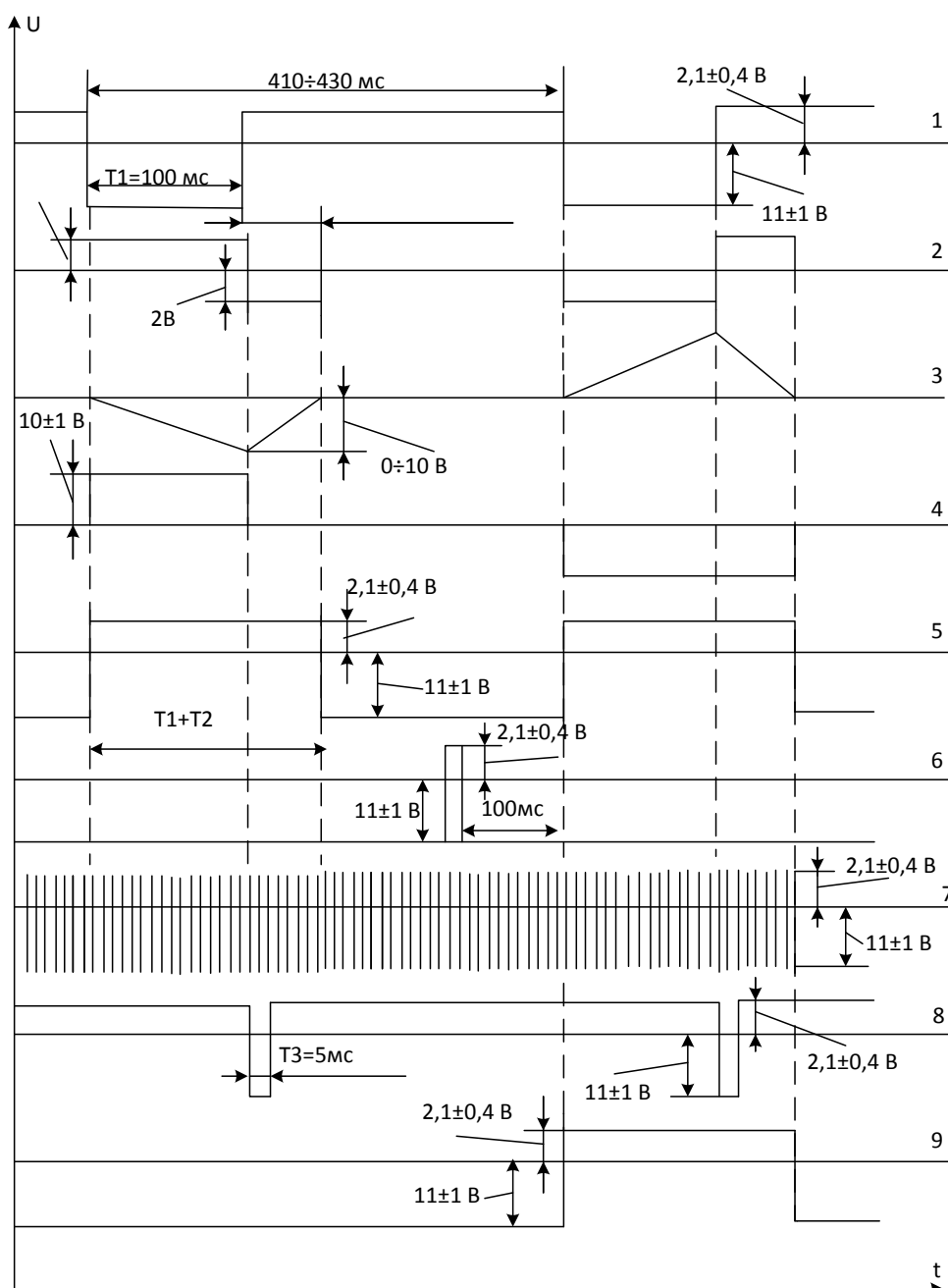


Рисунок 1.10

Установка режима работы реверсного счетчика на сложение или вычитание осуществляется посредством триггера МС2-1,2, который переключается импульсом Т1 (вычитание) и 1800-м импульсом, выделенным с помощью элемента МС13-3 (сложение)

В режиме сложения перенос реверсного счетчика осуществляется 20000-м импульсом, в режиме вычитания – импульсом СБРОСС (Т1+Т2).

При подаче на вход скачка напряжения более 100 В АВП автоматически переводится на предел 20 В сигналом с транзисторов Т45 и Т46, минуя предыдущие пределы.

Коммутация пределов осуществляется посредством изменения масштаба АЦП, входных масштабных делителей, масштаба преобразователя

$U\sim/U$ - и путем переключения токозадающих резисторов в преобразователе R/U -.

При измерении напряжения постоянного тока замкнут ключ А4. Коммутация пределов измерения осуществляется в соответствии с табл. 1.3.

Таблица 1.3

Предел измерения, В	Состояние реверсивного счетчика	Предел АЦП, В	$K_{ус. вх.}$ АЦП МС4	$K_{дел. вх.}$ дел. Э1	Замкнутые ключи пределов
0,2	000	0,2	10	1:1	P1-2, T34, T31
2	100	2	1	1:1	P1-2, T27, A6
20	010	0,2	10	1:100	A1, T34, T31
200	110	2	1	1:100	A1, T27, A6
1000	001	2	1	1:1000	A2, T27, A6

При изменении напряжения переменного тока замкнут ключ Т16, коммутация пределов осуществляется в соответствии с табл. 1.4.

Таблица 1.4

Предел измерения, В	Состояние реверсивного счетчика	Предел АЦП, В	$K_{ус. МС1}$	$K_{дел. вх.}$ дел.	Замкнутые ключи пределов
0,2	000	2	10	1:1	P1, T21, T27, A6
2	100	2	1	1:1	P1, T22, A6, T27
20	010	2	10	1:100	A6, T27, T21, P3-1
200	110	2	1	1:100	P3-1, T22, T27, A6
300	001	2	1	1:1000	T22, T27, A6

При измерении сопротивления замыкается ключ Т3, коммутация пределов измерения осуществляется в соответствии с табл. 1.5.

Таблица 1.5

Предел измерения, кОм	Состояние реверсивного счетчика	Предел АЦП, В	Ток через R_x , мА	Замкнутые ключи пределов
0,2	000	0,2	1	P2-1, T34, T31

2	100	2	1	P2-1, T27, A6
20	010	0,2	0,01	T39, T34, T31
200	110	2	0,01	T39, T27, A6
2000	001	2	0,001	T39, T27, A6
20000	101	2	0,0001	T27, A6

Коммутация пределов измерения силы тока осуществляется вручную посредством внешнего шунта.

1.7. Порядок работы

Виды измерений прибора и диапазон измеряемых величин приведены в табл. 5.1.

Измерение напряжения постоянного тока:

- 1) переключатель рода работ установите в положение U -;
- 2) подключите измеряемое напряжение при помощи соединительных кабелей к входным гнездам, причем при измерении напряжения от заземленного источника рекомендуется общее гнездо прибора соединять с заземленным полюсом источника.

При этом на табло прибора будет индицироваться число, соответствующее входному напряжению с учетом погрешности измерения.

Измерение напряжения переменного тока:

- 1) переключатель рода работ установите в положение $U\sim$;
- 2) подключите измеряемое напряжение при помощи соединительных кабелей к входным гнездам, причем при измерении напряжения от заземленного источника рекомендуется общее гнездо прибора соединять с заземленным полюсом источника.

При этом на табло прибора будет индицироваться число, соответствующее измеряемому напряжению с учетом погрешности измерения.

Измерение сопротивления постоянному току:

- 1) переключатель рода работ установите в положение R ;
- 2) подключите измеряемое сопротивление при помощи соединительных кабелей к входным гнездам, причем, при измерении заземленного сопротивления общее гнездо соединять с заземленным концом этого сопротивления.

При этом на табло прибора будет индицироваться число, соответствующее измеряемому сопротивлению с учетом погрешности измерения.

Измерение силы постоянного тока:

- 1) переключатель рода работ установите в положение U_- ;
- 2) к прибору подключите шунт;
- 3) с помощью соединительных кабелей подключитесь в разрыв исследуемой токовой цепи (выбор нужного предела измерения осуществляется вручную на шунте). Измерения начинать с предела 2000 мА.

При этом на табло прибора будет индцироваться число, соответствующее измеряемой величине тока с учетом погрешности измерения.

Отсчет предела осуществляется на шунте. Необходимо следить, чтобы вольтметр находился на пределе 0,2 В.

Измерение силы переменного тока проводите аналогично измерению силы постоянного тока за исключением того, что переключатель рода работ следует установить и положение U_{\sim} .

В случае выхода за предел в знаковом разряде загорается буква П и на табло означает цифра 20000.

При измерении напряжения и силы тока положительной полярности знак полярности в таковом разряде не светится.

Выполнение пункта 3 разд. 3 "Содержание работы" обеспечивается путем измерения на лабораторном макете напряжения постоянного тока положительной и отрицательной полярности при пяти фиксированных положениях кнопочного переключателя. Погрешность измерения напряжения для каждого значения рассчитывается по формуле $\delta = \pm(0,1 + 0,1 U_x/U_k) \%$.

Результат измерений и вычислений записать в табл.1.6

Таблица 1.6

Величина напряжения U_{\sim} , В	Положительная полярность	Отрицательная полярность
Погрешность измерения δ , %		

Выполнение пункта 4 разд. 3 осуществляется измерением напряжения переменного тока низкой частоты для пяти фиксированных положений кнопочного переключателя «Величина напряжения». Напряжение переменного тока высокой частоты измеряется для двух положений ручки потенциометра «Регулировка частоты». Погрешность измерения рассчитывается по формуле $\delta = \pm(0,5 + 0,2 U_x/U_k) \%$.

Результаты измерений и вычислений записать в табл. 1.7

Таблица 1.7

Величина напряжения переменного тока U_{\sim} , В	Низкая частота	Высокая частота
Погрешность измерения δ , %		

При выполнении пункта 5 разд. 3 с помощью переключателя "Величина сопротивления" устанавливается 5-6 фиксированных значений активного сопротивления. Измерения проводятся в два этапа: вначале величина активного сопротивления R измеряется прибором В7-38, затем величина этого же сопротивления R' измеряется прибором Е7-8. С этой целью прибор Е7-8 своими щупами подключается к гнездам "Сопротивление" вместо вольтметра В7-38.

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ. Прибор Е7-8 включает руководитель занятия.

Проводить какие-либо переключения в приборе Е7-8 запрещается.

По результатам измерений определяется абсолютная $\Delta R = R - R'$ и относительная $\delta = \pm(R - R')/R$ погрешности измерения.

Результаты измерений и вычислений записать в табл. 1.8.

Таблица 1.8

Величина сопротивления, измеренная прибором R , Ом	В7-38	
	Е7-8	
Абсолютная погрешность измерения ΔR , Ом		
Относительная погрешность измерения δ , Ом		

Измерение зависимости исходного сопротивления вольтметра В7-38 от частоты (пункт 6 разд. 1.3) проводится косвенным методом.

1.8. Содержание отчета

1. Структурная схема вольтметра В7-38 с пояснением назначения каждого из функциональных узлов.
2. Основные метрологические характеристики вольтметра В7-38.
3. Структурные схемы измерения величин U , R , $R_{вх}$.
4. График зависимости $R_{вх} = \varphi(f)$.
5. Выводы по работе, в которых дать оценку погрешности измерения величин U , R , $R_{вх}$.

1.9. Контрольные вопросы

1. Какие основные узлы свойственны вольтметрам с цифровым отсчетом различных систем?
2. Назовите аналого-цифровые преобразователи, которые наиболее часто используются в цифровых вольтметрах.
3. Расскажите о принципе работы вольтметра с частотным преобразованием.
4. Расскажите о принципе работы вольтметра с двойным интегрированием.
5. В чем состоит особенность работы вольтметра с поразрядным уравниванием?
6. Чем объясняется изменение величины входного сопротивления вольтметра при измерении напряжений различной частоты?
7. Дайте определение косвенному методу измерений.
8. Что такое систематическая погрешность?
9. Какие погрешности измерения исключает вольтметр с цифровым отсчетом?

Рекомендуемая литература

1. Дмитриенко И.Е., Устинский А.А., Циганков В.И. Измерения в устройствах автоматики, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте. — М.: Транспорт, 1975.
2. Гришанов А.А., Кондюкова Е.И., Редькин Б.Е. Интегрирующие цифровые вольтметры. — М.: Энергоиздат, 1981.
3. Атамалян Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин: Учеб. пособие. - М.: Высш. школа, 1982.

2. ИЗМЕРИТЕЛИ МОДУЛЯЦИИ

2.1 Цель работы

Изучить методы измерения параметров модулированных сигналов и принцип работы измерителей модуляции. Приобрести практические навыки измерения параметров модуляции.

2.2 Приборы и оборудование

Измеритель модуляции СКЗ-46.

Генератор Г4-116.

Осциллограф С1-73.

Генератор ГЗ-111.

2.3 Порядок работы

1. По данным методическим указаниям ознакомиться с основными параметрами, характеризующими модулированные сигналы. Изучить методы измерения параметров амплитудно- (АМ) и частотно- (ЧМ) модулированных сигналов, структурные схемы измерителей модуляций.

2. По техническому описанию изучить устройство, принцип работы и метрологические параметры прибора СКЗ-46.

3. В соответствии с инструкцией отработать порядок подготовки к измерениям модулированных сигналов с помощью прибора СКЗ-46.

4. Используя в качестве источника модулированных колебаний генератор Г4-116, проверить калибровку шкал модуляторов в режиме внутренней модуляции.

5. В режиме внешней модуляции снять и построить модуляционные характеристики амплитудного и частотного модуляторов генератора Г4-116.

6. Оценить погрешность измерений параметров модуляций различными методами.

7. Подготовить отчет о лабораторной работе.

2.4 Краткие теоритические сведения

Амплитудно- модулированный сигнал, модулированный одним синусоидальным током, аналитически можно представить в виде

$$u(t) = U_m(1 - m\sin\Omega t)\sin\omega t, \quad (2.1)$$

где $u(t)$ – мгновенное значение напряжения; U_m – амплитуда модулированного ВЧ колебания; m – коэффициент модуляции; $\omega = 2\pi f$ – угловая частота несущей; $\Omega = 2\pi F$ – угловая частота модулирующего колебания.

Коэффициент модуляции определяется выражением:

$$m = \frac{\Delta U}{U}, \quad (2.2)$$

где U – среднее значение напряжения; ΔU – максимальное отклонение напряжений от среднего значения.

При частотной модуляции одним синусоидальным током аналитическое выражение для частотно-модулированного колебания имеет вид:

$$U(t) = U_m \cos(\omega_0 t + m_f \sin \Omega t), \quad (2.3)$$

где U_m – амплитуда высокочастотного колебания; $\omega_0 = 2\pi f_0$ – круговая частота колебаний до модуляции; $\Omega = 2\pi F$ – круговая частота модулирующего колебания;

$$m_f = \frac{\Delta \omega}{\Omega} = \Delta f / F \text{ – индекс частотной модуляции;} \quad (2.4)$$

Δf – девиация частоты (отклонение высшей частоты при модуляции).

2.4.1 Методы измерения коэффициента амплитудной модуляции

1. Метод квадратичного вольтметра основан на определении действующих значений модулированного (АМ) колебания

$$U = \frac{U_m \sqrt{1 + \mu^2 / 2}}{\sqrt{2}} \quad (2.5)$$

И немодулированного колебания U_m . По результатам измерений квадратичным вольтметром напряжений U_m и U вычисляют коэффициент амплитудной модуляции μ :

$$\mu = \sqrt{2} \cdot \sqrt{(U/U_m)^2 - 1}. \quad (2.6)$$

2. Метод частотной селекции основан на использовании соотношения, связывающего амплитуду несущей частоты с амплитудой каждой из боковых частот:

$$m = 2 \frac{A_{бок}}{A_0}, \quad (2.7)$$

где A_0 – амплитуда несущей частоты; $A_{бок}$ – амплитуда каждой из боковых частот.

После измерения $A_{бок}$ и A_0 селективным вольтметром или анализатором спектра по соотношению (2.7) определяют m .

3. Осциллографический метод реализуется при использовании линейной и синусоидальной развертки.

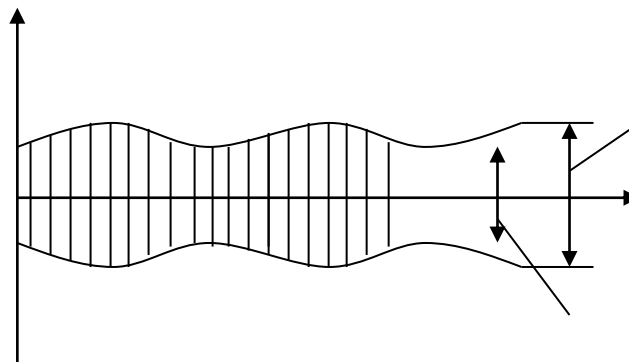


Рисунок 2.1. Осциллограммы АМ колебаний

$$A = 2U_{max}$$

$$B = 2U_{min}$$

При линейной развертке в канал вертикального отклонения подается высокочастотное модулированное колебание, а частота развертки выбирается в -3 раза ниже модулирующей частоты. На экране осциллографа формируется изображение модулированного колебания (рис. 1).

Измерив при помощи масштабной сетки значение А и Б, вычисляют

$$m = (A - B)/(A + B) \quad (2.8)$$

При синусоидальной развертке в канал вертикального отклонения подается модулированное высокочастотное колебание, а в канал горизонтального отклонения – модулирующий сигнал, на экране осциллографа формируется изображение трапеции (рис. 2).

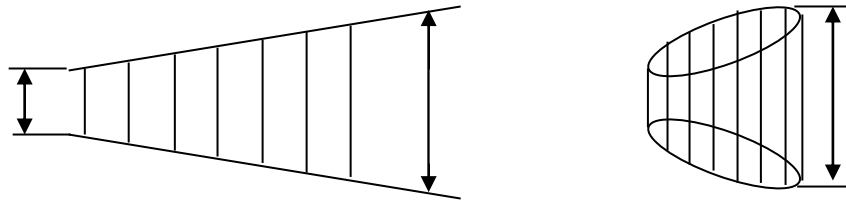


Рисунок 2.2. Осциллограммы модулированных колебаний при синусоидальной развертке

Коэффициент модуляции определяется по соотношению (8).

4. Метод выпрямления (детектирования) позволяет измерять коэффициент амплитудной модуляции в процессе работы передатчика.

АМ колебание $U_1(t)$ подается к линейному детектору VD1 (рис. 2.3), нагруженному на R1C1. При $\tau = R1C1$, выбранной в пределах $T_B < \tau_1 < T_H$, где T_B и T_H – периоды ВЧ и модулирующего сигналов соответственно, напряжение на нагрузке будет изменяться в соответствии с изменением амплитуды ВЧ сигнала. Показания прибора PV1 пропорциональны постоянной составляющей U_1 . Переменная составляющая напряжения, прибора на R1, подается через C2 на VD2, и показания прибора PV2 пропорциональны величине ΔU .

Величина $m = \frac{\Delta U}{U_2} \quad (2.9)$

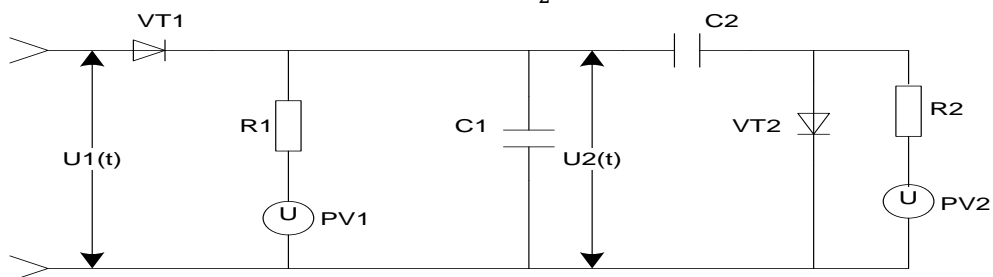


Рисунок 2.3. Схема измерения коэффициента модуляции методом двойного детектирования

2.4.2 Методы измерения параметров сигналов с угловой модуляцией

Использование амплитудного детектора позволяет реализовать простейший способ измерения девиации частоты $\Delta\omega$ (рис. 2.4).

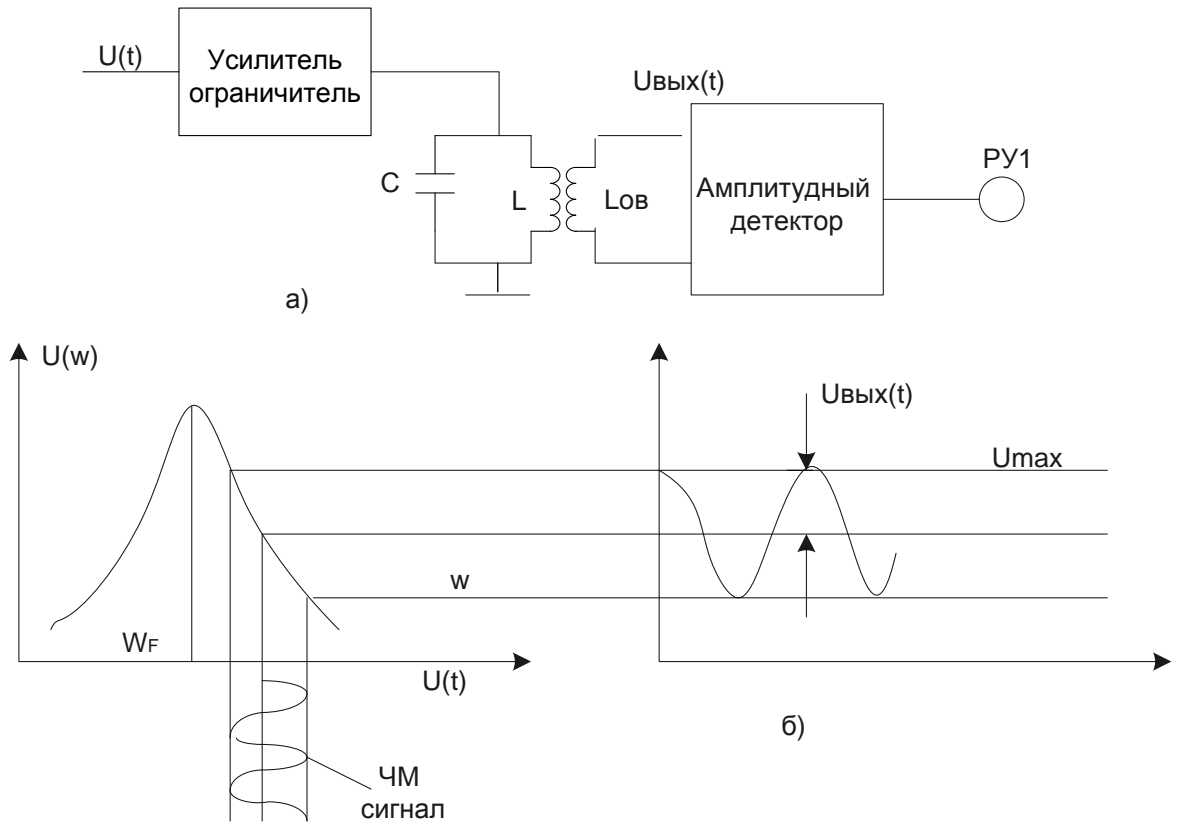


Рисунок 2.4. Схема измерения девиации (а) и диаграммы напряжений (б) при использовании амплитудного детектора

Усилитель-ограничитель устраняет влияния паразитной амплитуды модуляции. ЧМ сигнал со средней угловой частотой ω_0 поступает на контур LC, настроенный на $\omega_{рез}$. Вследствие изменения частоты $U(t)$ амплитуда $U_{вых}(t)$ будет изменяться. Это переменное напряжение подается на амплитудный детектор с закрытым входом. Амплитуда переменной составляющей U_{max} определяет значение девиации $\Delta\omega$ в исследуемом ЧМ сигнале.

Метод частотного детектора (рис. 2.5) состоит в том, что ЧМ сигнал преобразуется в АМ колебания, а затем детектируется амплитудным детектором. В результате получается напряжение, пропорциональное напряжению модулирующей частоты. Так как девиация частоты при ЧМ пропорциональное только амплитуде модулирующего сигнала и не зависит от его частоты, то шкала пикового вольтметра градуируется непосредственно в кГц.



Рисунок 2.5. Структурная схема измерителя девиации методом ЧД
Примечание. Погрешность измерения $\pm (5 \dots 10)\%$

Индекс частотной модуляции можно измерить с помощью исчезающей несущей двумя способами: с постоянной модулирующей частотой и с постоянной амплитудой напряжения модулирующей частоты. Структурные схемы (рис. 2.6) одинаковы для обоих способов.

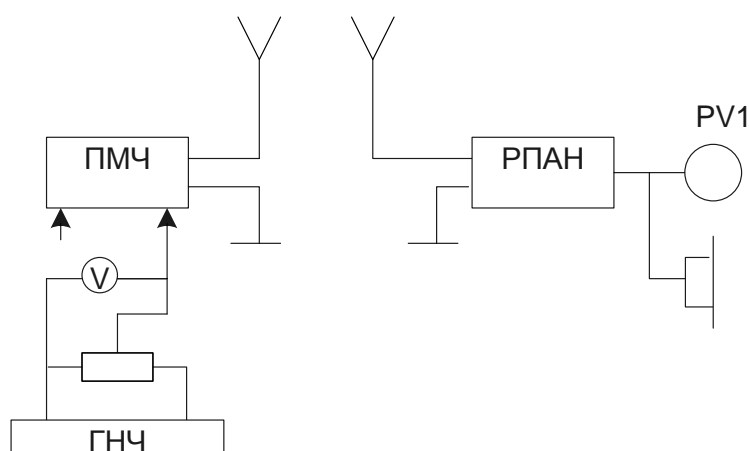


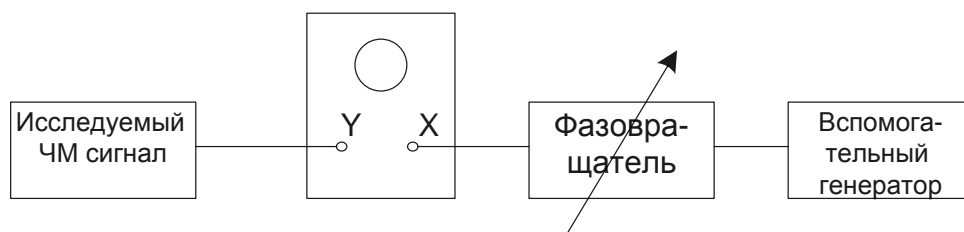
Рисунок 2.6. Схема измерения идекса ЧМ колебаний методом исчезающей несущей

Радиоприемник настраивают на несущую частоту ЧПМ при отсутствии модуляции $PV1$ устанавливают показание, близкое к максимальному. Радиоприемник регулируют на минимальную чувствительность, затем постепенно повышают напряжение U_F на ГНЧ при выбранном значении модулирующей частоты F . Показание индикатора при этом уменьшается и при некотором значении U_{F1} исчезает. Уточненному значению U_{F1} соответствует первый корень Бесселевой функции, равный 2,4, тогда $m_s = \frac{\Delta f}{F} = 2,4$, а $\Delta f = 2,4F$. Продолжая увеличивать напряжение модуляции, находят второй, третий и т.д. корни Бесселевой функции.

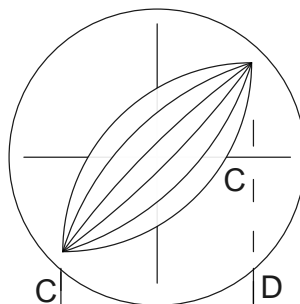
Точность измерений данным методом зависит от погрешности установки частоты ГНЧ, но намного превосходит предыдущие методы.

Осциллографический метод (рис.2.7) основан на исследовании интерференционных фигур, полученных на экране осциллографа.

При отсутствии модуляции на экране появляется интерференционная фигура – эллипс. После включения модуляции на экране получается семейство элементов.



а)



б)

Рисунок 2.7. Схема осциллографического измерения индекса модуляции и девиации

Тогда $m_f = \arcsin(AB/CO)$ и девиация частоты $\Delta\omega = \Omega m f$.

2.5 Измеритель модуляции СКЗ-46

2.5.1 Назначение

Измеритель модуляции СКЗ-46 предназначен для измерения девиации частоты частотно-модулированных сигналов и коэффициента амплитудной модуляции амплитудно-модулированных сигналов.

С помощью прибора может быть также измерен коэффициент амплитудной модуляции, сопутствующей ЧМ сигналу, и девиация частоты, сопутствующая АМ сигналу.

Наличие выхода низкой частоты и малый уровень гармоник, вносимых в измеряемый сигнал, позволяет при помощи прибора СКЗ-46 измерять искажения закона модуляции АМ и ЧМ сигналов.

2.5.2 Технические данные

1. Диапазон частот входного сигнала в режиме измерения девиации частоты:

5-6 МГц;

10-1500 МГц.

Диапазон частот входного сигнала в режиме измерения амплитудной модуляции:

5-6 МГц;

10-500 МГц.

2. Диапазон напряжений входного сигнала:

0,02-1 В (0,008-20 мВт) в диапазоне частот до 400 МГц;

0,04-1 В (0,03-20 мВт) в диапазоне частот до 1000 МГц;

0,07-1 В (0,1-20 мВт) в диапазоне частот до 1500 МГц.

3. Диапазон модулирующих частот прибора от 0,05 до 30 кГц.

4. Пределы измерения девиации частоты от 1 кГц до 300 кГц в полосе НЧ прибора 3,4 кГц и от 5 кГц до 300 кГц в полосе НЧ прибора 30 кГц.

Измерение пикового значения девиации частоты осуществляется «вверх» (+) и «вниз» (-).

5. Основная погрешность измерения девиации частоты в полосе НЧ прибора 30 кГц и диапазоне модулирующих частот прибора 0,4-6 кГц, а также в полосе НЧ прибора 3,4 кГц при модулирующей частоте 1 кГц не превышает величины, определяемой формулой (10):

$$\Delta = \pm(0,02\Delta f + \text{ед. счета} + \Delta f_{\text{ш}}), (10)$$

где Δf – измеряемая величина девиации в кГц; ед. счета – единица счета последнего разряда цифрового индикатора; $\Delta f_{\text{ш}}$ – систематическая составляющая погрешности измерения за счет собственного фона и шума прибора в кГц.

Значение $\Delta f_{\text{ш}}$ в полосе НЧ прибора 30 кГц определяется по формуле (11), а в полосе НЧ прибора 3,4 кГц по формуле (12).

$$\Delta f_{\text{ш}} = 0,1 + 10^{-6} f (11)$$

$$\Delta f_{\text{ш}} = 0,05 + 10^{-7} f (12)$$

где f – частота входного сигнала в кГц.

6. Погрешность измерения девиации частоты в полосе НЧ прибора 30 кГц в диапазоне модулирующих частот 0,05-0,4 кГц и 6-20 кГц не превышает величины, определяемой формулой (13), а в диапазоне модулирующих частот 20-30 кГц формулой (14).

$$\Delta = \pm(0,05\Delta f + \text{ед. счета} + \Delta f_{\text{ш}}), (13)$$

$$\Delta = \pm(0,10\Delta f + \text{ед. счета} + \Delta f_{\text{ш}}), (14)$$

7. Погрешность измерения девиации частоты в интервале рабочих температур не превышает величины $\pm 2\Delta$.

2.5.3 Устройство и работа прибора и его составных частей

Принцип действия измерителя модуляции СКЗ-46 основан на измерении пикового значения амплитуды продетектированного сигнала, пропорционального измеряемому значению девиации частоты или коэффициенту амплитудной модуляции.


Прибор построен по принципу супергетеродинного приемника с однократным преобразованием частоты входного сигнала стробоскопическим преобразователем на промежуточную частоту.

Детектирование ЧМ сигнала основано на преобразовании модулированного по частоте сигнала промежуточной частоты в последовательность импульсов с постоянной амплитудой и длительностью,

временное положение которых соответствует закону модуляции исследуемого ЧМ сигнала. Выделение низкочастотного модулирующего напряжения из спектра сформированной последовательности осуществляется фильтрацией.

Детектирование АМ сигнала производится детектором, охваченным отрицательной обратной связью. При стабилизации среднего уровня напряжения промежуточной частоты схемой автоматической регулировки усиления, выходной продетектированный сигнал пропорционален коэффициенту амплитудной модуляции.

Структурная схема прибора приведена на рис. 8.

Сигнал в рабочем диапазоне частот поступает с соединителя «» на входной аттенюатор, который автоматически включается схемой управления аттенюатором при напряжении входного сигнала 160 мВ и уменьшает при этом сигнал на входе стробоскопического смесителя на 20 дБ

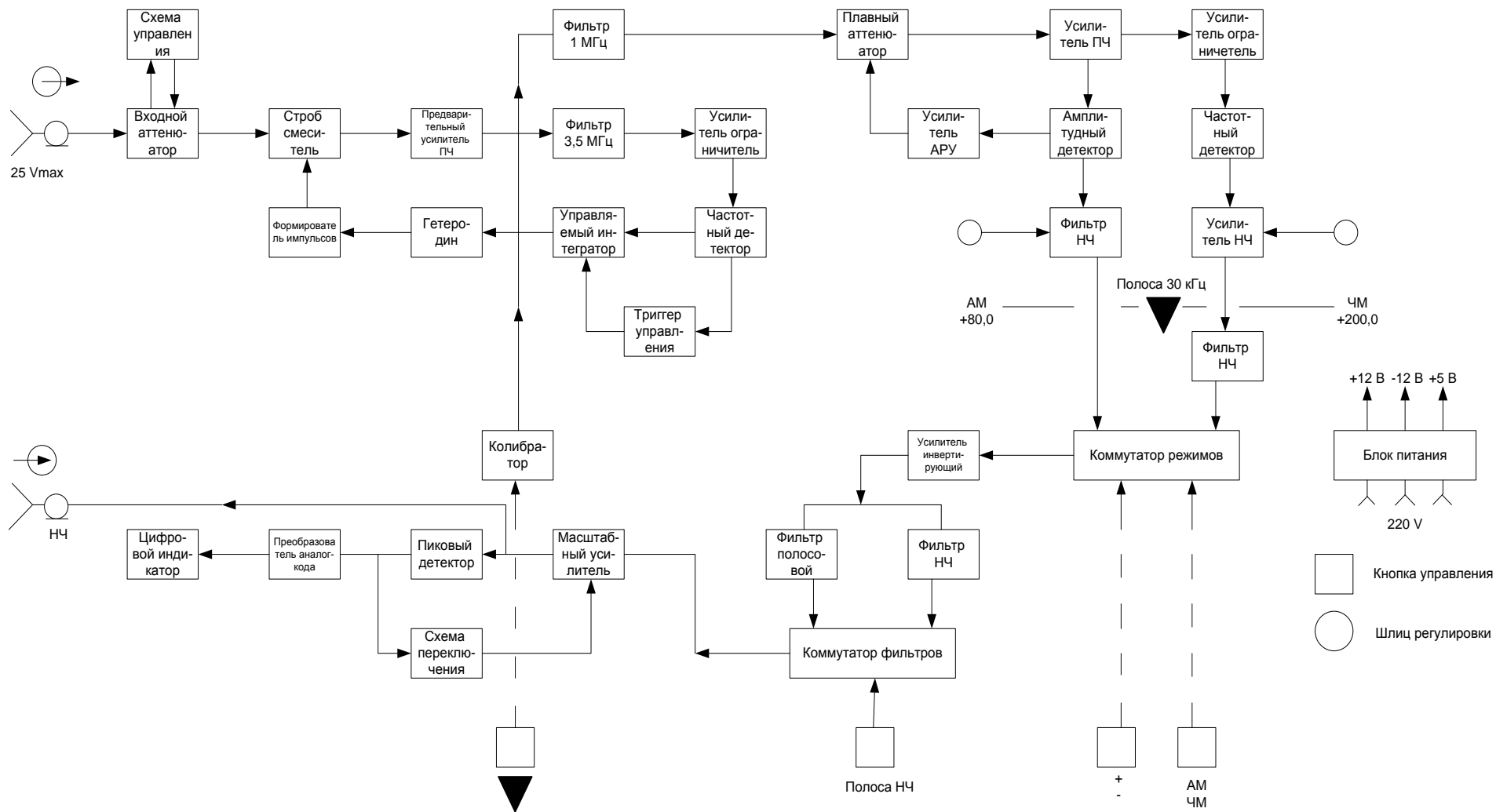


Рисунок 2.8. Структурная схема измерителя модуляции СКЗ-46

На гетеродинный вход смесителя подается периодическая последовательность коротких импульсов, сформированная из гетеродинного напряжения. В частотной области спектр последовательности коротких импульсов представляет спектральные составляющие, отстоящие друг от друга на частотный интервал равный частоте гетеродина. А амплитуда этих составляющих равномерна в широком диапазоне частот.

Преобразованный сигнал на выходе стробоскопического смесителя образуется при взаимодействии входного сигнала с ближайшей спектральной составляющей стробимпульсов.

Сигнал промежуточной частоты подается через фильтры нижних частот 1 МГц и 3.5 МГц в тракт детектирования и тракт автонастройки.

Частота среза фильтра 3,5 МГц связана с частотой гетеродина с отношением, определяемым формулой (2.15)

$$F_S = 0,5f_{r \text{ макс}}, \quad (2.15)$$

где F_S – частота среза фильтра, а $f_{r \text{ макс}}$ – максимальная частота гетеродина.

При выполнении соотношения (2.15) в тракте автонастройки всегда, при подаче входного сигнала в рабочем диапазоне частот, имеется преобразованный сигнал, что обеспечивает беспереходный режим работы систем настройки.

Сигнал промежуточной частоты усиливается и ограничивается усилителем-ограничителем и подается на частотный детектор. Постоянное напряжение, пропорциональное промежуточной частоте, с выхода частотного детектора подается на управляемый интегратор и триггер управления. Управляемый интегратор работает на двух режимах – автоколебательного генератора пилообразного напряжения и интегрирующего усилителя.

Переключение режимов работы осуществляется триггером управления в зависимости от промежуточной частоты. При большой разности частоты преобразованного сигнала и номинальной промежуточной частоты 560 кГц происходит быстрая перестройка частота гетеродина выходным напряжением управляемого интегратора. Когда частота преобразованного сигнала уменьшается до 200 кГц, происходит переключение на режим плавной подстройки частоты гетеродина.

В тракте детектирования сигнал подается через плавный аттенуатор на вход усилителя промежуточной частоты. Усилитель промежуточной частоты усиливает преобразованный и отфильтрованный сигнал до напряжения, обеспечивающего линейное детектирование амплитудным детектором. После амплитудного детектора происходит выделение НЧ составляющей фильтром НЧ и постоянной составляющей усилителем АРУ. Постоянная составляющая, пропорциональная среднему уровню сигнала ПЧ, используется для стабилизации выходного уровня сигнала ПЧ замкнутой системой автоматической регулировки усиления.

Сигнал промежуточной частоты поступает также с выхода усилителя ПЧ в тракт детектирования ЧМ сигнала.

Детектирование ЧМ сигнала обеспечивается частотным детектором импульсного типа, удовлетворяющим высоким требованиям по коэффициенту нелинейных искажений.

Для эффективного снижения влияния амплитудной модуляции сигнал на частотный детектор подается с усилителя - ограничителя. Сигнал низкой частоты предварительно усиливается и фильтруется усилителем НЧ и фильтром НЧ.

Далее сигнал поступает через коммутатор режимов в общий НЧ тракт, где происходит дополнительное усиление, фильтрация фильтрами с полосой 0,3-3,4 кГц и 0,05-30кГц.

Инвертирующий усилитель позволяет изменять фазу низкочастотного сигнала при изменении пикового значения модуляции «вверх» и «вниз»

Пиковый детектор преобразует низкочастотный сигнал в постоянное напряжение, уровень которого соответствует пиковому значению сигнала.

Постоянное напряжение с выхода пикового детектора подается на аналого-цифровой преобразователь, а также используется для изменения коэффициента передачи масштабного усилителя через схему переключения, что обеспечивает работу пикового детектора и аналого-цифрового преобразователя в динамическом диапазоне напряжений 25 дБ при динамическом диапазоне НЧ сигнала 50 дБ.

Постоянное напряжение преобразуется в аналого-цифровом преобразователе в цифровой код, который отображается цифровым индикатором.

Калибратор позволяет производить калибровку прибора и оперативную самопроверку путем подачи в измерительный тракт эталонного сигнала с коэффициентом амплитудной модуляции 80% и девиацией частоты 200 кГц.

С помощью коммутатора режимов и коммутатора фильтров осуществляется переключение коммутационных элементов прибора и индикация включенного режима при воздействии на кнопки правления.

2.5.4 Порядок работы

2.5.3.1 Подготовка к проведению измерений


1. Подключите прибор к питающей сети с помощью кабеля питания. При этом должны загореться индикаторные светодиоды режима измерения «+ + –»; «% + кГц»; «3,4 кГц + 30 кГц» и средние сегменты цифровых индикаторов.

2. После 15-минутного самопрогрева произвести калибровку, для чего:

– Кнопками РЕЖИМ установите по индикаторам режим работы прибора «+»; «30 кГц»;

– нажмите кнопку калибровки «▼» и, удерживая ее, вращением оси боковой стенке прибора, установить показания цифрового индикатора равным $(80,0 \pm 0,2)\%$ в режиме измерения коэффициента амплитудной модуляции и $(200,0 \pm 0,2)$ кГц в режиме измерения девиации частоты.

2.5.3.2 Проведение измерений

1. Подайте исследуемый сигнал на входной соединитель «  » при помощи кабеля из комплекта прибора.

Кнопками управления включить необходимый режим работы прибора.



По индикатору прибора произвести отсчет измеряемой величины девиации частоты или коэффициента амплитудной модуляции.

Если частота входного сигнала не соответствует диапазону рабочих частот прибора или уровень входного сигнала меньше значения чувствительности прибора, то на всех разрядных цифровых индикаторов высвечиваются средние сегменты.

При уровне входного сигнала, превышающем максимальное значение входного сигнала, происходит периодическое гашение цифровых индикаторов (мигания) с частотой 2 Гц, что указывает на перегрузку.

Индикация перегрузки происходит также при подаче сигнала с девиацией частоты более 300 кГц.

Примечание. Уровень входного сигнала не должен превышать 2,5 В.

2. Для измерения нелинейных искажений огибающей ЧМ и АМ сигналов необходимо подключить анализатор спектра или измеритель нелинейных искажений к выходному соединителю «  » прибор .

Определение нелинейных искажений при использовании измерителя нелинейных искажений осуществляется непосредственно по показателям прибора, а при использовании анализатора спектра производится измерение гармонических составляющих с последующим подсчетом коэффициента гармоник по формуле (16):

$$K_{\Gamma} = \frac{1}{U_1} \sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2} \cdot 100\%, \quad (2.16)$$

где U_1 – уровень первой гармоники частоты модуляции; $U_2, U_3 \dots U_n$ – уровень второй, третьей, n -ной гармоники частоты модуляции.

3. При проведении измерений необходимо учитывать влияние спектральных составляющих сигнала на результат измерения. Нормируемая погрешность измерения обеспечивается для сигналов, имеющих побочные спектральные составляющие с уровнем, не более:

- минус 20 дБл для низших гармоник сигнала ($n \leq 5$);
- минус 50 дБл для высших гармоник сигнала ($n > 5$);
- минус 50 дБл для негармонических составляющих.

2.6 Методические указания к проведению измерений

1. Проверить калибровку шкал модуляторов генератора Г4-116 в режиме АМ и ЧМ генерации с внутренней модуляцией.

2. Собрать схему измерений.

3. Установить на генераторе Г4-116 режим внутренней модуляции и частотный диапазон 4-8 кГц, максимальную амплитуду выходного сигнала. Используя осциллографический метод, измерить коэффициенты АМ колебаний в дискретных точках регулятора М% генератора Г4-116.

4. Калибровать СКЗ-46 и измерить значение коэффициентов АМ и ЧМ колебаний в дискретных точках регуляторов $M\%$ и Δf кГц генератора.

5. Результаты измерений занести в табл. 2.1.

Таблица 2.1

№ п/п	Коэффициент модуляции				
	АМ%			ЧМ Δf , кГц	
	Установленное значение	Осциллографический метод	СКЗ-46	Установленное значение	СКЗ-46
1					
2					
·					
·					
10					

6. На генераторе Г4-116 установить режим внешней модуляции АМ. На генераторе Г3-111 установить частоту колебаний 1 кГц и максимальную амплитуду.

7. Прибором СКЗ-46 измерить коэффициент АМ в дискретных точках регулятора $M\%$ генератора Г4-116.

8. Установить на Г4-116 регулятор $M\%$ в положение 50% и снять зависимость $M\% = f(U)$ путем изменения напряжения на входе Г3-111.

9. Произвести аналогичные измерения напряжения на выходе Г3-111.

10. Результаты измерений занести в табл. 2.2.

Таблица 2.2

№ п/п	Коэффициент модуляции							
	Установ- ленное значение	СКЗ-46	$M\% = f(U)$		Установ- ленное значение	СКЗ- 46	$\Delta f = f(U)$	
			М	U			Δf	U
1								
2								
·								
·								
10								

11. Построить модуляционные характеристики для АМ и ЧМ генераторов.

12. Оценить погрешность измерений коэффициентов модуляции.

2.7 Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Оборудование рабочего места.
3. Основные характеристики используемых приборов.
4. Структурная схема СКЗ-46.

5. Таблицы и графики результатов измерений.
6. Заключение и выводы.

2.8 Контрольные вопросы

1. Аналитическая форма и параметры АМ и ЧМ сигналов.
2. Методы измерений ЧМ колебаний.
3. Методы измерения коэффициента АМ колебаний.
4. Какие методы измерений используются в приборе СКЗ-46?
5. Чем обеспечиваются метрологические характеристики СКЗ-46?

Рекомендуемая литература

1. Измерение в технике связи/ Ф.Е. Кушнир и др. М. : Связь, 1976.
2. Хромой Б.П., Моисеева Ю.Т. Электрорадиоизмерения. М. : Радио и связь, 1985.

3. ИЗМЕРЕНИЕ АЧХ ХАРАКТЕРИОГРАФОМ Х1-50

3.1 Цель работы

Изучить устройство, технические характеристики прибора для исследования амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) Х1-50. Приобрести практические навыки проведения измерений с помощью изученного прибора.

3.2 Содержание работы

3.2.1. Изучить структурную схему и принцип работы измерителя АЧХ.

3.2.2. Ознакомиться с основными техническими характеристиками прибора Х1-50.

3.2.3. Изучить подготовку Х1-50 работе и методы измерения АЧХ.

3.2.4. Измерить АЧХ лабораторного макета.

3.3 Сведения из теории

Измерение АЧХ четырехполюсника может быть выполнено по точкам вручную или с помощью автоматического измерителя.

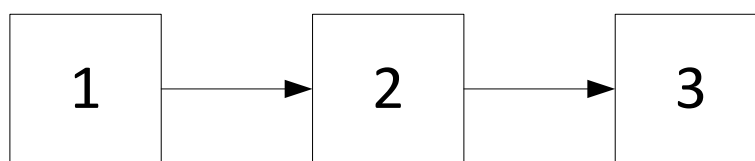


Рис. 3.1 – Метод измерения АЧХ четырехполюсника (2) с помощью генератора (1) и вольтметра (3)

В первом случае применяется метод, при котором используются два измерительных прибора генератор и вольтметр (рис. 3.1).

Выходное напряжение генератора (1) в процессе измерения не меняется. Так как это напряжение поступает на вход лабораторного макета (2), запишем $U_{\text{вх}} = \text{Const}$. Выходное напряжение макета (2) измеряется вольтметром (3). Изменяя по точкам частоту генератора, изменяют $U_{\text{вых}}(f)$. Данное измерение представляет собою АЧХ лабораторного макета, однако общепринято, что АЧХ – это зависимость коэффициента передачи четырехполюсника от частоты $K(f)$. Зная $U_{\text{вых}}(f)$, нетрудно построить $K(f)$, поскольку $K = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$.

Принцип действия автоматического измерителя АЧХ (характериографа) также основан на измерении выходного напряжения при изменении частоты входного сигнала (рис. 3.2).

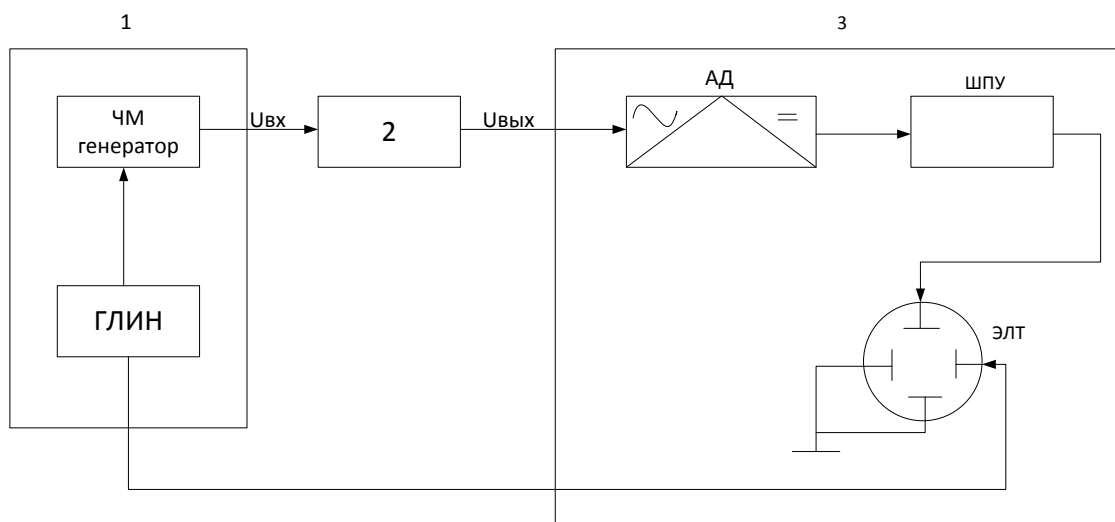


Рис. 3.2 – Структурная схема автоматического измерителя АЧХ:
 1 – генератор качающейся частоты (ГКЧ); 2 – исследуемый
 четырехполюсник; 3 – осциллографический индикатор

От генератора качающейся частоты напряжение, неизменное по амплитуде, но с плавно изменяющейся частотой, поступает на вход исследуемого четырехполюсника. На входе четырехполюсника частота изменяется линейно во времени от f_1 до f_2 . Это обеспечивает ЧМ-генератор, модулируемый по частоте пилообразным напряжением, поступающим от генератора линейно-изменяющегося напряжения (ГЛИН). Одновременно пилообразное напряжение от ГЛИН поступает в блок индикатора (3) на горизонтальные пластины электронно-лучевой трубки (ЭЛТ), что обеспечивает линейную развертку по горизонтали.

Выходное напряжение с исследуемого четырехполюсника детектируется амплитудным детектором (АД), усиливается широкополосным усилителем (ШПУ) и поступает на вертикальные отклоняющие пластины ЭЛТ.

В начальный момент времени t_1 на вход четырёхполюсника поступает частота f_1 . С выхода четырехполюсника снимается напряжение $U_{\text{вых}1}$, пропорционально которому луч отклонится по вертикали. В момент времени t_i поступит частота f_i и на выходе будет $U_{\text{вых}i}$. В конечный момент времени развертки t_2 на вход четырехполюсника поступит частота f_2 и на его выходе будет напряжение $U_{\text{вых}2}$.

Выходное напряжение $U_{\text{вых}}(f)$ представляет собою АЧХ, поэтому на экране ЭЛТ высвечивается АЧХ четырехполюсника.

Прибор Х1-50 имеет в своем составе также генератор калибрационных меток и генератор яркостной метки с частотомером. Это позволяет определить частоту в любой точке поддиапазона $f_1 \dots f_2$. Аттенюатор, установленный на выходе ГКЧ, позволяет методом сравнения измерить усиление (или затухание) четырехполюсника.

3.4. Технические характеристики прибора Х1-50

3.4.1. Рабочий диапазон частот 0,4-1000 МГц подразделяется на три поддиапазона:

- I – от 0,4 до 435 МГц;
- II – от 435 до 635 МГц;
- III – от 635 по 1000 МГц.

3.4.2. Полоса качания частоты регулируется плавно от минимальной 0,5 МГц до максимальной 20 МГц в узкополосном режиме качания и от 0,01 f_{max} до полного поддиапазона в широкополосном режиме качания, где f_{max} – максимальная частота поддиапазона, Гц.

3.4.3. В приборе предусмотрены собственные частотные метки через 1 и 10 МГц и возможность получения частотной метки от внешнего генератора. Размах частотных меток по вертикали на экране прибора не менее 5 мм.

Внешняя метка формируется от напряжения ВЧ, не превышающего 0,5 В.

Примечание. Во всем рабочем диапазоне частот на экране прибора допускается, наличие уровня шумов и паразитных меток, размах которых не превышает 0,5 размаха соседних основных меток.

3.4.4. Погрешность измерения частоты в точках, отмечаемых собственными частотными метками через 1 и 10 МГц, не превышает

$$\pm(3 * 10^{-4} f + 0,05\Delta f + 0,05 * 10^6 \text{ Гц}),$$

а в точках, отмечаемых внешними метками, не превышает

$$\pm(\Delta_r + 0,02\Delta f + 0,01 * 10^6 \text{ Гц}).$$

где f – частота в измеряемой точке, Гц;

Δf – установленная полоса качания, Гц;

Δ_r – абсолютная погрешность частоты внешнего генератора, Гц.

3.4.5. Погрешность измерения частоты на экране прибора с помощью собственных частотных меток не превышает

$$\pm(3 * 10^{-4} f_r + 0,1\Delta f).$$

3.4.6. Отклонение частотного масштаба на экране прибора от линейного закона при максимальной узкой полосе качания не превышает $\pm 10\%$, а при максимальной полосе качания $\pm 20\%$.

3.4.7. Погрешность цифрового отсчета центральной частоты отмечается светящейся точкой на экране прибора и не превышает ± 2 МГц.

3.4.8. Кратковременная нестабильность частоты за 5 минут на экране прибора не превышает $1 \cdot 10^{-3} f_{max}$.

3.4.9. Ширина спектра вблизи несущей на уровне минус 10 дБ не превышает $0,2\Delta f_{min}$, где Δf_{min} – минимальная полоса качания, Гц.

3.4.10. Выходное напряжение генератора качающейся частоты (ГКЧ) на согласованной нагрузке 75 Ом не менее 100 мВ.

3.4.11. Неравномерность собственной АЧХ при работе с согласованной детекторной головкой не превышает:

- с максимальной нагрузкой в полосе качания $\pm 0,5$ дБ;
- в каждом поддиапазоне 1,5 дБ.

3.4.12. Пределы плавной регулировки выходного напряжения ГКЧ – от 0 до -50 дБ. Погрешность ослабления выходного напряжения не выше ± 5 дБ.

3.4.13. Уровень гармоник и паразитных колебаний выходного напряжения ГКЧ не менее -20 дБ от уровня первой гармоники выходного сигнала.

3.4.14. Степень запираия ГКЧ во время обратного хода не менее 40 дБ.

3.4.15. Выходное сопротивление ГКЧ для частот до 30 МГц равно (75 ± 20) Ом. КСВН – коэффициент стоячей волны по напряжению выхода ГКЧ для частот выше 30 МГц не превышает 1,8 во всех поддиапазонах.

3.4.16. Период качения частоты при работе в режиме ГКЧ равен (20 ± 6) мс.

Период развертки при работе в осциллографическом режиме плавно регулируется в пределах от $50 \cdot 10^{-3}$ до 100 мс и перекрывается тремя поддиапазонами:

I – от 50 до 500 мкс;

II – от 0,4 до 7 мс;

III – от 6 до 100 мс.

4.17 Чувствительность по каналу вертикального отклонения (КВО) прибора без детектора не менее 10 мм/мВ. Напряжение внутреннего калибратора равно $(10 \pm 1,5)$ мВ, частота – $(50 \pm 0,5)$ Гц.

Величина фона и уровень шумов на рабочей части экрана прибора при максимальной чувствительности КВО не превышает 3 мм.

3.4.18. Чувствительность КВО прибора по входу согласованной детекторной головки не менее 1 мм/мВ (эффективное значение).

3.4.19. Чувствительность по КВО регулируется в пределах от 0 до -80 дБ.

Погрешность ослабления входного ступенчатого делителя через 20 превышает ± 1 дБ.

Пределы регулировки плавного делителя не менее 20 дБ.

3.4.20. Отклонение от линейного закона амплитудой харамеристики КВО прибора без детектора не превышает $\pm 15\%$.

3.4.21. Полоса пропускания КВО при работе прибора в осциллографическом режиме на уровне минус 3 дБ; нижняя частота не более 0,7 Гц, верхняя частота не менее 400 кГц.

3.4.22. Входное сопротивление КВО прибора без детекторной головки не ниже 100 кОм и входная емкость не выше 150 пФ.

3.4.23. Входное сопротивление КВО прибора с высокоомной детекторной головной не менее 10 кОм и входная емкость не более 3 пФ.

3.4.24. Синхронизация развертки осциллографическом режиме при максимальной чувствительности КВО обеспечивается напряжением 5 мВ и выше.

Синхронизация обеспечивается при изменении частот на $\pm 3\%$.

3.4.25 При работе прибора в осциллографическом режиме имеется гашение луча обратного хода.

3.4.26. В приборе предусмотрен формирователь телевизионного сигнала для создания на экране телевизора на черном фоне 12 белых вертикальных и 12 горизонтальных линий.

Параметры телевизионного сигнала соответствуют следующим данным:

– кадровые импульсы:

период – (20 ± 2) мс;

амплитуда $(0,6 \pm 0,2)$ В;

– строчные импульсы:

период – (64 ± 5) мкс:

амплитуда – $(0,5 \pm 0,2)$ В;

– импульсы горизонтальных линий:

период – $(1,7 \pm 0,3)$ мс;

амплитуда – $(2 \pm 0,5)$ В;

– импульсы вертикальных линий:

период – $(4 \pm 0,5)$ мкс;

амплитуда – $(1,8 \pm 0,5)$ В.

Между двумя кадровыми импульсами имеется 12 импульсов горизонтальных линий.

Между двумя строчными импульсами имеется 14 импульсов вертикальных линий.

3.4.27. В приборе предусмотрен выход по напряжению постоянного тока. Напряжение регулируется от 0 до минус $(12 \pm 0,2)$ В, на нагрузке не менее 10 кОм.

3.4.28. Размеры рабочей части экрана прибора, мм:

ширина 50 ± 1 ;

высота 40 ± 1 .

3.4.29. Толщина сфокусированной линии развертки электронного луча на экране прибора не превышает 1 мм

3.4.30. Электрическая изоляция цепи сетевого питания относительно корпуса выдерживает без пробоя переменное испытательное напряжение 1500 В в нормальных условиях.

Сопротивление изоляции указанной цепи прибора относительно корпуса не менее 20 МОм.

3.4.31. Прибор обеспечивает свои технические характеристики в пределах норм после времени самопрогрева, равного 15 мин.

3.4.32. Прибор сохраняет свои технические характеристики в пределах норм питания его от сети переменного тока напряжением (220 ± 22) В, частотой $(50 \pm 0,5)$ Гц.

3.4.33. Мощность, потребляемая прибором от сети при номинальном напряжении, не превышает 70 В·А.

3.4.34. Прибор допускает непрерывную работу в рабочих условиях в течение 16 ч при сохранении своих технических характеристик в пределах норм.

При этом обеспечиваются нормальные режимы электровакуумных и полупроводниковых приборов, деталей и элементов в пределах установленных норм.

3.4.35. Прибор сохраняет свои технические характеристики в пределах норм после замены в нем ЭЛТ 8Л07И.

3.4.36. Напряжение промышленных радиопомех не превышает 74 дБ в диапазоне частот от 0,5 до 2,5 МГц и 66 дБ – в диапазоне частот от 2,5 до 30 МГц.

Напряженность поля промышленных радиопомех в диапазоне частот от 30 до 300 МГц не превышает 46 дБ.

3.4.37. Нормальные условия эксплуатации прибора:

- температура окружающей среды $(293 \pm 5) \text{ К}$ [$(20 \pm 5)^\circ\text{C}$];
- относительная влажность воздуха $(65 \pm 15) \%$;
- атмосферное давление $(100 \pm 4) \text{ кПа}$ или $[(750 \pm 30) \text{ мм.рт.ст.}]$;
- напряжение сети $(220 \pm 4,4) \text{ В}$, 50 Гц.

3.4.38 Нарботка на отказ не менее 5000 ч.

3.4.39. Габаритные размеры, не более:

- прибора 335 x 343 x 133 мм;
- комплекта комбинированного 4.068.311 227 x 147 x 110 мм;
- прибора в транспортной таре 744 x 550 x 354 мм.

3.4.40. Масса, не более:

- прибора 8,5 кг;
- комплекта комбинированного 2 кг;
- прибора в транспортной таре 44 кг.

3.4.41. Допускается хранение прибора в отапливаемом помещении в течение 6 месяцев.

3.5. Подготовка к работе и калибровка X1-50

3.5.1. Возле рабочего места не должно быть сильных источников магнитных и электрических полей.

3.5.2. Установите органы управления прибора X1-50 в следующие положения:

- нажмите кнопки F1, "1:10". ВНУТР-ВНЕШ, ГКЧ-ОСЦИЛ, остальные кнопки должны быть отпущены;
- ручки «↓», «↔», «▷ X», ПЕРИОД « mS » СИНХР, МЕТКИ MHz, « \curvearrowright У», «F \blacksquare , \blacksquare » и ось под шлиц « \odot » – в среднее положение;
- ось под шлиц « \odot », ручку ПОЛОСА – в крайнее правое положение;
- ручки « \curvearrowright У», «dB» – в крайнее левое положение.

3.5.3. Порядок включения прибора:

- соедините клемму «⊕», расположенную на задней панели прибора, с заземлением на рабочем месте;
- включите вилку сетевого шнура прибора в сеть переменного тока напряжением 220 В, 50 Гц;
- включите прибор сеть нажатием кнопки СЕТЬ.

3.5.4. Порядок калибровки прибора:

- установите ручками «↑», «↔» линию горизонтальной развертки в центр экрана прибора, а осями под шлиц «☼» и «☉» установите необходимые яркость и фокусировку луча;
- установите ручками «▷ X» и «↔» длину линии развертки на экране прибора в пределах рабочей шины экрана;
- подключите к выходу «⊕ -dB» прибора детекторную головку 2.245.207, низкочастотный выход которой кабелем ВЧ 4.851.081-9 Сп соедините с гнездом «⊖ У» Ручкой «↷ У» на экране ЭЛТ установите вертикальный размер АЧХ около 30 мм и дайте прибору прогреться в течении 15 минут.

3.6 Порядок проведения экспериментальных исследований

В данной лабораторной работе экспериментально измеряется АЧХ лабораторного макета. В качестве объекта исследования взят усилитель промежуточной частоты (УПЧ) канала изображения телевизионного приёмника. Принципиальная схема УПЧ приведена на макете.

3.6.1. Собрать согласно рис. 3.3 схему лабораторной установки.

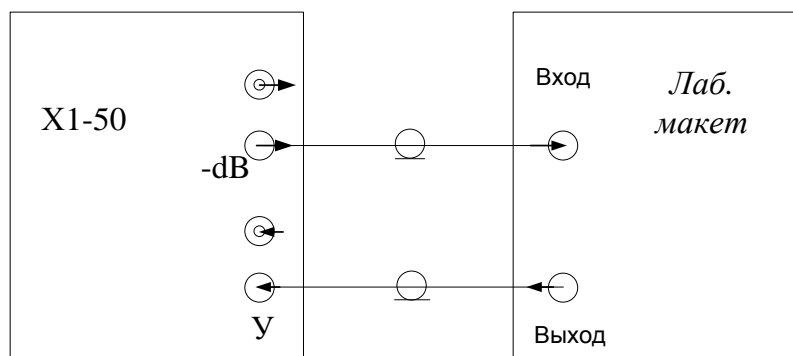


Рис. 3.3 – Структурная схема лабораторной установки

3.6.2. Установить органы управления X1-50 в следующие положения:

- кнопка «ГКЧ-осцил» нажата;
- кнопка «1...0,05 мS» нажата;
- кнопка «счет» нажата;
- кнопка «шир-узк» нажата;
- кнопка «внутр-внеш» нажата.

Входной делитель установить в положение 1:100, регулятор ПОЛОСА установить в положение, соответствующее масштабу 1 МГц – 1 клетка на

экране. Регулятор затухания выхода ГКЧ – в положении «0», регулятор метки МНz – в среднем положении.

3.6.3. Изменяя положение ручек настройки центральной частоты и F \square , \square , получить изображение АЧХ в центре экрана. Измеритель X1-50 дает два симметричных относительно нулевой частоты изображения АЧХ. Действительным будет изображение, находящиеся справа от нулевой частоты. Это изображение и следует переместить к центру экрана.

6.4. Зарисовать АЧХ и определить и определить ее основные параметры: коэффициент передачи, частоты максимумов и минимума, полосу пропускания.

3.7. Содержание отчета

Название и цель лабораторной работы.

Структурная схема автоматического измерителя АЧХ (рис.2).

Основные технические характеристики X1-50.

Структурная схема лабораторной установки (рис.3).

Словесное описание хода работы и выполненный в масштабе график АЧХ.

Расчет полосы пропускания, результат определения коэффициента передачи в дБ.

Выводы по работе.

3.8. Контрольные вопросы

Какие методы измерения АЧХ вы знаете?

Как измерить АЧХ методом генератор-вольтметр?

Как работает автоматический измеритель АЧХ?

Как с помощью X1-50 определить частоту в требуемой точке АЧХ?

Как калибруется X1-50?

Рекомендуемая литература

1. **Хромой, Б.П.** Электрорадиоизмерения: учебник для техникумов / Б.П. Хромой, Ю.Г. Моисеев. – М.: Радио и связь, 1985.

2. Прибор для исследования АЧХ X1-50. Технические описания и инструкция по эксплуатации.

4. ИМПУЛЬСНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

4.1 Цель работы

Экспериментально изучить импульсный метод измерения неоднородностей линий связи на примере работы с прибором Р5-10. Ознакомиться с принципом действия прибора. Приобрести практические навыки измерений в линиях связи.

4.2 Содержание работы

4.2.1. Уяснить суть метода импульсных измерений неоднородностей в линиях связи.

4.2.2. Изучить функциональную схему измерителя неоднородностей линий Р5-10.

4.2.3. Ознакомиться с возможностями и основными техническими характеристиками прибора.

4.2.4. Изучить порядок работы с прибором и расположением органов управления, используя настоящие методические указания и инструкции по эксплуатации прибора.

4.2.5. Произвести следующие измерения:

- определить расстояние до места повреждения линии и его характер;
- измерить коэффициент укорочения волны в кабеле;
- измерить временную задержку кабеля.

Подробные указания по проведению измерений даются в разделе 6.

4.3 Метод импульсных измерений

Суть метода состоит в следующем. В линию подаются зондирующие импульсы напряжения, которые частично отражаются от места, где имеются неоднородности волнового сопротивления. Время t_x , между посылкой зондирующего импульса и приемом отраженного оказывается пропорциональным расстоянию l_x до места повреждения:

$$t_x = \frac{2 \cdot l_x}{V}, \quad (4.1)$$

где V – скорость распространения импульса в данном типе кабеля. Это позволяет определять на практике величину l_x .

Скорость V определяется сечением токоведущих частей линии, материалом проводов, свойствами диэлектрика и рядом других параметров. Принято оперировать не с самой величиной V , а с относительной характеристикой, показывающей, во сколько раз V отличается от скорости света C . Эта характеристика называется коэффициентом укорочения электромагнитной волны:

$$\gamma = \frac{C}{V}. \quad (4.2)$$

Поскольку метод основан на частичном отражении посылаемого импульса от места локализации неоднородности, важно количественно

оценить этот процесс. Такая оценка может быть сделана при помощи коэффициента отражения K_0 :

$$K_0 = \frac{U_{от}}{U_{зи}} = \frac{z - \rho}{z + \rho}, \quad (4.3)$$

где $U_{от}$ – напряжение отраженного импульса;

$U_{зи}$ – напряжение зондирующего импульса;

ρ – номинальное волновое сопротивление линии;

z – сопротивление в месте повреждения.

Отсюда легко определить величину $U_{от}$:

$$U_{от} = U_{зи} \cdot \frac{z - \rho}{z + \rho}. \quad (4.4)$$

Анализ этой формулы позволяет прогнозировать вид отраженного импульса при известном характере повреждения. Так, при обрыве провода $z > \rho$. Следовательно, $U_{от}$ имеет положительный знак. Очевидно, что на экране электронно-лучевой трубки измерителя с временной разверткой луча будет наблюдаться отраженный импульс, совпадающий по полярности с зондирующим и имеющий из-за потерь энергии несколько меньшую амплитуду (рис.1).

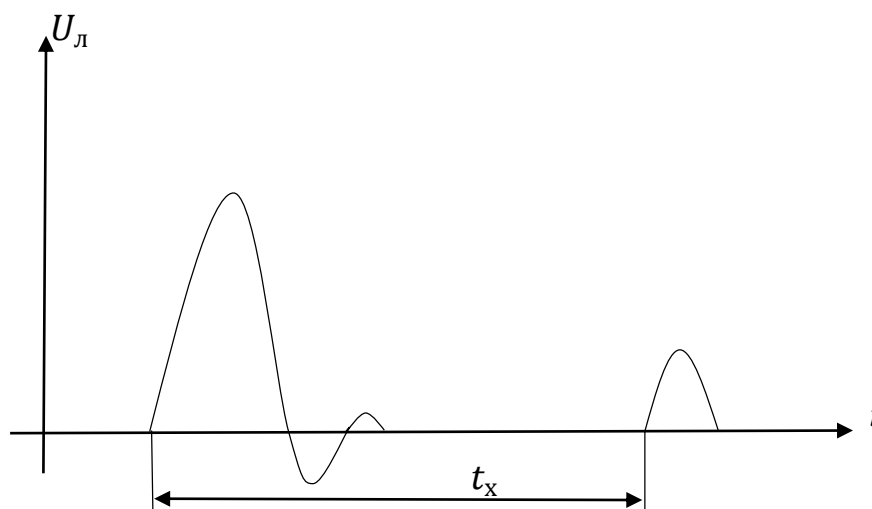


Рисунок 4.1 – Осциллограмма сигнала в линии при наличии обрыва:

$U_{л}$ – напряжение на линии в точке измерения

При коротком замыкании $z < \rho$. Следовательно, величина $U_{от}$ будет отрицательной. Аналогичная картина соответствует и случаю уменьшения сопротивления линии, например, в результате ухудшения качества изоляции кабеля (рис.4.2).

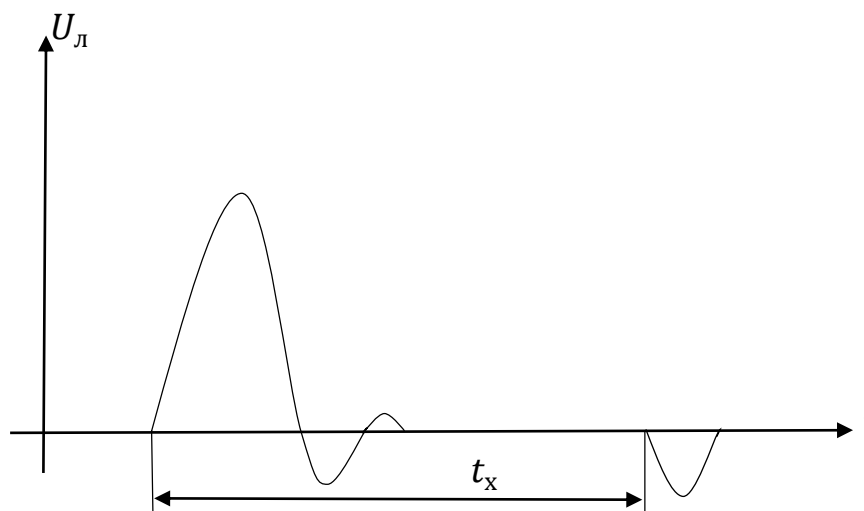


Рисунок 4.2 – Осциллограмма сигнала в линии при наличии короткого замыкания

Приведенные на рис. 4.1 и 4.2 эпюры напряжений являются «идеальными». На практике же графики содержат дополнительные всплески, обусловленные наличием нескольких неоднородностей в линии. В простейшем случае может быть один дополнительный всплеск из-за отражения от конца измерительного кабеля, служащего для подключения линии к прибору.

4.4 Краткое описание прибора P5-10

4.4.1 Назначение

Измеритель неоднородностей линий P5-10 предназначен для проведения следующих операций на линиях связи:

- обнаружение повреждения и определение его характера;
- обнаружение сосредоточенной неоднородности волнового сопротивления, возникающей из-за асимметрии в проводах, ухудшения контакта и других причин;
- определение расстояния до повреждения или неоднородности.

4.4.2 Основные технические характеристики

1. Диапазон измерения расстояния до повреждения 5 м – 300 км.
2. Погрешность измерения расстояния от конечного значения диапазона 1%.
3. Максимальное затухание в измеряемой линии 80 дБ.
4. Полоса пропускания частот усилителя 10 МГц.
5. Амплитуда зондирующего импульса в зависимости от длительности 2 – 20 В.

4.4.3 Функциональная схема

На рис. 3 приведена функциональная схема прибора P5-10.

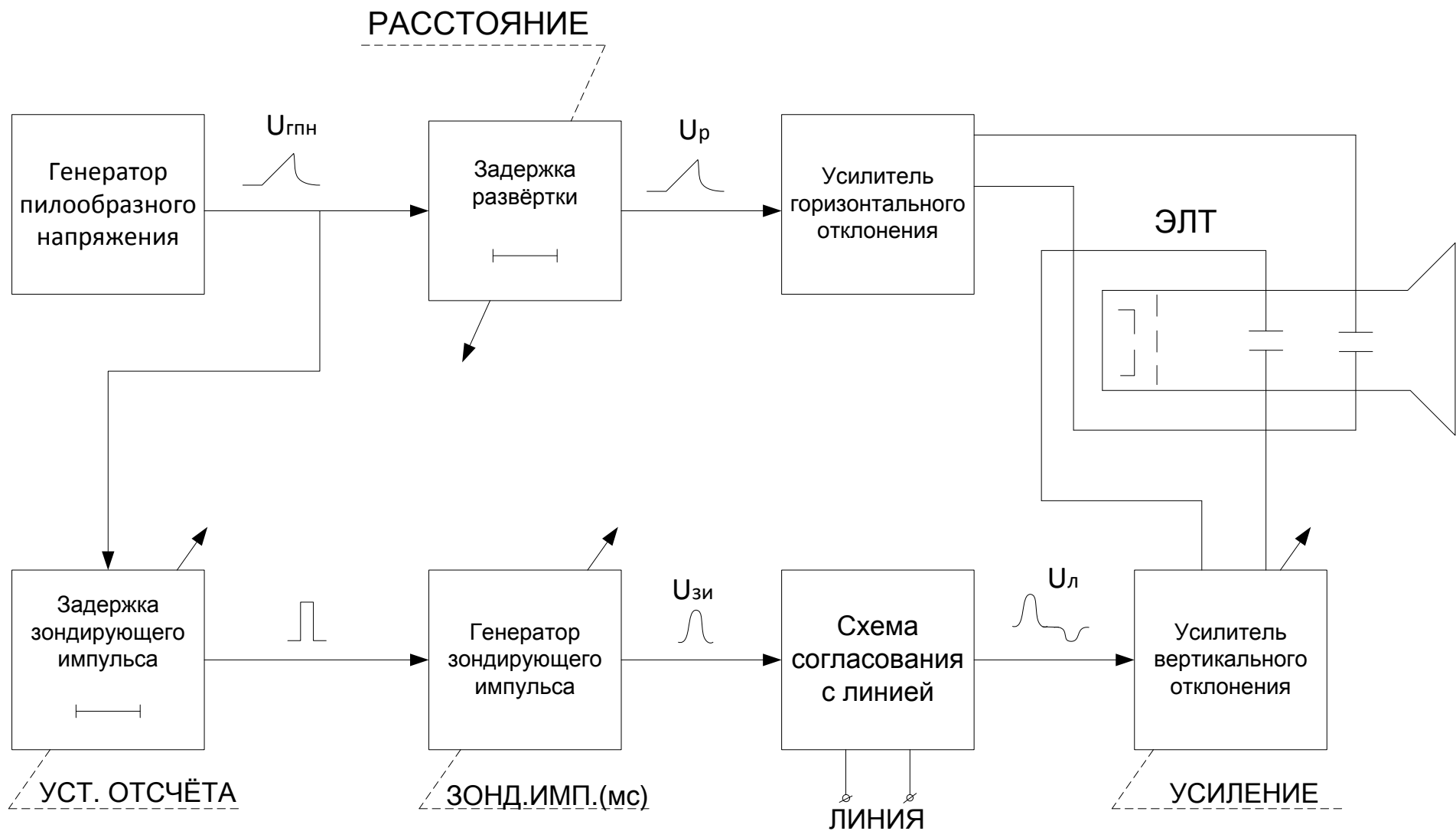


Рисунок 4.3 – Функциональная схема прибора P5-10.

Генератор пилообразного напряжения ГПН вырабатывает сигнал $U_{ГПН}(t)$ (рис.4.3), необходимый, с одной стороны, для развертки изображения на экране электронно-лучевой трубки ЭЛТ, а с другой – для запуска генератора зондирующего импульса ГЗИ. Напряжение пилообразной формы от ГПН поступает на усилитель горизонтального отклонения луча ЭЛТ через схему задержки развертки СЗР. Временная диаграмма напряжений при измерении неоднородности линии прибором Р5-10 приведена на рис. 4.4. При этом, если $U_{ГПН}(t) < U_{зад,разв}$, то на выходе СЗР сигнал отсутствует. Если же $U_{ГПН}(t) > U_{зад,разв}$, то на выход проходит напряжение $U_p = U_{ГПН}(t) = U_{зад,разв}$ (средний график на рис. 4.4).

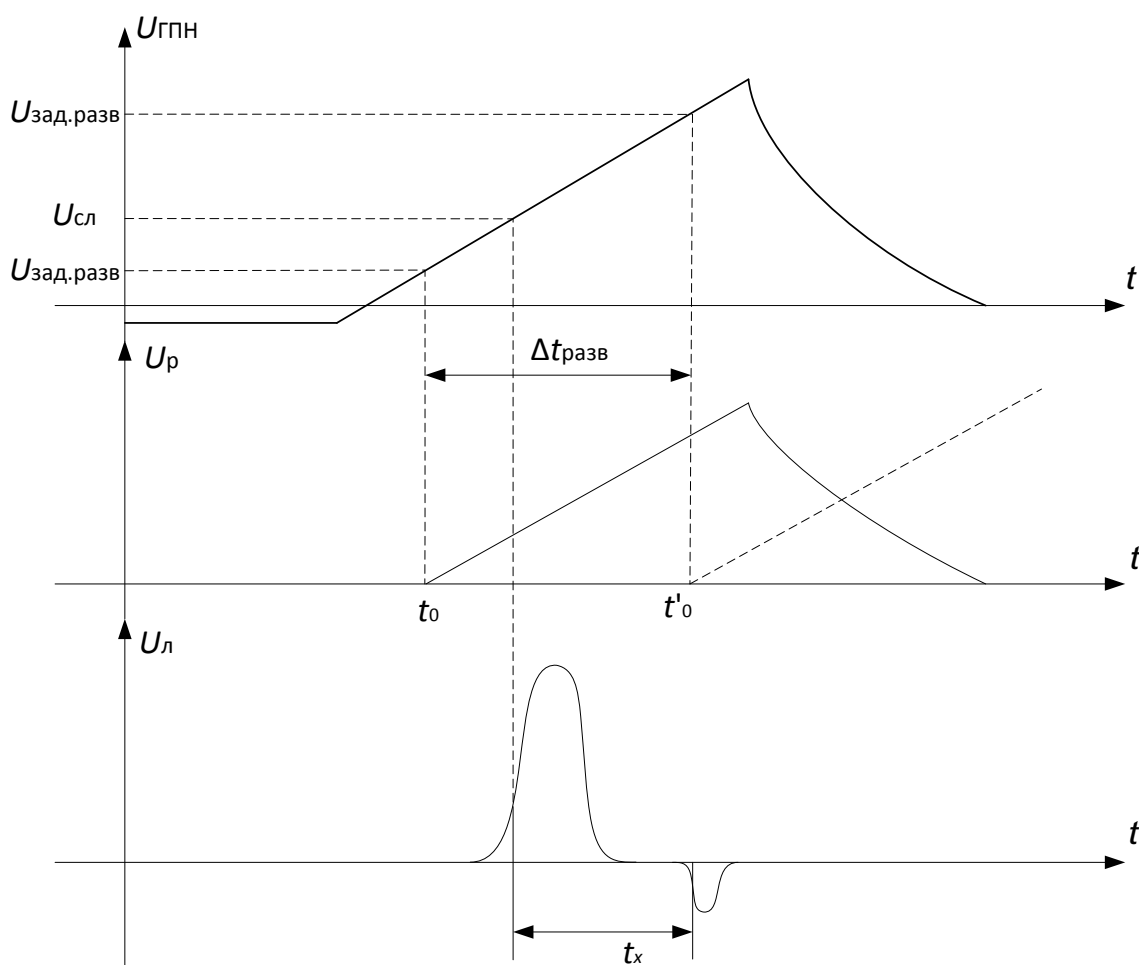


Рисунок 4.4 – Временная диаграмма напряжений при измерении неоднородности линии прибором Р5-10

В приборе предусмотрена регулировка задержки развертки ручкой РАССТОЯНИЕ, что позволяет передвигать изображение зондирующего и отражённого импульсов (кривая напряжения линии $U_л(t)$ на рис. 4.3) на экране ЭЛТ по горизонтали.

Аналогичным образом работает и схема задержки зондирующего импульса СЗЗИ. Отличие в том, что здесь для сравнения с $U_{ГПН}(t)$ используется некоторое опорное напряжение $U_{оп}$, превосходящее по величине $U_{зад.разв}$. Это необходимо для того, чтобы формировать зондирующий импульс после запуска развертки и соответственно видеть его на экране. Таким образом, на выходе СЗЗИ формируется короткий импульс в момент времени, соответствующий достижению равенства $U_{ГПН}(t) = U_{оп}$. Этот сигнал поступает на вход запуска генератора зондирующего импульса ГЗИ. Последний формирует зондирующий колоколообразный (в некоторых случаях – прямоугольный) импульс длительностью τ . Величина τ может регулироваться ручкой ЗОНД.ИМП. Импульс оказывается задержанным относительно начала развертки на величину, определяемую СЗЗИ и регулируемую ручкой УСТАНОВКА ОТСЧЕТА.

Зондирующий импульс через схему согласования ССЛ подается в линию, затем осуществляется прием импульса, отраженного от места повреждения. Здесь же формируется суммарный сигнал напряжения в линии $U_{л}(t)$, который и поступает на усилитель вертикального отклонения луча ЭЛТ.

4.5 Подготовка прибора к измерениям

Убедиться в подключении к прибору заземления и измеряемой линии или ее эквивалента. Установить ручки управления в следующие положения:

УСИЛЕНИЕ – крайнее левое;

РАССТОЯНИЕ – 0;

УСТАНОВКА ОТСЧЕТА – крайнее левое;

КОМПЕНС. – крайнее левое;

ФИЛЬТР –  ;

Ручками \odot , \odot , \updownarrow отрегулировать яркость, фокусировку и положение луча на экране ЭЛТ.

4.6. Указания к проведению измерений

4.6.1 Особенности работы с искусственной линией

Измерения проводятся на макете, реализующем искусственную линию связи (рис. 4.5).

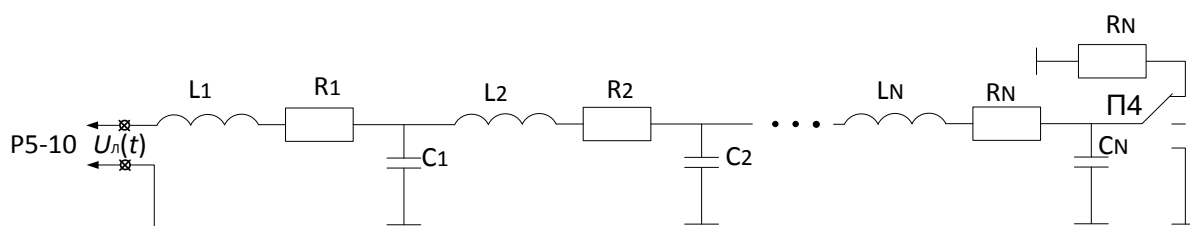


Рисунок 4.5 – Схема искусственной линии

Эквивалентная длина такой линии зависит от коэффициента укороченной волны γ . При варьировании γ от 1 до 2 длина измеряется от 11 до 6 км.

На макете имеются четыре трехпозиционных переключателя П1, П2, П3 и П4 (на рис. 5 показан только П4) при помощи которых можно имитировать неоднородности и повреждения различного характера. Три фиксированных положения каждого переключателя обозначены цифрами 1, 2 и 3.

В положении П1 – 1, П2 – 2, П3 – 2, П4 – 1 имитируется работа линии на согласованную нагрузку. Это состояние является исходным при проведении измерений.

В других положениях переключателей имитируются обрыв, короткое замыкание и иные повреждения.

4.6.2 Порядок проведения измерений

Подготовить прибор Р5-10 к работе в соответствии с разделом 5. Произвести наблюдение зондирующего импульса на экране ЭЛТ, установив необходимое усиление соответствующей ручкой.

Установить исходный режим линии в соответствии с указаниями подраздела 6.1. и выполнить следующее:

1. Установить переключатель ДИАПАЗОНЫ в положение, соответствующее ожидаемой длине линии (30 км, если преподаватель не задает другое значение). Вращая ручку РАССТОЯНИЕ, просмотреть на экране ЭЛТ зондирующий и отраженный импульсы. Зарисовать всю осциллограмму $U_d(t)$ по типу приведенных на рисунке 1 и 2.

Ознакомиться с таблицей, которая регламентирует ваши дальнейшие действия и задает форму отчетности по данной работе. Здесь приняты следующие обозначения: « \rightarrow » – величина не измеряется и не задается; « $+$ » – величина экспериментально измеряется; « $*$ » – величина задается преподавателем; « \downarrow » – значение берется из предыдущих опытов.

2. Определить характер режима работы линии и ее полную длину при величине γ , заданной преподавателем. Использовать состояния II и III согласно таблице. Для этого ручку УКРОЧЕНИЕ установить в положение, соответствующее заданной величине γ . Ручку РАССТОЯНИЕ поставить в положение 0. Ручкой УСТАНОВКА ОТСЧЕТА совместить передний фронт зондирующего импульса с одной из рисок шкалы ЭЛТ.

Ручкой РАССТОЯНИЕ совместить начало фронта отраженного импульса с той риской шкалы, с которой совмещался фронт зондирующего импульса. Произвести отсчет длины линии по шкале ручки РАССТОЯНИЕ. Полученное значение занести в таблицу, аналогичную приведенной.

Определить погрешность σ измерения длины линии как 1% от конечного значения диапазона. Результат занести в таблицу.

Состояние линии (№ измерения)	Переключатель				Характер неодно- родности	Расстояние до неоднородности l_x , км		Коэффициент укорочения, γ	Время задержки t , нс	Осцилло- грамма рисуеться
	П1	П2	П3	П4						
	Положение переключателей					Погрешность σ , км				
Ознакомление с характером сигналов в линии										
I	1	2	2	1	–	–	–	–	–	+
Измерение полной длины линии										
II	1	2	2	2	+	+	*	–	–	–
III	1	2	2	3	+	+	*	–	–	–
Измерение расстояния до места повреждения линии										
IV	3	2	2	1	+	+	*	–	–	+
V	2	2	2	1	+	+	*	–	–	+
VI	1	1	2	1	+	+	*	–	–	+
VII	1	3	2	1	+	+	*	–	–	–
VIII	1	2	1	1	+	+	*	–	–	+
IX	1	2	3	1	+	+	*	–	–	–
X	1	3	1	3	+	+	*	–	–	+
Измерение коэффициента укороченной волны										
XI	2	2	2	1	–	↓	+	–	–	–
XII	1	1	2	1	–	↓	+	–	–	–
Измерение времени задержки										
XIII	1	2	3	1	–	+	1,5	+	–	–
XIV	1	2	2	2	–	–	1,5	+	–	–

3. Определить характер повреждения линии и измерить расстояние до места повреждения. Использовать значение коэффициента укорочения γ , заданное преподавателем. Положения переключателем П1–П4 определить по таблице соответственно состояниям IV – X. Зарисовать осциллограмму $U_{\text{л}}(t)$ в тех случаях, которые отмечены в таблице.

Работа с органами управления производится аналогично тому, как это описано в п.2. Результаты заносятся в отчетную таблицу.

4. Измерить коэффициент укорочения волны в кабеле известной длины. Для этого установить переключатель П1 – П4 в положения, соответствующие состоянию XI в таблице. Ручки управления прибора Р5-10 поставить в положения:

УКОРОЧЕНИЕ – 1;

РАССТОЯНИЕ – 0.

Выбрать диапазон измерения, соответствующий известной из предшествующих измерений длине кабеля.

Ручкой УСТАНОВКА ОТСЧЕТА установить начало отсчета, совместив передний фронт зондирующего импульса с отсчетной рискушкой шкалы ЭЛТ. Поставить ручку РАССТОЯНИЕ в положение, соответствующее известной длине линии.

Вращая ручку УКОРОЧЕНИЕ вправо, совместить передний фронт отраженного импульса с отсчетной рискушкой шкалы ЭЛТ. По положению этой ручки определить величину коэффициента укорочения γ . Результат занести в отчетную таблицу.

5. Измерить временную задержку сигнала в линии. Использовать состояния XIII и XIV из таблицы.

Измерение задержки производится аналогично измерению расстояния до неоднородности (см. п. 3). При этом ручку УКОРОЧЕНИЕ необходимо ставить в положение 1,5. В этом случае отсчет задержки в микросекундах производится умножением на 10 показания шкалы РАССТОЯНИЕ в километрах.

4.7 Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Функциональная схема измерителя неоднородностей типа Р5-10.
3. Таблица экспериментальных данных.
4. Эпюры осциллограммы напряжения в линии.
5. Заключение и выводы.

4.8 Контрольные вопросы

1. В чем состоит сущность импульсного метода измерения неоднородностей в линиях связи?
2. В чем заключается принцип работы прибора Р5-10?

3. Как можно определить тип повреждения линии связи, используя импульсный измеритель?
4. Для чего используется схема задержки развертки в приборе Р5-10?
5. С какой целью в схеме прибора Р5-10 предусмотрена схема задержки зондирующих импульсов?

Рекомендуемая литература

1. **Кушнир, Ф.Е.** Измерения в технике связи / Ф.Е. Кушнир и др. Н.: Связь, 1976.
2. **Марков, Н.Н.** Импульсный метод измерения линий связи: Методические указания к лабораторной работе / Н.Н. Марков. Ростов н/Д: РИЖТ, 1983.

Учебное издание

Кульбикаян Хачерес Шагенович
Кульбикаян Баграт Хачересович
Шандыбин Алексей Викторович

ИЗМЕРЕНИЯ В ТЕХНИКЕ СВЯЗИ

Печатается в авторской редакции

Технический редактор А.В. Артамонов

Подписано в печать 09.10.17. Формат 60×84/16.

Бумага газетная. Ризография. Усл. печ. л. 3,95.

Тираж экз. Изд. № 9054. Заказ .

Редакционно-издательский центр ФГБОУ ВО РГУПС.

Адрес университета: 344038, Ростов н/Д, пл. Ростовского Стрелкового
Полка Народного Ополчения, д. 2