

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра метрологии и стандартизации

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ  
В ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ.  
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

В 2-х частях

Часть 1

*Рекомендовано УМО по образованию  
в области информатики и радиоэлектроники  
для специальностей*

*1-45 01 01 «Инфокоммуникационные технологии (по направлениям)»  
и 1-45 01 02 «Инфокоммуникационные системы (по направлениям)»  
в качестве учебно-методического пособия*

Минск БГУИР 2014

УДК 621.317.7(076.5)  
ББК 31.22я73  
М54

Авторы:

С. В. Ляльков, А. В. Гусинский, О. И. Минченко, О. В. Руховец

Рецензенты:

кафедра стандартизации, метрологии и управления качеством  
учреждения образования «Белорусский государственный институт повышения  
квалификации и переподготовки кадров по стандартизации, метрологии и  
управлению качеством»  
(протокол №5 от 22 мая 2013 г.);

доцент учреждения образования «Государственный институт управления  
и социальных технологий БГУ», кандидат физико-математических наук  
Е. П. Туромша

**Методы** и средства измерений в инфокоммуникационных системах.

М54 Лабораторный практикум : учеб.-метод. пособие. В 2 ч. Ч. 1 /  
С. В. Ляльков [и др.]. – Минск : БГУИР, 2014. – 110 с. : ил.  
ISBN 978-985-488-997-9 (ч. 1).

Лабораторный практикум включает в себя четыре лабораторные работы и предназначен для изучения методов измерения силы тока, напряжения, сопротивления, частотных и временных параметров сигналов, а также для осциллографических измерений. Приведена методика обработки результатов измерений и оценки погрешностей.

УДК 621.317.7(076.5)  
ББК 31.22я73

ISBN 978-985-488-997-9 (ч. 1)  
ISBN 978-985-488-996-2

© УО «Белорусский государственный  
университет информатики  
и радиоэлектроники», 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа МИ–1 «Аналоговые и цифровые комбинированные приборы для измерения силы тока, напряжения и сопротивления».....	5
1.1 Цель работы.....	5
1.2 Краткие теоретические сведения.....	5
1.3 Приборы, используемые при выполнении работы.....	12
1.4 Описание лабораторного макета.....	13
1.5 Подготовка к выполнению работы.....	15
1.6 Задания к лабораторной работе .....	16
1.7 Порядок выполнения работы.....	16
1.8 Контрольные вопросы.....	23
Лабораторная работа МИ–2 «Измерение частотных и временных параметров сигналов цифровым частотомером» .....	25
2.1 Цель работы.....	25
2.2 Краткие теоретические сведения .....	25
2.3 Приборы, используемые при выполнении работы.....	29
2.4 Описание лабораторного макета.....	29
2.5 Подготовка к выполнению работы.....	30
2.6 Задания к лабораторной работе .....	30
2.7 Порядок выполнения работы.....	30
2.8 Контрольные вопросы.....	32
Лабораторная работа МИ–3 «Измерение напряжений электронными вольтметрами».....	34
3.1 Цель работы.....	34
3.2 Краткие теоретические сведения.....	34
3.3 Приборы, используемые при выполнении работы.....	41
3.4 Описание лабораторного макета.....	41
3.5 Подготовка к выполнению работы.....	42
3.6 Задания к лабораторной работе.....	43
3.7 Порядок выполнения работы.....	43
3.8 Контрольные вопросы.....	48
Лабораторная работа МИ–4 «Универсальный электронно-лучевой осциллограф».....	50
4.1 Цель работы.....	50
4.2 Краткие теоретические сведения .....	50
4.3 Приборы, используемые при выполнении работы.....	54
4.4 Описание лабораторного макета.....	55
4.5 Подготовка к выполнению работы.....	55
4.6 Задания к лабораторной работе .....	56
4.7 Порядок выполнения работы.....	56
4.8 Контрольные вопросы.....	60
Содержание отчета.....	61

Приложение А	Прибор электроизмерительный комбинированный Ц4353...	62
Приложение Б	Цифровой комбинированный прибор М92А.....	65
Приложение В	Магазин сопротивлений МСР-63.....	68
Приложение Г	Вольтметр универсальный цифровой В7-34.....	69
Приложение Д	Источник питания универсальный.....	71
Приложение Е	Частотомер электронно-счетный ЧЗ-63.....	72
Приложение Ж	Генератор сигналов высокочастотный Г4-117.....	78
Приложение И	Вольтметр универсальный цифровой В7-28.....	81
Приложение К	Милливольтметр ВЗ-38.....	85
Приложение Л	Микровольтметр ВЗ-40.....	87
Приложение М	Милливольтметр импульсного тока В4-12.....	89
Приложение Н	Осциллограф универсальный С1-72.....	91
Приложение П	Осциллограф универсальный двухканальный С1-117.....	93
Приложение Р	Генератор сигналов низкочастотный ГЗ-109.....	103
Приложение С	Генератор импульсов Г5-54.....	106
Литература.....		109

Библиотека БГУИР

# **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА МИ–1**

## **АНАЛОГОВЫЕ И ЦИФРОВЫЕ КОМБИНИРОВАННЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЫ ТОКА, НАПРЯЖЕНИЯ И СОПРОТИВЛЕНИЯ**

### **1.1 Цель работы**

1.1.1 Изучение принципов действия аналоговых и цифровых комбинированных приборов.

1.1.2 Изучение алгоритмов определения методических погрешностей, возникающих при измерении силы тока, напряжения и сопротивления постоянному току.

1.1.3 Изучение методов поверки комбинированных приборов в режимах измерения напряжения постоянного тока и сопротивления постоянному току.

1.1.4 Изучение алгоритмов обработки измерительной информации при многократных прямых и косвенных измерениях физических величин.

1.1.5 Приобретение практических навыков работы с магазином сопротивлений МСР-63, электроизмерительным комбинированным прибором Ц4353, цифровым комбинированным прибором М92А (Япония), вольтметром универсальным цифровым В7-34.

### **1.2 Краткие теоретические сведения**

Измерение силы постоянного и переменного токов, постоянного и переменного напряжений, сопротивлений – наиболее распространенные виды измерений.

К простейшим относятся электромеханические приборы, основу которых составляет магнитоэлектрический измерительный механизм (МЭИМ). Принцип действия МЭИМ основан на взаимодействии магнитных полей постоянного магнита и катушки с током. Среди многообразия конструктивного исполнения [1, 2] наибольшее применение на практике получили МЭИМ с неподвижным магнитом и подвижной катушкой. Конструкция их имеет следующий вид (рисунок 1.1).

Магнитная система ИМ образуется постоянным магнитом 1, полюсными наконечниками с цилиндрической расточкой 2 и неподвижным сердечником цилиндрической формы 3. Сердечник изготавливается из ферромагнитного материала. Такая конструкция магнитной системы позволяет создать в зазоре между сердечником и полюсными наконечниками радиальное равномерное магнитное поле. Силовые линии поля в зазоре имеют одинаковую плотность. Благодаря тому что магнитное поле равномерное, обеспечивается постоянная чувствительность ИМ, а следовательно, и измерительного прибора на его основе. В этом поле свободно поворачивается катушка 4 в виде прямоугольной рамки. На ее оси жестко закреплена стрелка, которая вместе со шкалой образует отсчетное устройство. Противодействующий момент создается двумя спиральными пружинами 5, которые одновременно служат и токопроводами, т. е. через них подается в рабочую катушку измеряемый ток. Момент успокоения в таких ИМ создается, как правило, с помощью нескольких короткозамкнутых витков,

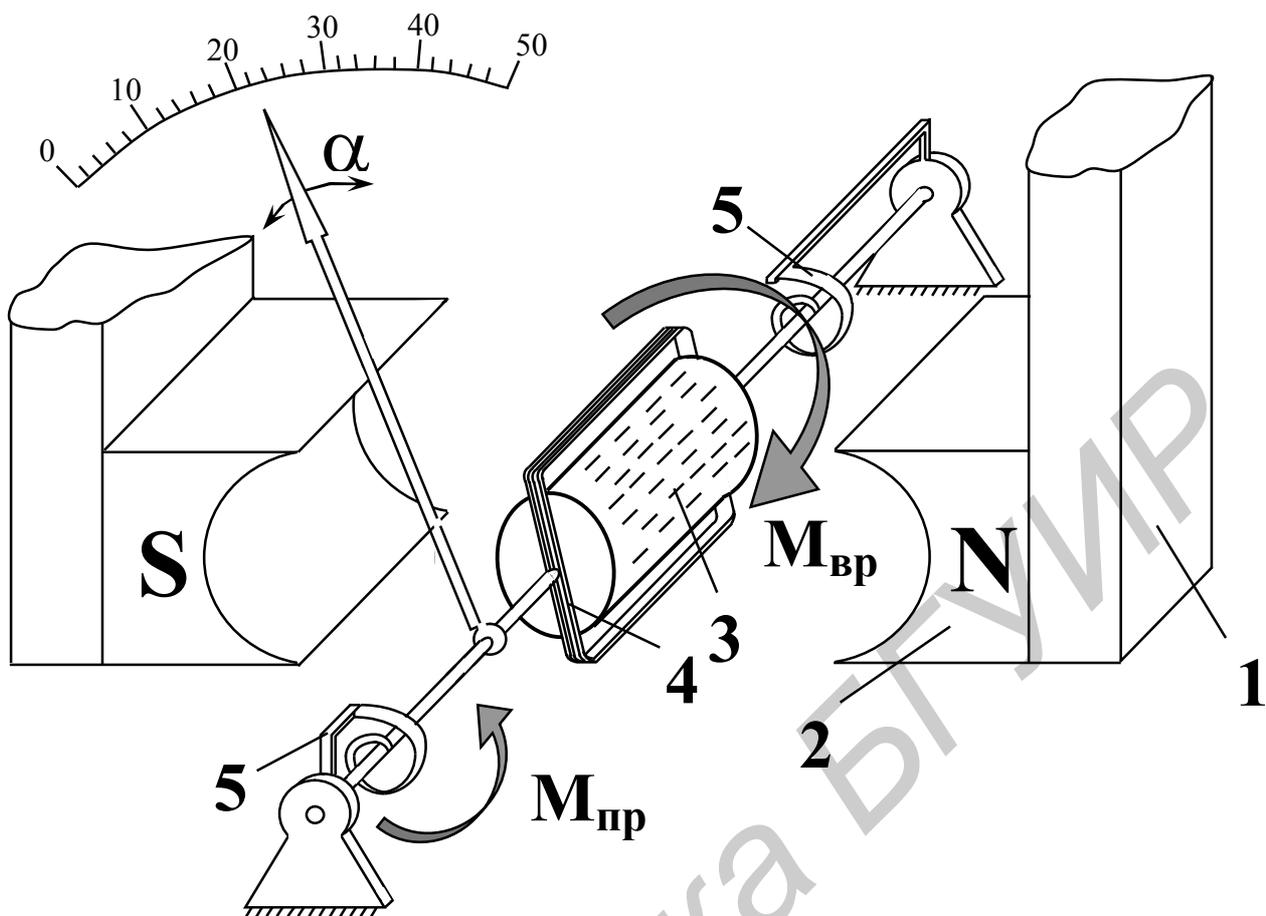


Рисунок 1.1 – Структурная схема магнитоэлектрического измерительного механизма

намотанных на каркас рабочей катушки. Это пример магнитоиндукционного успокоителя.

По принципу действия МЭИМ является измерителем постоянного тока с уравнением шкалы

$$\alpha = \frac{B \cdot S \cdot w}{K_{уд}} \cdot I = S_I \cdot I, \quad (1.1)$$

где  $\alpha$  – угол отклонения стрелки МЭИМ;

$B$  – магнитная индукция в зазоре (величина постоянная);

$S$  – площадь витка рамки;

$w$  – количество витков рабочей катушки;

$K_{уд}$  – удельный противодействующий момент, зависящий от размеров пружины и свойств материала, из которого она изготовлена;

$I$  – ток в катушке;

$S_I$  – чувствительность по току, имеющая постоянное значение для данного

МЭИМ, равная  $\frac{B \cdot S \cdot w}{K_{уд}}$ .

По градуировочной шкале МЭИМ его показание можно выразить через число делений  $N$ , на которое отклонилась стрелка при протекании по катушке тока  $I$ :

$$I = C_I \cdot N, \quad (1.2)$$

где  $C_I$  – цена деления шкалы МЭИМ по току, равная  $\frac{1}{S_I} = \frac{I_H}{N_{\max}}$ ;

$I_H$  – ток полного отклонения (номинальный ток);

$N_{\max}$  – число делений шкалы.

К числу других параметров, характеризующих свойства МЭИМ, относится его внутреннее сопротивление  $R_{\text{ИМ}}$ , определяемое в основном сопротивлением катушки постоянному току.

Более подробно с конструкцией и разновидностями МЭИМ можно ознакомиться в литературе [1–5].

МЭИМ могут выполняться вплоть до класса 0,05 и являются самыми точными для измерения постоянного тока. Расширения пределов измерения по току в сторону больших значений добиваются включением параллельно МЭИМ специальных низкоомных резисторов – шунтов (рисунок 1.2).

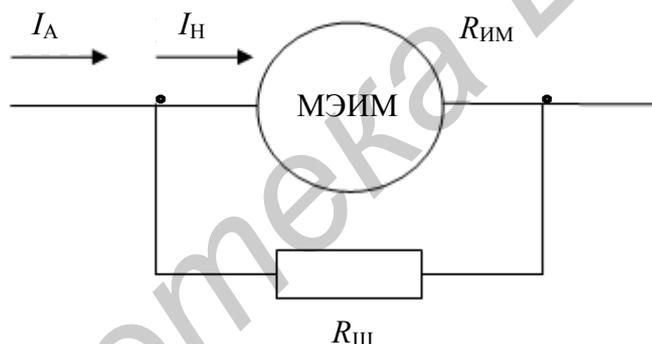


Рисунок 1.2 – Структурная схема подключения шунтирующего резистора

В результате ток  $I_H$  через механизм становится меньше тока в измерительной цепи в  $n = \frac{I_A}{I_H}$  раз. Сопротивление шунта  $R_{\text{ш}}$ , необходимое для расширения пределов измерения по току с  $I_H$  до  $I_A$ , рассчитывается по формуле

$$R_{\text{ш}} = R_{\text{ИМ}} / (n - 1). \quad (1.3)$$

Соответственно цена деления также увеличивается в  $n$  раз:

$$C_A = C_I \cdot n, \quad (1.4)$$

а внутреннее сопротивление полученного амперметра  $R_A$  становится равным

$$R_A = \frac{R_{\text{ИМ}} \cdot R_{\text{ш}}}{R_{\text{ИМ}} + R_{\text{ш}}}. \quad (1.5)$$

МЭИМ может выполнять непосредственно и функции вольтметра с пределом измерения по напряжению  $U_H = I_H \cdot R_{\text{ИМ}}$ . Результат измерения при этом определяется по формуле

$$U = C_U \cdot N, \quad (1.6)$$

где  $C_U$  – цена деления МЭИМ по напряжению, равная  $U_H / N_{\max}$ .

Расширение пределов измеряемого напряжения достигается путем последовательного включения добавочного резистора  $R_D$  (рисунок 1.3).

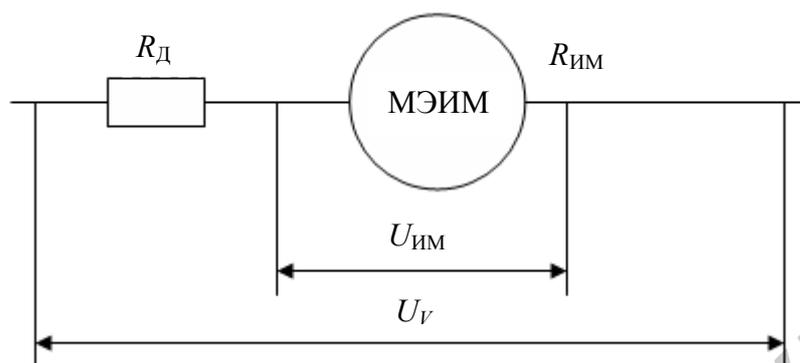


Рисунок 1.3 – Структурная схема подключения добавочного резистора

В результате падение напряжения на МЭИМ уменьшается, а предел измерения расширяется в  $m = U_V / U_H$  раз. Сопротивление  $R_D$  добавочного резистора на заданный предел  $U_V$  рассчитывается по формуле

$$R_D = R_{ИМ} \cdot (m - 1). \quad (1.7)$$

Соответственно цена деления будет

$$C_V = C_U \cdot m, \quad (1.8)$$

и внутреннее сопротивление вольтметра

$$R_V = R_{ИМ} + R_D. \quad (1.9)$$

Зависимость тока от сопротивления участка электрической цепи позволяет использовать МЭИМ для измерения сопротивления постоянному току. Такой метод измерения называется методом непосредственной оценки. В приборах для измерения сопротивления постоянному току – омметрах – измеряемый резистор  $R_X$  может включаться последовательно (рисунок 1.4) (последовательная схема) или параллельно (рисунок 1.5) с МЭИМ (параллельная схема). Обе схемы омметров содержат источник постоянного тока (ИП), переменный резистор калибровки  $R_0$  и МЭИМ.

В последовательной схеме (см. рисунок 1.4)  $R_0$  служит для установки нуля шкалы омметра при коротком замыкании зажимов  $R_X$  прибора. Ток в цепи МЭИМ при этом максимален, и, следовательно, нулем является крайняя правая отметка шкалы. Последовательная схема используется для измерения сравнительно больших сопротивлений, т. к. сам по себе МЭИМ измеряет малые токи, и в области малых  $R_X$  большое влияние на ток в цепи оказывают сопротивления  $R_0$  и  $R_{ИМ}$ .

При измерении малых сопротивлений более эффективна параллельная схема (см. рисунок 1.5), в которой резистор  $R_0$  служит для установки  $\infty$  шкалы при разомкнутых зажимах  $R_X$  прибора. Нулевому значению  $R_X$  соответствует

нулевой ток через МЭИМ, и, таким образом, нуль шкалы находится на крайней левой отметке.

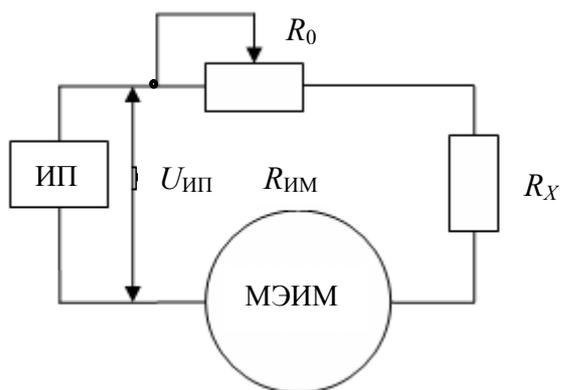


Рисунок 1.4 – Последовательная схема для измерения больших сопротивлений

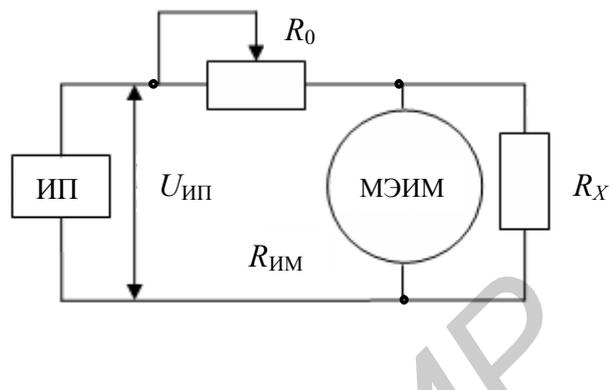


Рисунок 1.5 – Параллельная схема для измерения малых сопротивлений

К недостаткам таких омметров можно отнести то, что шкалы их неравномерны, т. к. уравнения шкал для последовательной и параллельной схем будут соответственно

$$\alpha_{\text{посл}} = S_I \cdot \frac{U_{\text{ИП}}}{R_X + R_0 + R_{\text{ИМ}}}; \quad \alpha_{\text{пар}} = S_I \cdot \frac{U_{\text{ИП}}}{\frac{R_X \cdot R_{\text{ИМ}}}{R_X + R_{\text{ИМ}}} + R_0}. \quad (1.10)$$

Как следует из формул (1.10), градуировка омметров зависит от напряжения  $U_{\text{ИП}}$ , что требует обязательной калибровки прибора перед измерением, осуществляемой с помощью  $R_0$ .

Кроме метода непосредственной оценки при измерении сопротивлений с помощью омметра может быть использован метод амперметра-вольтметра, который является косвенным и сводится к измерению тока и напряжения в цепи с измеряемым резистором  $R_X$  и последующим расчетом значения сопротивления по закону Ома.

При измерениях силы тока и напряжения постоянного тока, сопротивления постоянному току возникают методические погрешности измерения.

При измерении силы тока амперметр с сопротивлением  $R_A$  включается последовательно с участком исследуемой цепи  $R_H$  (рисунок 1.6).

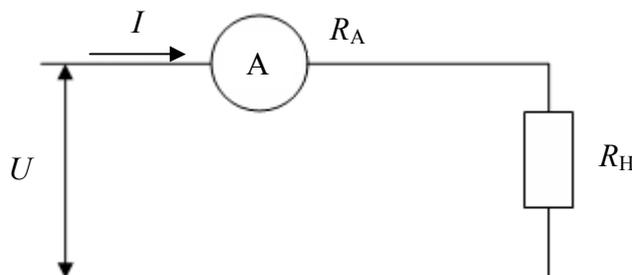


Рисунок 1.6 – Структурная схема подключения амперметра с входным сопротивлением  $R_A$  при измерении тока

При этом увеличивается сопротивление участка цепи, и измеряемый ток уменьшается со значения  $I = U / R_H$  до значения  $I_{И} = U / (R_A + R_H)$ . В результате возникает методическая погрешность измерения тока, которая может быть рассчитана по формуле

$$\delta_I = \frac{I_{И} - I}{I} \cdot 100 \% = -100 \% / \left( 1 + \frac{R_H}{R_A} \right). \quad (1.11)$$

Из формулы (1.11) следует, что  $\delta_I$  тем меньше, чем сильнее неравенство  $R_A \ll R_H$ . Так как эта погрешность систематическая с известным значением и знаком, то она может быть исключена из результата измерения введением поправки  $q_I$ :

$$I = I_{И} + q_I, \quad (1.12)$$

где  $q_I = - \frac{\delta_I}{100 \% + \delta_I} \cdot I_{И}$ .

При измерении напряжения вольтметр с входным сопротивлением  $R_V$  подключается параллельно исследуемому участку цепи с сопротивлением  $R_H$ . Вся остальная электрическая цепь при этом может быть представлена в виде эквивалентной ЭДС  $E$  с внутренним сопротивлением  $R_0$  (рисунок 1.7).

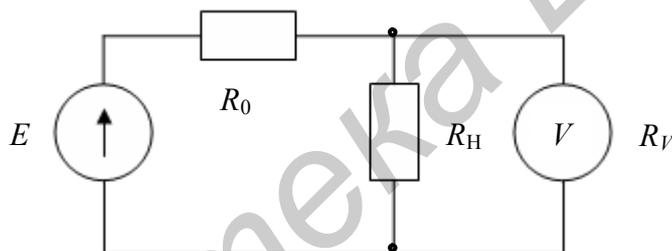


Рисунок 1.7 – Структурная схема подключения вольтметра с входным сопротивлением  $R_V$  при измерении напряжения

Очевидно, что сопротивление исследуемого участка уменьшится. Падение напряжения на нем также уменьшится со значения  $U = E / \left( 1 + \frac{R_0}{R_H} \right)$  до значения

$$U_{И} = E / \left( 1 + \frac{R_0}{R_V} + \frac{R_0}{R_H} \right).$$

Таким образом, появится методическая погрешность измерения

$$\delta_U = \frac{U_{И} - U}{U} \cdot 100 \% = - \frac{100 \%}{1 + \frac{R_V}{R_H} + \frac{R_V}{R_0}}. \quad (1.13)$$

Погрешность  $\delta_U$  тем меньше, чем сильнее выполняются неравенства  $R_V \gg R_H$  или  $R_V \gg R_0$ . Так как эта погрешность систематическая с известным значением и знаком, то она может быть исключена из результата измерения введением поправки  $q_U$ :

$$U = U_{\text{И}} + q_U, \quad (1.14)$$

где  $q_U = -\frac{\delta_U}{100 \% + \delta_U} \cdot U_{\text{И}}$ .

При измерении сопротивлений методом амперметра-вольтметра также возникают методические погрешности, обусловленные конечными значениями внутренних сопротивлений приборов ( $R_A$  и  $R_V$ ).

При измерении тока, напряжения и сопротивления все большее применение находят цифровые измерительные приборы. Распространение их обусловлено известными достоинствами: малой погрешностью измерений, высоким быстродействием и чувствительностью, отсутствием субъективной ошибки отсчета результата измерений.

Цифровые приборы, как правило, имеют следующую структуру: преобразователи измеряемых величин в напряжение постоянного тока – преобразователь напряжения постоянного тока в код.

Как правило, преобразователь напряжения переменного тока в напряжение постоянного тока представляет собой усилитель и детектор, охваченные глубокой отрицательной обратной связью. Преобразование силы тока в напряжение осуществляется путем пропускания измеряемого тока через прецизионный резистор, падение напряжения на котором пропорционально силе тока. Преобразователь сопротивления в напряжение представляет собой источник тока, который протекает через измеряемое сопротивление и создает на нем падение напряжения, пропорциональное измеряемому сопротивлению.

В преобразователях напряжения постоянного тока в код реализуются различные методы аналого-цифрового преобразования: времяимпульсный, частотно-импульсный и кодово-импульсный.

Более подробно цифровые приборы рассмотрены в [2, 4].

Инструментальная погрешность (т. е. погрешность прибора) может быть выражена в форме абсолютной ( $\Delta$ ), относительной ( $\delta$ ) и приведенной ( $\gamma$ ) погрешностей:

$$\Delta = X_{\text{И}} - Q; \quad (1.15)$$

$$\delta = \frac{\Delta}{Q} \cdot 100 \% ; \quad (1.16)$$

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} \cdot 100 \% . \quad (1.17)$$

Как видно из формул (1.15)–(1.17), любую из этих погрешностей можно выразить через другую, т. е.

$$\Delta = \frac{\delta \cdot Q}{100 \%} = \frac{\gamma \cdot X_N}{100 \%} ; \quad \delta = \gamma \cdot \frac{X_N}{Q} ; \quad \gamma = \delta \cdot \frac{Q}{X_N}, \quad (1.18)$$

где  $X_{\text{И}}$  – показание прибора;

$Q$  – действительное значение измеряемой величины (оно при поверке соответствует показанию образцового прибора);

$X_N$  – нормируемое значение, правила выбора которого регламентированы ГОСТ 8.401–80.

Допускается в формулах (1.16) и (1.18) при технических измерениях при рабочих измерениях вместо  $Q$  использовать показание прибора  $X_{И}$ .

Согласно ГОСТ 8.401–80, если прибор имеет практически равномерную шкалу, значение  $X_N$  следует выбирать равным пределу измерения при нахождении нулевой отметки на краю диапазона измерений или равным сумме модулей пределов измерений, если нулевая отметка находится внутри диапазона измерений. Если прибор имеет существенно неравномерную шкалу, значение  $X_N$  принимают равным длине шкалы или ее части, соответствующей диапазону измерений.

Обобщенной характеристикой прибора является класс точности, определяемый пределами допускаемых погрешностей прибора. Если эти пределы выражаются значениями  $\delta$  и  $\gamma$  по формулам

$$\delta = \pm q; \quad \gamma = \pm p, \quad (1.19)$$

где  $q$  и  $p$  – отвлеченные положительные числа, выбираемые из ряда

$$K = [1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 4,0; 5,0; 6,0] \cdot 10^n, \quad n = 1, 0, -1, -2, \dots, \quad (1.20)$$

то классы точности обозначаются числами, которые равны этим пределам (в процентах) и соответствуют ряду (1.20). Если же пределы допускаемых погрешностей выражаются значением  $\delta$  по формуле

$$\delta = \pm \left[ c + d \cdot \left( \frac{X_K}{X_{И}} - 1 \right) \right], \quad (1.21)$$

где  $X_K$  – больший (по модулю) из пределов измерений;

$c$  и  $d$  – положительные числа, не зависящие от измеряемой величины  $X$  (классы точности обозначают числами  $c$  и  $d$ , разделяя их косой чертой).

Более подробно погрешности приборов рассмотрены в [3].

Класс точности прибора проверяется путем поверки прибора, т. е. сравнением показаний прибора с показаниями образцового прибора и последующим определением погрешности, которая нормирована для поверяемого прибора.

Для повышения точности измерений используются многократные прямые или косвенные измерения величины. Алгоритмы обработки измерительной информации при таких измерениях приведены в [1, 2].

### **1.3 Приборы, используемые при выполнении работы**

1.3.1 Прибор электроизмерительный комбинированный Ц4353 (приложение А).

1.3.2 Цифровой комбинированный прибор М92А (приложение Б).

1.3.3 Магазин сопротивлений МСР-63 (приложение В).

1.3.4 Вольтметр универсальный цифровой В7-34 (приложение Г).

1.3.5 Лабораторный макет.

## 1.4 Описание лабораторного макета

Лабораторный макет (рисунок 1.8) содержит источник питания универсальный, переключатель «Нагрузка» для набора резисторов, используемых в качестве нагрузок в режимах измерения тока и напряжения, разъем «Коммутатор», применяемый совместно с набором контактных колодок для создания различных режимов измерения. Конструктивно встроен в лабораторный макет цифровой комбинированный прибор М92А, который так же, как и расположенные внешне по отношению к макету прибор электроизмерительный комбинированный Ц4353, вольтметр универсальный цифровой В7-34 и магазин сопротивлений МСР-63, служит для реализации различных режимов измерения (тока, напряжения и сопротивления) благодаря коммутациям, реализуемым с помощью разъема «Коммутатор» и набора контактных колодок.

Использование девяти контактных колодок позволяет реализовать девять режимов измерения. При включении колодки загорается светодиод, индицирующий соответствующий обозначению колодки режим измерения (рисунки 1.9 – 1.17). В лабораторном макете используется тумблер на два положения: «Подготовка к измерениям» и «Измерение». В положении тумблера «Подготовка к измерениям» приборы Ц4353, М92А, В7-34, МСР-63 отключены от измерительных схем, и данное состояние используется для подготовки к измерениям с помощью этих приборов. В положении тумблера «Измерение» производится отсчет на шкале или на табло приборов результатов измерений.

Значения сопротивлений нагрузок для различных положений переключателя НАГРУЗКА при измерении тока и напряжения приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Положение переключателя	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R_H$ при измерении тока, кОм	0,507	0,980	1,61	2,17	2,65	2,96	3,59	4,29	4,57	5,08
$R_H$ при измерении напряжения, кОм	76,5	111,6	130,3	170	220	273	362	526	750	907



Рисунок 1.8 – Внешний вид макета

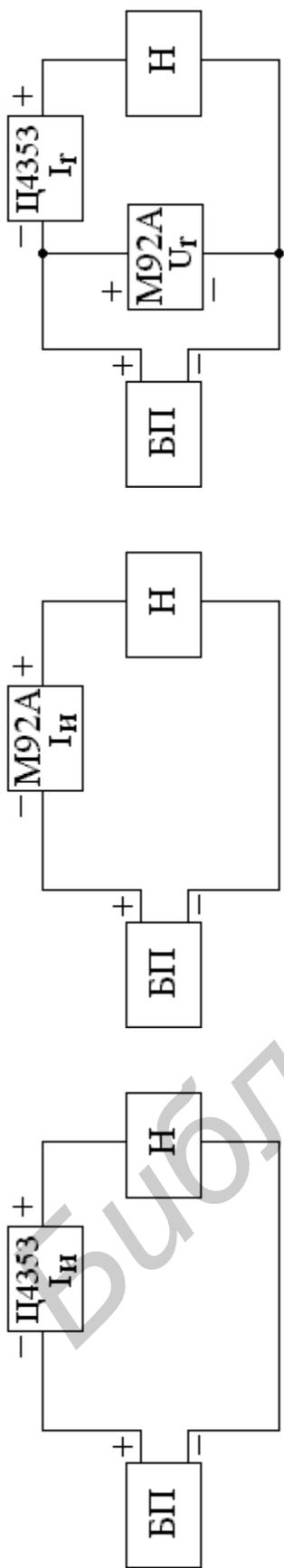


Рисунок 1.9 – «Схема 1.  $I_{И}$  – Ц4353»

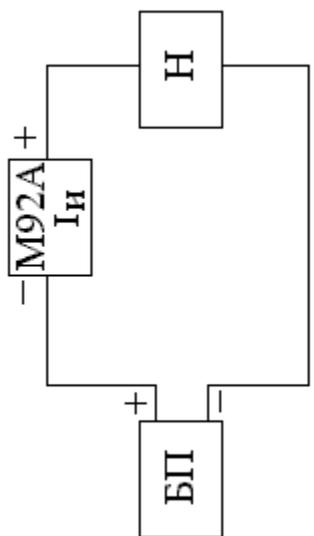


Рисунок 1.10 – «Схема 2.  $I_{И}$  – M92A»

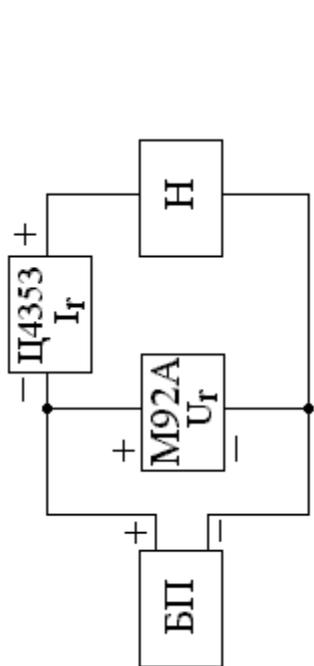


Рисунок 1.11 – «Схема 3.  $I_r$  – Ц4353.  $U_r$  – M92A»

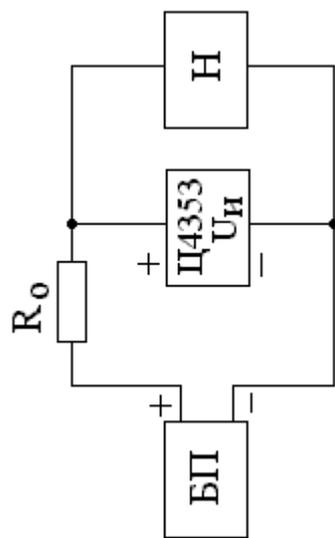


Рисунок 1.12 – «Схема 4.  $U_{И}$  – Ц4353»

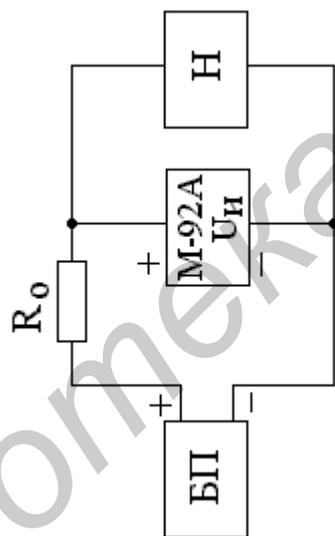


Рисунок 1.13 – «Схема 5.  $U_{И}$  – M92A»

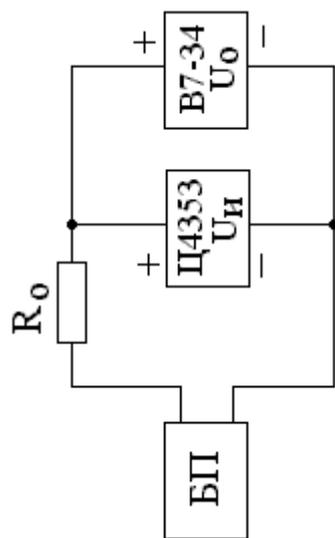


Рисунок 1.14 – «Схема 6.  $U_{И}$  – Ц4353.  $U_0$  – В7-34»

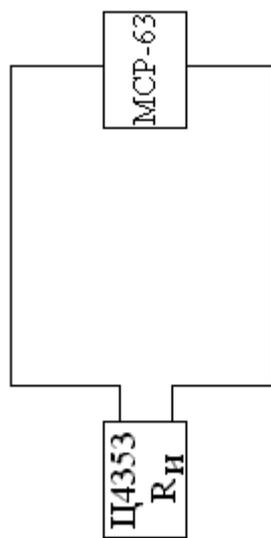


Рисунок 1.15 – «Схема 7.  $R_{И}$  – Ц4353»

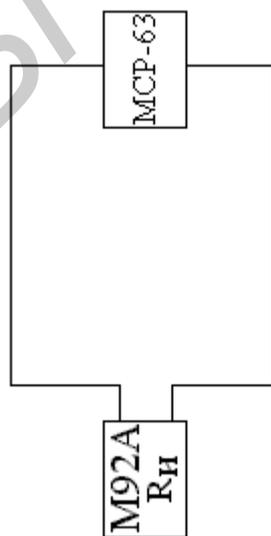


Рисунок 1.16 – «Схема 8.  $R_{И}$  – M92A»

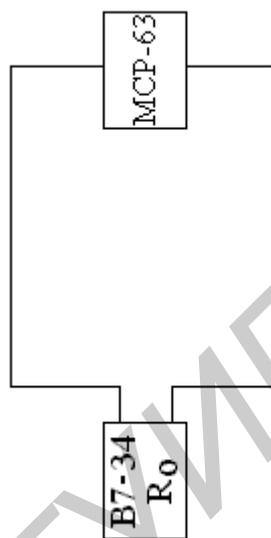


Рисунок 1.17 – «Схема 9.  $R_0$  – В7-34»

Значения сопротивлений приборов Ц4353 и М92А в режимах измерения тока и напряжения на различных пределах измерения приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2

Ц4353	Предел $I$ , мА	0,12	0,6	3	12	60
	$R_A$ , кОм	1,113	0,285	0,060	0,016	0,004
	Предел $U$ , В	1,5	3	12	30	
	$R_V$ , кОм	30	60	240	600	
М92А	Предел $I$ , мА	0,2	2	20	200	
	$R_A$ , кОм	1,01	0,104	0,015	0,006	
	Предел $U$ , В	0,2	2	20	200	
	$R_V$ , кОм	10 000 на всех пределах измерения				

Выходное сопротивление источника питания универсального  $R_0$  составляет в режиме измерения напряжения 110 кОм.

### 1.5 Подготовка к выполнению работы

1.5.1 По рекомендуемой литературе изучить методы измерения силы тока и напряжения постоянного тока, сопротивления постоянному току с помощью аналоговых и цифровых комбинированных приборов.

1.5.2 По приложениям А–Д изучить приборы, применяемые при выполнении лабораторной работы, провести измерения с их помощью, оценить полученные результаты.

1.5.3 Ответить на контрольные вопросы.

1.5.4 Сделать заготовку отчета (один на бригаду) по лабораторной работе в соответствии с требованиями раздела «Содержание отчета» данного учебно-методического пособия.

1.5.5 Выполнить домашнее задание и включить его в заготовку отчета.

На основе МЭИМ с внутренним сопротивлением  $R_{ИМ}$ , ценой деления по току  $C_I$  и шкалой с  $N$  делениями необходимо создать прибор для измерения тока с пределом  $I_A$  и напряжения с пределом  $U_V$  (таблица 1.3). Рассчитать сопротивление шунта, добавочного сопротивления прибора в режимах измерения тока и напряжения, определить цену деления по току и напряжению.

Таблица 1.3

Номер бригады	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R_{ИМ}$ , кОм	0,130	0,681	1,560	1,980	1,270	2,150	0,825	0,995	1,430	0,797
$C_I$ , мкА/дел	5,0	2,0	2,5	1,0	0,5	1,0	5,0	2,0	4,0	2,0
$N$ , дел	100	50	200	150	100	75	50	100	50	75
$I_A$ , мА	4,0	20,0	40,0	30,0	2,5	3,0	2,5	10,0	25,0	15,0
$U_V$ , В	2,0	5,0	10,0	7,5	2,0	3,0	5,0	2,0	5,0	15,0

## **1.6 Задания к лабораторной работе**

1.6.1 Измерить силу постоянных токов, протекающих через нагрузки, с помощью приборов Ц4353 и М92А. Оценить инструментальную и методическую погрешности измерения тока.

1.6.2 Измерить падения напряжения постоянного тока на нагрузках с помощью приборов Ц4353 и М92А. Оценить инструментальную и методическую погрешности измерения напряжения.

1.6.3 Измерить сопротивления, воспроизводимые магазином МСР-63, с помощью приборов Ц4353 и М92А. Оценить инструментальные погрешности измерения сопротивления.

1.6.4 Провести поверку прибора Ц4353 в части определения погрешности измерения напряжения постоянного тока при использовании прибора В7-34. Оценить абсолютную, относительную и приведенную погрешности прибора Ц4353 при измерении напряжения постоянного тока.

1.6.5 Провести поверку прибора Ц4353 в части определения погрешности измерения сопротивления постоянному току при использовании прибора В7-34. Оценить абсолютную, относительную и приведенную погрешности прибора Ц4353 при измерении сопротивления постоянному току.

1.6.6 Провести многократное прямое измерение напряжения постоянного тока с помощью прибора М92А и обработать результаты наблюдений.

1.6.7 Провести многократное косвенное измерение сопротивления нагрузки методом амперметра-вольтметра с помощью приборов Ц4353 и М92А и обработать результаты наблюдений.

## **1.7 Порядок выполнения работы**

Каждая бригада выполняет работу по номеру варианта, соответствующему номеру бригады.

Перед началом выполнения лабораторного задания проверьте наличие необходимых соединений между приборами и лабораторным макетом согласно рисунку 1.8.

В ходе выполнения лабораторного задания никакие дополнительные перекоммутации соединительных проводов не допускаются.

Все переключения режимов работы прибора М92А (установка зон А, V,  $\Omega$ ) выполнять при положении тумблера лабораторного макета «Подготовка к измерению».

1.7.1 Выполнить измерения в соответствии с пунктом 1.6.1 задания к лабораторной работе.

1.7.1.1 Тумблер лабораторного макета установить в положение «Подготовка к измерению». Подготовить к работе источник питания универсальный согласно разделу Д.3 приложения Д. Подготовить приборы Ц4353 и М92А к измерению тока в соответствии с подразделом А.4.1 и пунктами А.4.2.1, А.4.2.2 приложения А и пунктом Б.3.1.1 приложения Б.

1.7.1.2 Включить колодку «Схема 1.  $I_{И}$  – Ц4353» в разъем лабораторного макета. При этом загорается светодиод, индицирующий собранную схему (см. рисунок 1.9).

1.7.1.3 Тумблер лабораторного макета установить в положение «Измерение». Выставить на источнике питания универсальном напряжении  $U_{ИП1}$ , заданное в таблице 1.4, согласно разделу Д.4 приложения Д. Установить переключатель «Нагрузка» в положение  $N_1$ , заданное в таблице 1.4. Измерить ток  $I_{И}$  с помощью прибора Ц4353 согласно пункту А.4.2.3 приложения А. Выставить напряжение  $U_{ИП2}$ , установив переключатель «Нагрузка» в положение  $N_2$ , заданное в таблице 1.4, и измерить ток  $I_{И}$ . Результаты измерений и пределы, на которых они выполнены, занести в таблицу 1.5. Тумблер лабораторного макета установить в положение «Подготовка к измерению». Ручку ПЛАВНО УСТАН. НАПРЯЖ. источника питания универсального повернуть влево до упора.

Таблица 1.4

Номер бригады (вариант)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номера нагрузок	$N_1$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	$N_2$	6	7	8	9	10	7	6	10	9	8
	$N_3$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{ИП1}$ , В		5	10	4	5	7	4	8	3	4	6
$U_{ИП2}$ , В		3	4	3	4	1	3	2	2	1	2
$U_{ИП3}$ , В		10	11	13	14	15	12	12	13	14	15
$U_{ИП4}$ , В		2	3	4	5	6	3	2	6	4	5
$R_{МС}$ , кОм		0,6	0,8	1	3	5	8	0,8	0,5	2	3
		4	6	10	15	18	15	18	10	12	6
		25	30	40	50	60	80	40	30	50	25
$U_1$ , В		8	6	4	4	6	4	2	3	3	2
$U_2$ , В		10	8	6	8	12	12	3	6	8	2,5
$U_3$ , В		12	15	10	12	15	15	6	8	12	3
$R_1$ , кОм		0,5	0,5	1	1	0,5	1	2	3	5	10
$R_2$ , кОм		1	2	2	2	3	5	5	5	10	20
$R_3$ , кОм		2	5	5	3	5	10	10	10	20	100
$n_1$		15	17	19	21	23	23	21	19	17	15
$P_d$		0,95	0,99	0,95	0,99	0,95	0,99	0,95	0,99	0,95	0,99
$n_2$		23	21	19	17	15	15	17	19	21	23

1.7.1.4 Рассчитать инструментальную относительную  $\delta$ , методическую  $\delta_I$  погрешности измерения тока с помощью прибора Ц4353, поправку  $q_I$ , действительное значение тока  $I$ , используя формулы (1.18), (1.11), (1.12) и данные таблиц 1.1, 1.2, А.1. Результаты расчетов занести в таблицу 1.5.

1.7.1.5 Включить колодку «Схема 2.  $I_{И} - M92A$ » в разъем лабораторного макета (см. рисунок 1.10).

1.7.1.6 Тумблер лабораторного макета установить в положение «Измерение» и измерить ток  $I_{И}$  прибором M92A при тех же значениях  $U_{ИП1}$ ,  $U_{ИП2}$  и положениях переключателя «Нагрузка», что и в подпункте 1.7.1.3, согласно пункту Б.3.1.2 приложения Б. Результаты измерений и пределы, на которых они выполнены, занести в таблицу 1.5.

Таблица 1.5

Ц4353	Номер нагрузки	Предел измерения	$I_{И}$ , мА	$\delta$ , %	$\delta_I$ , %	$q_I$ , мА	$I$ , мА
	$R_H =$	$R_A =$ , $I_{пр} =$					
	$R_H =$	$R_A =$ , $I_{пр} =$					
M92A	Номер нагрузки	Предел измерения	$I_{И}$ , мА	$\Delta$ , мА	$\delta_I$ , %	$q_I$ , мА	$I$ , мА
	$R_H =$	$R_A =$ , $I_{пр} =$					
	$R_H =$	$R_A =$ , $I_{пр} =$					

1.7.1.7 Рассчитать инструментальную абсолютную  $\Delta$ , методическую  $\delta_I$  погрешности измерений тока с помощью прибора M92A, поправку  $q_I$  и действительные значения тока  $I$ , используя формулы (1.11), (1.12) и данные таблиц 1.1, 1.2, Б.1.

1.7.2 Выполнить измерения в соответствии с пунктом 1.6.2 задания к лабораторной работе.

1.7.2.1 Тумблер лабораторного макета установить в положение «Подготовка к измерению». Ручку ПЛАВНО УСТАН. НАПРЯЖ. источника питания универсального повернуть влево до упора. Подготовить приборы Ц4353 и M92A к измерению напряжения согласно подразделу А.4.1 и пунктам А.4.3.1, А.4.3.2 приложения А и пункту Б.3.2.1 приложения Б.

1.7.2.2 Включить колодку «Схема 4.  $U_{И} - Ц4353$ » в разъем лабораторного макета (см. рисунок 1.12).

1.7.2.3 Тумблер лабораторного макета установить в положение «Измерение». Выставить на источнике питания универсальном напряжение  $U_{ИП3}$ , заданное в таблице 1.4. Установить переключатель «Нагрузка» в положение  $N_2$ , заданное в таблице 1.4. Измерить напряжение  $U_{И}$  с помощью прибора Ц4353 согласно пункту А.4.3.3 приложения А. Выставить напряжение  $U_{ИП4}$ , установить переключатель «Нагрузка» в положение  $N_1$ , заданное в таблице 1.4, и измерить напряжение  $U_{И}$ . Результаты измерений и пределы, на которых они выполнены, занести в таблицу 1.6. Тумблер установить в положение «Подготовка к измерению». Ручку ПЛАВНО УСТАН. НАПРЯЖ. источника питания универсального повернуть влево до упора.

1.7.2.4 Рассчитать инструментальную относительную  $\delta$ , методическую  $\delta_U$  погрешности измерений напряжения с помощью прибора Ц4353, по-

правку  $q_U$  и действительное значение напряжения  $U$ , используя формулы (1.18), (1.13), (1.14), данные таблиц 1.1, 1.2, А.1. Результаты расчетов занести в таблицу 1.6.

1.7.2.5 Включить колодку «Схема 5.  $U_{II}$  – М92А» в разъем лабораторного макета (см. рисунок 1.13).

Таблица 1.6

Ц4353	Номер нагрузки	Предел измерения	$U_{II}$ , В	$\delta$ , %	$\delta_U$ , %	$q_U$ , В	$U$ , В
	$R_H =$	$R_V =$ , $U_{пр} =$					
	$R_H =$	$R_V =$ , $U_{пр} =$					
М92А	Номер нагрузки	Предел измерения	$U_{II}$ , В	$\Delta$ , В	$\delta_U$ , %	$q_U$ , В	$U$ , В
	$R_H =$	$R_V =$ , $U_{пр} =$					
	$R_H =$	$R_V =$ , $U_{пр} =$					

1.7.2.6 Тумблер лабораторного макета установить в положение «Измерение» и измерить напряжение  $U_{II}$  прибором М92А при тех же значениях  $U_{III3}$ ,  $U_{III4}$  и положениях переключателя «Нагрузка», что и в подпункте 1.7.2.3, согласно пункту Б.3.2.2 приложения Б. Результаты измерений занести в таблицу 1.6.

1.7.2.7 Рассчитать инструментальную абсолютную  $\Delta$ , методическую  $\delta_U$  погрешности измерения напряжений с помощью прибора М92А, поправку  $q_U$  и действительное значение напряжения  $U$ , используя формулы (1.13), (1.14), данные таблиц 1.1, 1.2, Б.1. Результаты расчетов занести в таблицу 1.6.

1.7.3 Выполнить измерения в соответствии с пунктом 1.6.3 задания к лабораторной работе.

1.7.3.1 Тумблер лабораторного макета установить в положение «Подготовка к измерению». Подготовить приборы Ц4353 и М92А к измерению сопротивлений согласно подразделу А.4.1, и пункту А.4.4.1 приложения А и пункту Б.3.3.1 приложения Б.

1.7.3.2 Включить колодку «Схема 7.  $R_{II}$  – Ц4353» в разъем лабораторного макета (см. рисунок 1.15).

1.7.3.3 Тумблер лабораторного макета установить в положение «Измерение». Произвести калибровку прибора на установленном согласно пункту А.4.4.1 приложения А пределе измерения сопротивления. Для этого на магазине сопротивлений МСР-63 воспроизводится сопротивление 0 Ом (это соответствует короткому замыканию зажимов «\*» и «V, mA,  $\Omega$ ,  $r_x$ ») и стрелка прибора устанавливается на 0 ручкой « $r_x$   $\rightarrow$  nF». Провести измерение сопротивления  $R_{II}$  с помощью прибора Ц4353 согласно пункту А.4.4.3 приложения А для трех значений сопротивлений  $R_{МС}$ , заданных в таблице 1.4 и воспроизведенных с помощью магазина сопротивлений МСР-63. Результаты измерений и пределы,

на которых они проведены, занести в таблицу 1.7. Тумблер лабораторного макета установить в положение «Подготовка к измерению».

1.7.3.4 Рассчитать относительную  $\delta_{\text{ГМС}}$  и абсолютную  $\Delta_{\text{ГМС}}$  погрешности воспроизведения сопротивления с помощью магазина сопротивлений МСР-63, используя формулы (В.1) приложения В, (1.18), инструментальные относительную  $\delta_r$  и абсолютную  $\Delta_r$  погрешности измерения сопротивления с помощью прибора Ц4353, используя формулы (А.1) приложения А, (1.18) и данные таблицы А.1. Результаты расчетов занести в таблицу 1.7.

Таблица 1.7

Ц4353	$R_{\text{МС}}, \text{кОм}$	Предел измерения	$R_{\text{И}}, \text{кОм};$ $l_{\text{И}}, \text{мм}$	$\delta_{\text{ГМС}}, \%$	$\Delta_{\text{ГМС}},$ кОм	$\delta_r, \%$	$\Delta_r,$ кОм
М92А	$R_{\text{МС}}, \text{кОм}$	Предел измерения	$R_{\text{И}}, \text{кОм}$		$\delta_r, \%$	$\Delta_r, \text{кОм}$	

1.7.3.5 Включить колодку «Схема 8.  $R_{\text{И}} - \text{М92А}$ » в разъем лабораторного макета (см. рисунок 1.16).

1.7.3.6 Тумблер лабораторного макета установить в положение «Измерение» и провести измерение сопротивления  $R_{\text{И}}$  с помощью прибора М92А согласно пункту Б.3.3.2 приложения Б для трех значений сопротивлений  $R_{\text{МС}}$ , заданных в таблице 1.4 и воспроизведенных с помощью магазина сопротивлений МСР-63. Результаты измерений занести в таблицу 1.7.

1.7.3.7 Рассчитать инструментальные  $\Delta_r$  и  $\delta_r$  погрешности измерения сопротивления с помощью прибора М92А, используя данные таблицы Б.1 и формулы (1.18).

1.7.4 Выполнить измерения в соответствии с пунктом 1.6.4 задания к лабораторной работе.

1.7.4.1 Тумблер установить в положение «Подготовка к измерению». Ручку ПЛАВНО УСТАН. НАПРЯЖ. источника питания универсального повернуть влево до упора. Подготовить к работе прибор В7-34 (раздел Г.3 приложения Г) и к измерению напряжения прибор Ц4353. Установить переключатель «Нагрузка» в положение «1».

1.7.4.2 Включить колодку «Схема 6.  $U_{\text{И}} - \text{Ц4353. } U_0 - \text{В7-34}$ » в разъем лабораторного макета (см. рисунок 1.14).

1.7.4.3 Тумблер лабораторного макета установить в положение «Измерение». Ручкой ПЛАВНО УСТАН. НАПРЯЖ. источника питания универсального установить стрелку прибора Ц4353 на отметку, соответствующую

напряжению  $U_1$ , заданному в таблице 1.4. Произвести измерение напряжение  $U_{O1}$  с помощью прибора В7-34 с точностью до третьего знака после запятой согласно разделу Г.4 приложения Г. Повторить измерения для напряжений  $U_2$  и  $U_3$ , заданных в таблице 1.4. Результаты измерений занести в таблицу 1.8.

1.7.4.4 Рассчитать абсолютную  $\Delta_U$ , относительную  $\delta_U$  и приведенную  $\gamma_U$  погрешности прибора Ц4353, используя формулы (1.15), (1.16), (1.17), а также инструментальные относительную  $\delta_{OU}$  и абсолютную  $\Delta_{OU}$  погрешности прибора В7-34, используя формулы (Г.1) приложения Г, (1.18). Результаты занести в таблицу 1.8.

Таблица 1.8

Номер точки	$U, В$	$U_0, В$	$\Delta_U, В$	$\delta_U, \%$	$\gamma_U, \%$	$\delta_{OU}, \%$	$\Delta_{OU}, В$
1							
2							
3							

1.7.5 Выполнить измерения в соответствии с пунктом 1.6.5 задания к лабораторной работе.

1.7.5.1 Тумблер установить в положение «Подготовка к измерению». Ручку ПЛАВНО УСТАН. НАПРЯЖ. источника питания универсального повернуть влево до упора.

1.7.5.2 Подготовить к измерению сопротивления прибор Ц4353 и прибор В7-34 (раздел Г.3 приложения Г).

1.7.5.3 Включить колодку «Схема 7.  $R_{II}$  – Ц4353» в разъем лабораторного макета (см. рисунок 1.15).

1.7.5.4 Тумблер лабораторного макета установить в положение «Измерение». Произвести калибровку прибора на установленном пределе измерения, выполнив операции, приведенные в подпункте 1.7.3.3. Изменяя сопротивление магазина МСР-63, установите стрелку прибора Ц4353 на отметку, соответствующую сопротивлению  $R_1$ , заданному в таблице 1.4.

1.7.5.5 Вместо колодки «Схема 7.  $R_{II}$  – Ц4353» включить в разъем лабораторного макета колодку «Схема 9.  $R_0$  – В7-34» (см. рисунок 1.17). Произвести измерение сопротивления  $R_0$  магазина МСР-63 с помощью прибора В7-34 с точностью до третьего знака после запятой согласно разделу Г.4 приложения Г. Результаты измерений занести в таблицу 1.9.

Таблица 1.9

Номер точки	$R, кОм$	$R_0, кОм$	$\Delta_r, кОм$	$\delta_r, \%$	$\gamma_r, \%$	$\delta_{Or}, \%$	$\Delta_{Or}, кОм$
1							
2							
3							

1.7.5.6 Повторить операции, приведенные в подпунктах 1.7.5.3–1.7.5.5, для сопротивлений  $R_2$  и  $R_3$ .

1.7.5.7 Рассчитать абсолютную  $\Delta_r$ , относительную  $\delta_r$  и приведенную  $\gamma_r$  погрешности прибора Ц4353, используя формулы (1.15), (1.16), (1.17), а также инструментальные относительную  $\delta_{or}$  и абсолютную  $\Delta_{or}$  погрешности прибора В7-34, используя формулы (Г.2) приложения Г, (1.18). Результаты расчетов занести в таблицу 1.9.

1.7.6 Выполнить измерения в соответствии с пунктом 1.6.6 задания к лабораторной работе.

1.7.6.1 Тумблер установить в положение «Подготовка к измерению». Ручку ПЛАВНО УСТАН. НАПРЯЖ. источника питания универсального повернуть влево до упора. Подготовить прибор М92А к измерению напряжения.

1.7.6.2 Включить колодку «Схема 5.  $U_{И}$  – М92А» в разъем лабораторного макета (см. рисунок 1.13). Тумблер лабораторного макета установить в положение «Измерение». Установить переключатель «Нагрузка» в положение 1.

1.7.6.3 Выставить на источнике питания универсальном напряжение  $U_{ИПЗ}$ , заданное в таблице 1.4. Измерить напряжение  $U_{И}$  с помощью прибора М92А и результат занести в таблицу 1.10. Ручку ПЛАВНО УСТАН. НАПРЯЖ. источника питания универсального повернуть влево до упора.

1.7.6.4 Повторить операции по подпункту 1.7.6.3  $n_1$  раз, где  $n_1$  приведена в таблице 1.4.

1.7.6.5 Обработать результаты прямых многократных измерений напряжения в соответствии с рекомендациями, приведенными в [1, 2, 4]. Алгоритм обработки привести в отчете по лабораторной работе. Доверительная вероятность  $P_d$  выбирается из таблицы 1.4. Результат измерений представить в форме, соответствующей требованиям ТНПА, и занести в таблицу 1.10.

Таблица 1.10

Номер измерения	1	2	...	$i$	...	$n_1-1$	$n_1$
$U_{И}$ , В							
Результат измерения	$U_{И} = \dots;$			$P_d = \dots$			

1.7.7 Выполнить измерения в соответствии с пунктом 1.6.7 задания к лабораторной работе.

1.7.7.1 Тумблер установить в положение «Подготовка к измерению». Ручку ПЛАВНО УСТАН. НАПРЯЖ. источника питания универсального повернуть влево до упора. Подготовить прибор Ц4353 к измерению тока и прибор М92А к измерению напряжения.

1.7.7.2 Включить колодку «Схема 3.  $I_r$  – Ц4353.  $U_r$  – М92А» в разъем лабораторного макета (см. рисунок 1.11). Тумблер лабораторного макета установить в положение «Измерение». Установить переключатель «Нагрузка» в положение  $N_3$ , заданное в таблице 1.4.

1.7.7.3 Выставить на источнике питания универсальном напряжение  $U_{\text{ИПЗ}}$ , заданное в таблице 1.4. Измерить ток  $I_r$  с помощью прибора Ц4353 и напряжение  $U_r$  с помощью прибора М92А и результаты измерений занести в таблицу 1.11. Ручку ПЛАВНО УСТАН. НАПРЯЖ. источника питания универсального повернуть влево до упора.

1.7.7.4 Повторить операции по подпунктам 1.7.7.3  $n_2$  раз, где  $n_2$  приведено в таблице 1.4.

1.7.7.5 Обработать результаты косвенных многократных измерений сопротивления нагрузки в соответствии с рекомендациями, приведенными в [1, 2, 3]. Алгоритм обработки привести в отчете по лабораторной работе. Доверительная вероятность  $P_d$  выбирается из таблицы 1.4. Результат измерений представить в форме, соответствующей требованиям ГНПА, и занести в таблицу 1.11.

Таблица 1.11

Номер измерения	1	2	...	$i$	...	$n_2-1$	$n_2$
$I_r$ , мА							
$U_r$ , В							
Результат измерения	$R_{\text{И}} = \dots;$			$P_d = \dots$			

## 1.8 Контрольные вопросы

1 Поясните принцип действия, разновидности конструкции, достоинства и недостатки МЭИМ.

2 Поясните способы расширения пределов измерения по току комбинированного магнитоэлектрического прибора, приведите формулы для вычисления сопротивления шунта ( $R_{\text{Ш}}$ ) и внутреннего сопротивления амперметра ( $R_{\text{А}}$ ).

3 Поясните способы расширения пределов измерения по напряжению комбинированного магнитоэлектрического прибора, приведите формулы для вычисления сопротивления добавочного резистора ( $R_{\text{Д}}$ ) и внутреннего сопротивления вольтметра ( $R_{\text{V}}$ ).

4 Поясните принцип действия омметров, выполненных на базе МЭИМ по последовательной и параллельной схемам.

5 Поясните влияние уровня напряжения источника питания на градуировку отсчетных шкал комбинированного магнитоэлектрического прибора в режиме измерения сопротивления.

6 Поясните принцип измерения сопротивлений с использованием метода амперметра-вольтметра.

7 Поясните причину возникновения методической погрешности в режиме измерения тока с помощью комбинированного магнитоэлектрического прибора.

8 Поясните причину возникновения методической погрешности в режиме измерения напряжения с помощью комбинированного магнитоэлектрического прибора.

9 Поясните причину возникновения методической погрешности при измерении сопротивления методом амперметра-вольтметра.

10 Поясните структуру комбинированных цифровых измерительных приборов.

11 Охарактеризуйте особенности различных методов аналого-цифрового преобразования: времяимпульсного, частотно-импульсного и кодово-импульсного.

12 Поясните, что такое абсолютная, относительная и приведенная погрешности приборов, и как приведенная погрешность определяется для разных видов шкал.

13 Поясните, что такое класс точности приборов и как осуществляется поверка приборов.

14 Приведите алгоритм обработки результатов наблюдений при прямом измерении напряжения.

15 Приведите алгоритм обработки результатов наблюдений при косвенном измерении сопротивления методом амперметра-вольтметра.

Библиотека БГУИР

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА МИ–2 ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТНЫХ И ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ ЦИФРОВЫМ ЧАСТОТОМЕРОМ

### 2.1 Цель работы

2.1.1 Изучение цифровых методов измерения частоты и периода электрических сигналов.

2.1.2 Изучение цифровых методов измерения длительности импульса и отношения частот.

2.1.3 Изучение частотомера ЧЗ-63 и приобретение практических навыков работы с ним.

### 2.2 Краткие теоретические сведения

Основными частотно-временными параметрами электрических сигналов являются период –  $T$ , частота –  $f$ , длительность импульса –  $\tau$ .

**Период** – наименьший интервал времени, через который повторяются мгновенные значения сигнала  $U(t) = U(t+T)$ , для любого произвольного момента времени  $t$ .

**Частота** – определяется как число идентичных событий (например периодов) в единицу времени, т. е. это величина, обратная периоду  $f = 1/T$ .

**Длительность импульса** – интервал времени, в течение которого мгновенные значения импульсного сигнала не превышают уровень 0,5 от амплитудного значения.

Кроме перечисленных параметров, импульсные сигналы иногда характеризуются **скважностью**, которая определяется отношением  $Q = T/\tau$ .

Приборы для измерения частоты и времени образуют подгруппу Ч, а для измерения только интервалов времени – подгруппу И. Достаточно подробная классификация методов измерения частоты и времени дана, например в [1, 2].

В рамках данной работы изучается лишь наиболее распространенный метод – электронно-счетный (цифровой). Приборы, реализующие этот метод (вид ЧЗ), имеют весьма высокую точность и при этом компактны, надежны, технологичны и просты в управлении. Благодаря тому, что при измерении различных частотно-временных параметров этим методом требуются однотипные электронные блоки, приборы ЧЗ универсальны и обычно позволяют измерять несколько величин. Цифровые частотомеры, как правило, весьма широкополосные. Их частотный диапазон «вверх» ограничен лишь быстродействием элементной базы.

Принцип действия цифрового частотомера основан на определении частоты, приведенном ранее. Структурная схема, реализующая этот принцип, приведена на рисунке 2.1, а временные диаграммы, поясняющие ее работу, на рисунке 2.2.

Сигнал  $U_x(t)$ , частота которого измеряется, подается через входное устройство (ВхУ) на формирующее устройство (ФУ), где преобразуется в импульс-

сы (эпюра 1, рисунок 2.2) с той же частотой. Амплитуда этих импульсов не зависит от амплитуды и формы входного сигнала.

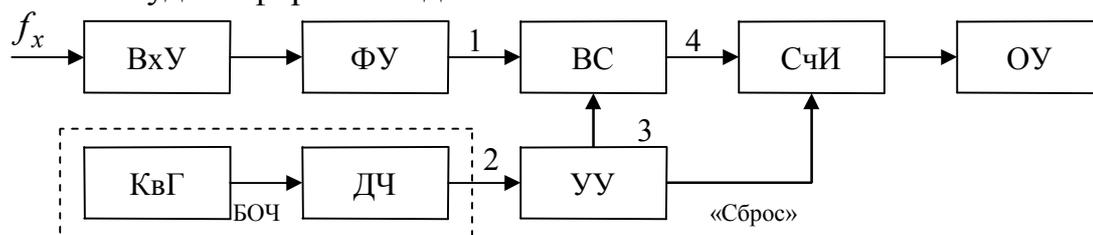


Рисунок 2.1 – Структурная схема цифрового метода измерения частоты

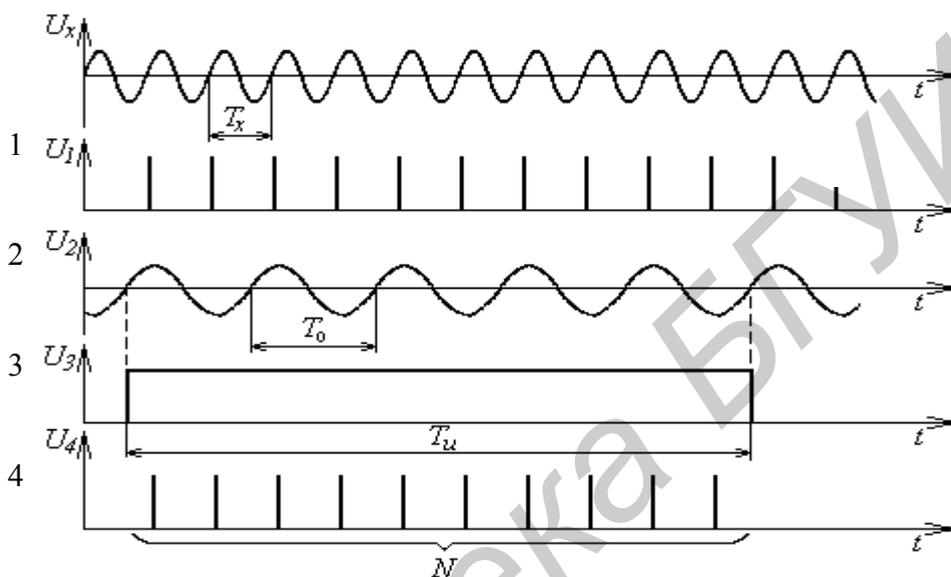


Рисунок 2.2 – Временные диаграммы цифрового метода измерения частоты

В блоке опорных частот (БОЧ) формируется сигнал с периодом, равным единице времени и соответствующим времени измерения  $T_{и}$  (эпюра 2, рисунок 2.2). В связи с тем, что  $T_{и}$  является мерой времени, от его точности и стабильности будет зависеть точность измерений. Поэтому БОЧ состоит из высокостабильного кварцевого генератора (КвГ) и системы делителей частоты (ДЧ).

Устройство управления (УУ) формирует из сигнала БОЧ импульс длительностью  $T_{и}$  (эпюра 3, рисунок 2.2), которым открывается временной селектор (ВС). ВС представляет собой электронный ключ, при открывании которого на счетчик импульсов (СчИ) поступают импульсы от ФУ (эпюра 4, рисунок 2.2). Так как перед измерением СчИ устанавливается на «ноль», то по окончании интервала  $T_{и}$  на него поступит  $N$  импульсов, где

$$N_f = \frac{T_{и}}{T_x} = T_{и} \cdot f_x. \quad (2.1)$$

Следовательно,  $N_f$  прямо пропорционально  $f_x$ . Например, при  $T_{и} = 1$  с,  $N_f = 1$  будет соответствовать частоте в 1 Гц. Состояние СчИ индицируется в десятичной форме отсчетным устройством (ОУ). Емкость счетчика ограничивает максимально измеряемое значение частоты, т. е. определяет предел измерения. Изменить его можно установкой  $T_{и} = 10^m$  с, где  $m = 2, 1, 0, -1, -2, \dots$ . При этом

правильный отсчет обеспечится путем переноса десятичной точки на табло ОУ, что эквивалентно умножению или делению на 10. Схемно это реализуется изменением коэффициента деления ДЧ в БОЧ.

Источниками погрешности являются нестабильность частоты КвГ и погрешность дискретности. Погрешность дискретности обуславливается тем, что счетчик считает лишь целое число импульсов, и поэтому равенство (2.1) справедливо с точностью до целого. Максимальная абсолютная погрешность при этом не превышает одного импульса. Относительная погрешность равна  $1/N_f$ . Результирующая относительная погрешность

$$\delta_f = \pm \left( \delta_0 + \frac{1}{N_f} \right) = \pm \left( \delta_0 + \frac{1}{T_{И} \cdot f_X} \right), \quad (2.2)$$

где  $\delta_0$  – относительная нестабильность частоты КвГ.

Как следует из формулы (2.2), с увеличением  $f_X$  погрешность дискретности стремится к нулю. Поэтому при измерении высоких частот преобладает первая составляющая погрешности, а при низких – вторая. Кроме того, видно, что одним из способов уменьшения погрешности измерения низких и инфранизких частот является увеличение времени измерения  $T_{И}$ . Однако при  $T_{И} > 1$  с оператор вынужден длительное время ожидать результат, что создает неудобство в работе. К другим способам уменьшения погрешности дискретности относятся умножение частоты входного сигнала и применение электронного ноуниуса (верньерный способ). Первый из этих способов технически трудно реализуем на низких частотах, а второй широко используется разработчиками частотомеров. Наиболее часто на практике используют переход от измерения частоты к измерению периода.

Действительно, из формулы (2.1) видно, что количество импульсов, поступивших на счетчик, прямо пропорционально времени открывания селектора. Поэтому, открывая ВС на время измеряемого периода  $T_x$  и используя для счета импульсы известной частоты  $f_0$ , получим  $N$ , соответствующее неизвестному периоду. Этот алгоритм реализуется структурной схемой на рисунке 2.3, а ее работа поясняется временными диаграммами (рисунок 2.4).

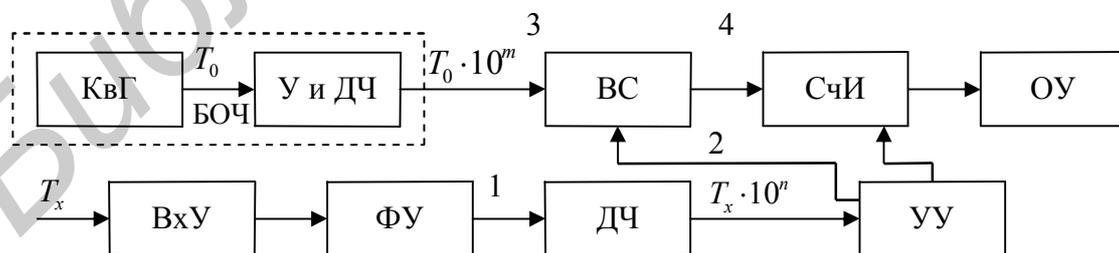


Рисунок 2.3 – Структурная схема цифрового метода измерения периода  $T_x$

Сигнал  $U(t)$  с периодом  $T_x$  преобразуется в импульсы с тем же периодом в ФУ (эпюра 1, рисунок 2.4) и поступает на ДЧ с коэффициентом деления  $10^n$  ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ), который выбирается оператором (временные диаграммы изображены для  $n = 0$ ). В УУ формируется импульс (эпюра 2, рисунок 2.4), откры-

вающий на время  $T_x \cdot 10^n$  селектор. В БОЧ вырабатываются импульсы с периодом  $T_0$ , которые через систему делителей и умножителей частоты (УиДЧ) с коэффициентом преобразования  $10^m$  ( $m = -1, 0, 1, 2, \dots$ ) (эюра 3, рисунок 2.4) поступают через ВС на СЧИ (эюра 4, рисунок 2.4).

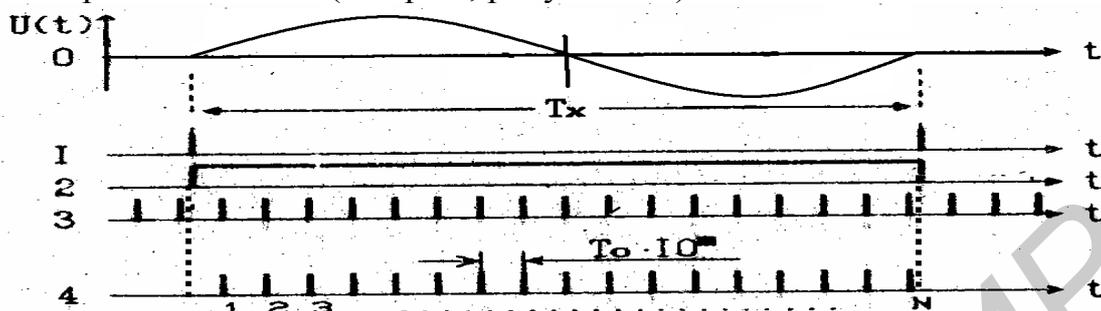


Рисунок 2.4 – Временные диаграммы цифрового метода измерения периода

Количество импульсов

$$N_T = \frac{T_x \cdot 10^n}{T_0 \cdot 10^m} = T_x \cdot 10^{n-m} \cdot f_0 \quad (2.3)$$

пропорционально измеряемому периоду. При  $f_0 = 10\text{МГц}$   $N_T$  с коэффициентом  $10^{n-m=7}$  равно периоду в секундах. Отсчет в миллисекундах или микросекундах получается переносом десятичной точки в ОУ.

Источники погрешности аналогичны измерению частоты. На низких частотах ( $T_x$  достаточно велик) погрешность дискретности стремится к нулю и доминирует погрешность из-за нестабильности периода  $T_0$ . На высоких же частотах ( $T_x$  мало)  $\delta_0$  становится пренебрежимо малой. Поэтому повысить точность измерения можно уменьшением периода  $T_0$  ( $m = -1$ ) или измерением не одного, а  $n$  периодов сигнала ( $n > 0$ ) с последующим усреднением. Кроме того, уменьшить погрешность дискретности можно применением электронного нониуса.

Измерение длительности импульса практически аналогично измерению периода (обе величины являются временными интервалами). Однако из схемы на рисунке 2.3 следует исключить ДЧ, т. к. при  $n \neq 0$  сигнал после ДЧ будет иметь длительность, не связанную с измеряемой. Количество счетных импульсов, поступивших на счетчик, при этом будет

$$N_\tau = \frac{\tau_x}{T_0 \cdot 10^m} = \tau_x \cdot f_0 \cdot 10^{-m} \quad (2.4)$$

Источники погрешности оцениваются аналогично измерению периода. Однако при этом следует отметить, что при длительности фронта и среза измеряемого импульса, сравнимого с  $f_0$ , появляется дополнительная погрешность.

Для измерения отношения частот можно использовать схему рисунка 2.1 с небольшими изменениями. Действительно, если в точку 1 схемы подать импульсы с более высокой частотой  $f_1$ , а в точку 2 с более низкой  $f_2$ , то, как это следует из формулы (2.1), количество импульсов, поступивших на СЧИ, будет

$$N = \frac{T_2}{T_1} = \frac{f_1}{f_2}, \quad (2.5)$$

т. е.  $N$  равно отношению частот.

## 2.3 Приборы, используемые при выполнении работы

2.3.1 Частотомер электронно-счетный ЧЗ-63 или ЧЗ-63/1 (приложение Е).

2.3.2 Лабораторный макет.

## 2.4 Описание лабораторного макета

Лабораторный макет предназначен для формирования импульсных ТТЛ сигналов. Внешний вид макета приведен на рисунке 2.5. Макет имеет два выхода «ВЫХ.0» и «ВЫХ.1», переключатели ВАРИАНТ, НОМЕР ТОЧКИ, РЕЖИМ, выключатель сети и индикатор включения сети СЕТЬ.

Переключатель ВАРИАНТ предназначен для установки варианта задания в соответствии с номером бригады. Переключатель НОМЕР ТОЧКИ имеет четыре положения и предназначен для выбора объекта измерения. С помощью переключателя РЕЖИМ выбирается вид измеряемой величины. Первое положение « $f$ » соответствует измерению частоты, второе « $\tau, T$ » – измерению длительности и периода импульсов, третье « $T_1$ » – режиму измерения периода  $T$  при измерении скважности  $Q$  для вариантов (1–4), четвертое « $T_2$ » – режиму измерения периода  $T$  при измерении скважности  $Q$  для вариантов (5–8), пятое « $f_0/f_1$ » – режиму измерения отношения частот. Основным рабочим выходом макета является «ВЫХ.1», на котором присутствует выходной сигнал во всех режимах работы макета. Выход «ВЫХ.0» используется только при измерении отношения частот. При этом между выходами макета включен цифровой делитель частоты. Более высокая частота на «ВЫХ.0». Питание макета включается тумблером СЕТЬ.

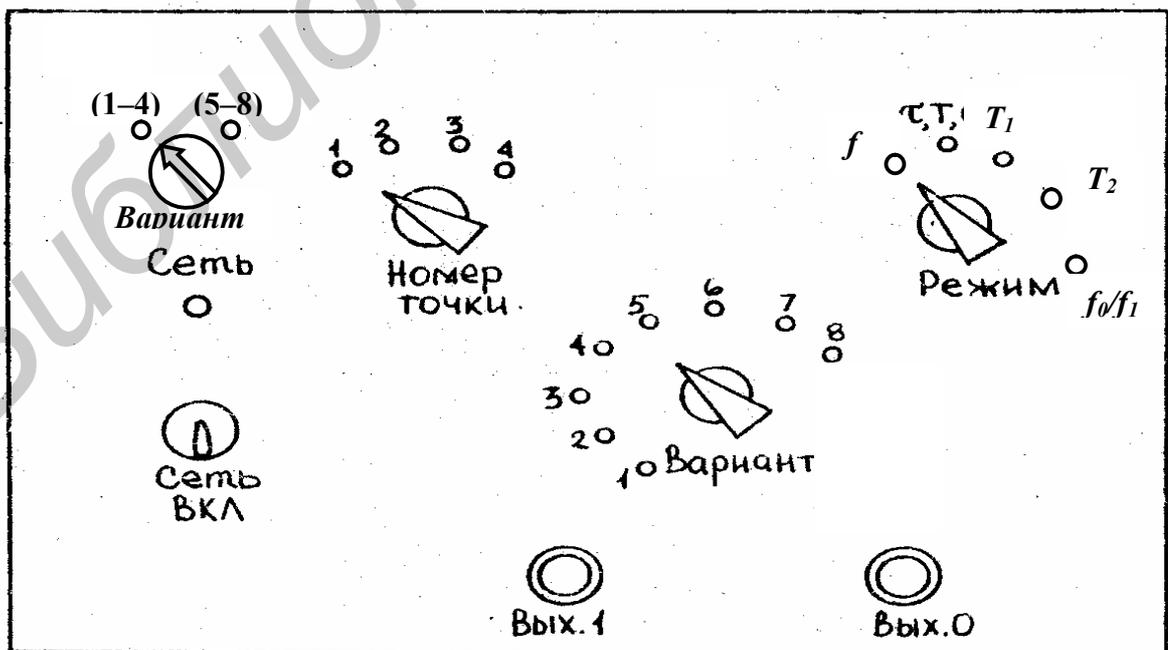


Рисунок 2.5 – Внешний вид макета

## 2.5 Подготовка к выполнению работы

2.5.1 По рекомендуемой литературе изучить принцип действия электронно-счетного частотомера и его работу в режимах измерения различных параметров.

2.5.2 По приложению Е изучить частотомер ЧЗ-63 (ЧЗ-63/1), его технические характеристики, проведение измерений с его помощью и оценку инструментальной погрешности.

2.5.3 Сделать заготовку отчета (одну на бригаду) в соответствии с требованиями раздела «Содержание отчета» настоящих методических указаний и лабораторным заданием.

2.5.4 Ответить на контрольные вопросы.

2.5.5 Вывести формулы для оценки абсолютной и относительной погрешностей косвенных измерений скважности.

## 2.6 Задания к лабораторной работе

2.6.1 Измерить частоты и периоды электрических сигналов.

2.6.2 Проанализировать влияние режимов работы частотомера и значений измеряемых частот и периодов на погрешность измерения.

2.6.3 Измерить длительности, периоды следования импульсов и определить их скважность.

2.6.4 Измерить отношения частот.

## 2.7 Порядок выполнения работы

2.7.1 Выполнить измерения в соответствии с пунктом 2.6.1 задания к лабораторной работе. Измерения проводить в следующей последовательности.

2.7.1.1 Подготовить к работе частотомер ЧЗ-63 в соответствии с приложением Е.

2.7.1.2 Установить переключатели макета:

– ВАРИАНТ – в положение номера бригады;

– РЕЖИМ – в положение « $f$ »;

– НОМЕР ТОЧКИ – в положение «1» и включить макет.

2.7.1.3 Измерить частоты сигналов  $f_x$  на выходе «ВЫХ.1» макета для всех четырех точек с помощью ЧЗ-63 (подраздел Е.5.2 приложения Е). Результаты измерений внести в таблицу 2.1, зафиксировав в ней время измерения.

Таблица 2.1

Номер точки	$T_{и} = 0,1 \text{ с}$			$T_{и} = 1,0 \text{ с}$		
	$f_x$ , кГц	$\delta_{f_s}$ , %	$\Delta f_s$ , кГц	$f_x$ , кГц	$\delta_{f_s}$ , %	$\Delta f_s$ , кГц
1						
2						
3						
4						

2.7.1.4 Повторить измерения  $f_x$ , увеличив время измерения в 10 раз. Результаты также включить в таблицу 2.1. Оценить инструментальную погрешность измерений в абсолютной и относительной формах.

2.7.1.5 Измерить периоды сигналов  $T_x$  (режим « $\tau, T$ ») для всех точек с помощью частотомера ЧЗ-63 (подраздел Е.5.3 приложения Е). Измерения проводить для одного периода с одинаковым периодом меток времени для всех точек. Результаты занести в таблицу 2.2, зафиксировав в ней период меток времени  $T_0$ .

2.7.1.6 Повторить измерения по подпункту 2.7.1.5, увеличив период меток времени в 10 раз.

2.7.1.7 Повторить измерения по подпунктам 2.7.1.5 и 2.7.1.6, измерив 10 периодов  $T_x$  (множитель  $10^1$ ). Результаты измерений занести в таблицу 2.2.

2.7.1.8 Оценить инструментальные погрешности измерений для всех режимов измерений  $T_x$ .

2.7.2 Проанализировать результаты, полученные в пункте 2.7.1.

2.7.2.1 Проследить влияние значения измеряемой частоты на инструментальную составляющую погрешности при различном времени измерения.

2.7.2.2 Выявить зависимость значения измеряемого периода на инструментальную составляющую погрешности при различном периоде меток времени и при различном количестве измеряемых периодов.

Таблица 2.2

Номер точки	$T_0 =$ мкс, $n = 1$			$T_0 =$ мкс, $n = 1$		
	$T_x$ , мс	$\delta_T$ , %	$\Delta T$ , мкс	$T_x$ , мс	$\delta_T$ , %	$\Delta T$ , мкс
1						
2						
3						
4						
Номер точки	$T_0 =$ мкс, $n = 10$			$T_0 =$ мкс, $n = 10$		
	$T_x$ , мс	$\delta_T$ , %	$\Delta T$ , мкс	$T_x$ , мс	$\delta_T$ , %	$\Delta T$ , мкс
1						
2						
3						
4						

2.7.2.3 Сравнить погрешности измерения частоты и периода одного и того же сигнала. Сделать выводы. Результаты анализа включить в отчет.

2.7.3 Выполнить измерения в соответствии с пунктом 2.6.3 задания к лабораторной работе. Измерения проводить в следующей последовательности.

2.7.3.1 Установить переключатели макета:

– НОМЕР ТОЧКИ – в положение «1»;

– РЕЖИМ – в положение « $T_1$ » для вариантов (1–4) или « $T_2$ » для вариантов (5–8).

2.7.3.2 Измерить период сигнала  $T$  с точностью до пяти значащих цифр и оценить погрешность измерения.

2.7.3.3 Измерить длительность импульса  $\tau_x$  для всех четырех точек (подраздел Е.5.4 приложения Е) и оценить инструментальную составляющую погрешности измерения в абсолютной и относительной формах. Результаты занести в таблицу 2.3.

2.7.3.4 Определить скважность импульсов  $Q_x$  и оценить погрешность их измерения в абсолютной и относительной формах как погрешность косвенных измерений с однократными наблюдениями. Результаты занести в таблицу 2.3.

Таблица 2.3

Номер точки	$T =$	мкс,	$\delta_T =$	%,	$\Delta_T =$	мкс
	$\tau_x$ , мс	$\delta_{\tau}$ , %	$\Delta\tau$ , мкс	$Q_x$	$\delta_{Q}$ , %	$\Delta_Q$
1						
2						
3						
4						

2.7.4 Выполнить измерения в соответствии с пунктом 2.6.4 задания к лабораторной работе. Измерения проводить в следующей последовательности.

2.7.4.1 Установить переключатель РЕЖИМ макета в положение « $f_0/f_1$ ».

2.7.4.2 Измерить отношение частот в первой точке, руководствуясь подразделом Е.5.5 приложения Е. Результат измерения занести в таблицу 2.4, указав положение переключателя МНОЖ частотомера.

2.7.4.3 Повторить измерения для остальных точек.

2.7.4.4 Оценить инструментальные погрешности измерений.

Таблица 2.4

Номер точки	$n =$			
	1	2	3	4
$f_0/f_1$				
$\delta$				

2.7.5 Согласовать с преподавателем результаты экспериментов и в случае отсутствия замечаний отключить от сети прибор и макет. Приступить к оформлению отчета.

## 2.8 Контрольные вопросы

1 Перечислите основные методы измерения частотных и временных параметров сигналов.

2 В чем суть электронно-счетного метода измерения частоты, периода, длительности импульса, отношения частот?

3 Перечислите основные источники погрешностей измерения частоты, периода, длительности импульса и отношения частот цифровым методом. По

каким формулам можно оценить каждую из составляющих погрешности этих величин?

4 Как в зависимости от значения измеряемого параметра и режимов работы частотомера изменяются составляющие погрешностей?

5 Какие существуют способы повышения точности измерения частоты и периода ВЧ- и НЧ-сигналов? В чем суть каждого способа?

6 Как оцениваются погрешности косвенных измерений с однократными наблюдениями?

Библиотека БГУИР

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА МИ-3 ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ЭЛЕКТРОННЫМИ ВОЛЬТМЕТРАМИ

### 3.1 Цель работы

3.1.1 Изучение принципов работы электронных вольтметров.

3.1.2 Изучение методов измерения напряжений электронными вольтметрами.

3.1.3 Изучение источников методических погрешностей, возникающих при измерении переменных напряжений с помощью электронных вольтметров.

3.1.4 Изучение метода поверки электронного вольтметра в части определения погрешности измерения переменного напряжения.

3.1.5 Изучение алгоритма обработки измерительной информации при многократном косвенном измерении коэффициента передачи четырехполюсника путем измерения переменных напряжений на его входе и выходе.

3.1.6 Приобретение практических навыков работы с генератором Г4-117, электронными вольтметрами В7-28, В3-38, В3-40, В4-12, осциллографом С1-72.

### 3.2 Краткие теоретические сведения

#### 3.2.1 Измерение напряжений электронными вольтметрами

В радиоэлектронике измерения напряжений весьма широко распространены. Особенности этого вида измерений обусловлены:

- широким диапазоном измеряемых величин (от долей микровольта до сотен киловольт);
- широкой областью частот (от постоянного тока до частот в тысячи МГц);
- большим многообразием форм сигналов;
- малой мощностью источников измеряемых сигналов, что требует очень высокого входного сопротивления вольтметров.

Для измерения напряжений применяют приборы подгруппы В, в которой наиболее широко применяются следующие виды вольтметров: В2 – постоянного тока, В3 – переменного тока, В4 – импульсные, В7 – универсальные. Вольтметры вида В3 дополнительно классифицируются по измеряемому параметру напряжения на вольтметры амплитудного (пиковые), среднеквадратичного и средневывпрямленного напряжения. Вольтметры постоянного тока (вид В2) реализуются по структурной схеме, приведенной на рисунке 3.1.

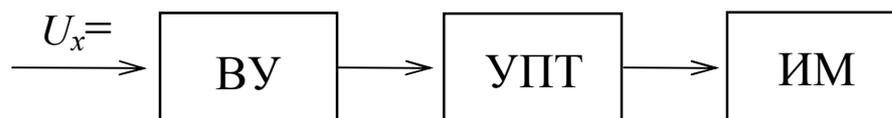


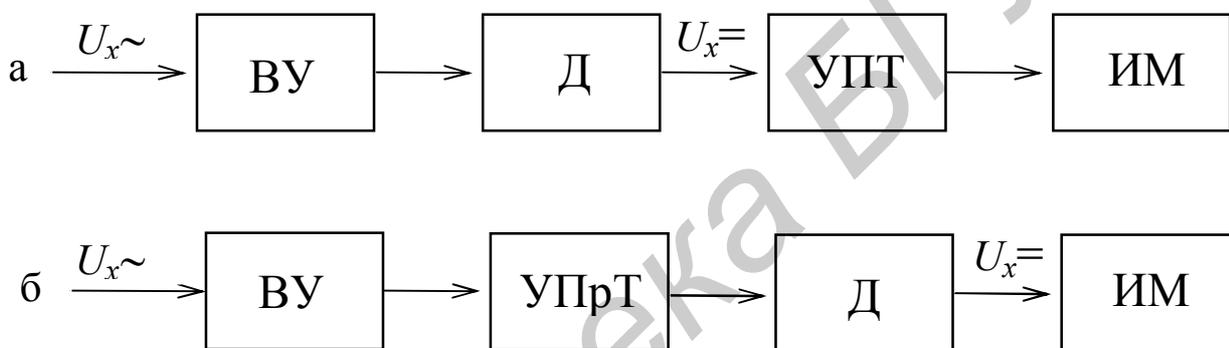
Рисунок 3.1 – Структурная схема вольтметра постоянного тока

Такой вольтметр содержит: входное устройство (ВУ), усилитель постоянного тока (УПТ) и магнитоэлектрический измерительный механизм (ИМ). ВУ представляет собой делитель измеряемого напряжения – аттенюатор, с помо-

стью которого расширяются пределы измерения вольтметра. Оно может содержать также устройства, повышающие входное сопротивление и уменьшающие входную емкость вольтметра, например, истоковый или эмиттерный повторитель. УПТ кроме усиления сигнала осуществляет согласование ВУ с ИМ.

Вольтметр (см. рисунок 3.1) может быть преобразован в вольтметр переменного тока путем включения в его состав преобразователя переменного напряжения в постоянное – детектора (Д) (рисунок 3.2, а).

В таком вольтметре сигнал переменного тока после ВУ преобразуется в постоянное напряжение, которое затем усиливается и измеряется. Возможен и другой способ построения вольтметров переменного тока: усиление осуществляется в усилителе переменного тока (УПрТ) и только затем преобразуется в постоянное (рисунок 3.2, б). Практически все вольтметры переменного тока строятся по одной из схем рисунка 3.2 или путем их комбинации. Поэтому эти схемы называются типовыми. Импульсные вольтметры реализуются обычно по первой схеме во избежание возможных искажений сигнала в УПрТ.



а – с детектором на входе; б – с детектором на выходе

Рисунок 3.2 – Структурные схемы вольтметров переменного тока

Сравнение типовых схем позволяет сделать ряд выводов об их характеристиках:

- схема с детектором на входе (см. рисунок 3.2, а) имеет более широкий диапазон частот (от 20 Гц до 500 МГц, даже до 1000–3000 МГц), но обладает низкой чувствительностью из-за дрейфа «нуля» УПТ (несколько делений на милливольт). Ограничения по верхней частоте измеряемого напряжения налагаются величиной входной емкости и частотными свойствами нелинейного элемента детектора, т. е. частотный диапазон практически не ограничен. В схеме, показанной на рисунке 3.2, б, ограничения налагаются полосой пропускания УПрТ, которую технически сложно получить шире нескольких десятков МГц;

- схема с детектором на выходе (см. рисунок 3.2, б) имеет более высокую чувствительность, ограниченную в основном собственными шумами УПрТ (они могут составлять единицы мкВ). В схеме, изображенной на рисунке 3.2, а, пороговая чувствительность ограничена порогом открывания нелинейного элемента (для кремниевых диодов 0,6...0,8 В);

– в схеме, показанной на рисунке 3.2, а, перед измерением требуется дополнительная операция – «установка нуля» УПТ, от чего свободна вторая схема. С наличием УПТ связан еще один недостаток первой схемы: возможность температурных и временных дрейфов «нуля», т. е. появление дополнительных погрешностей.

Электрические сигналы в виде напряжения принято характеризовать четырьмя основными параметрами: пиковым (амплитудным)  $U_m$ , средним  $U_0$ , средневыпрямленным  $U_{СВ}$  и среднеквадратичным  $U_{СК}$  значениями [1]. Связь между этими параметрами устанавливается с помощью безразмерных коэффициентов амплитуды  $K_a$ , формы  $K_\phi$  и усреднения  $K_y$ :

$$\begin{aligned} K_a &= \frac{U_m}{U_{СК}}; K_\phi = \frac{U_{СК}}{U_{СВ}}; \\ K_y &= K_\phi \cdot K_a = \frac{U_m}{U_{СВ}}, \end{aligned} \quad (3.1)$$

значения которых зависят от формы сигнала, приведенных в таблице 3.1. Среднее значение  $U_0$  определяет постоянную составляющую сигнала и на практике измеряется редко.

Серийные вольтметры переменного тока (вида В3) классифицируются следующим образом:

– могут иметь детекторы различных типов: среднеквадратического, средневыпрямленного или амплитудного (пикового) значения. Тип детектора определяет вид измеряемого напряжения;

– по схеме входа: детекторы с открытым и закрытым входом по постоянному напряжению;

– по характеристике детектирования: линейные и квадратичные детекторы.

Поэтому при измерении одинаковых синусоидальных сигналов показания вольтметров будут одинаковыми и равными  $U_{СК}$  при любом типе детектора. Однако при измерении одинаковых синусоидальных сигналов искаженной или отличной от синусоиды формы показания вольтметров с различными типами детекторов будут отличаться друг от друга. В этом случае для получения правильного отсчета следует учитывать градуировочное уравнение, устанавливающее связь между показаниями  $U_V$  (градуировкой) вольтметра и фактически измеряемым параметром  $U_X$ :

$$U_V = C \cdot U_X, \quad (3.2)$$

где  $C$  – градуировочный коэффициент.

Фактически измеряемый параметр в уравнении (3.2) определяется исключительно типом детектора и не зависит от формы сигнала. Очевидно, что при соответствии градуировки шкалы параметру  $U_X$  ( $C = 1$ ). При несоответствии можно определить  $C$  по известным значениям  $K_a$  и  $K_\phi$  напряжения, на котором осуществлялась градуировка.

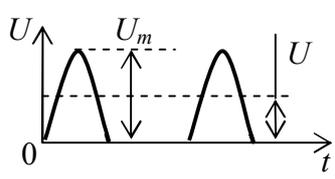
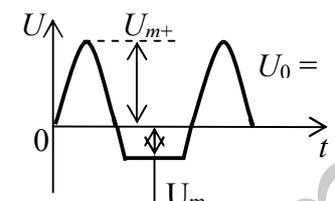
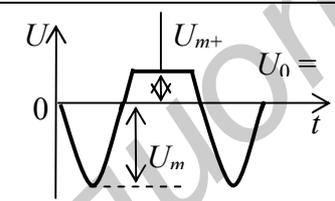
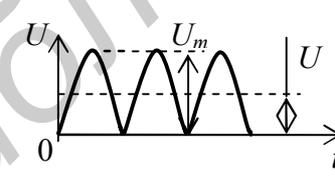
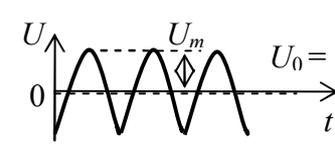
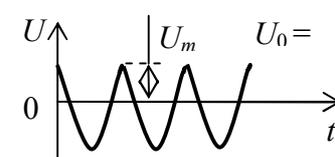
Например, для вольтметра с детектором средневыпрямленного значения фактически измеряемый параметр  $U_X = U_{СВ}$ . Так как шкала отградуирована,

$U_V = U_{CK\sin}$ , в соответствии с (3.2)  $U_{CK\sin} = C \cdot U_{CB\sin}$ . Так как напряжение градуировки – синусоида, для которой  $U_{CK} = K_\phi \cdot U_{CB} = 1,11 \cdot U_{CB}$ , получим  $C = 1,11$  и следовательно,  $U_{CB} = \frac{U_{CK}}{1,11} = U_{CK} \cdot 0,9$ .

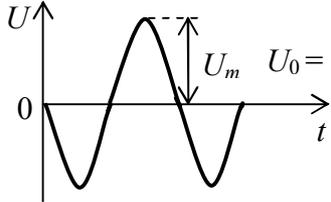
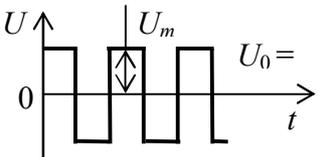
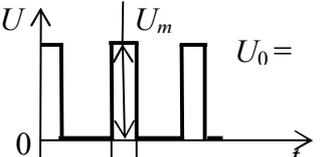
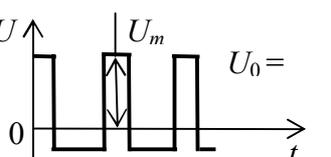
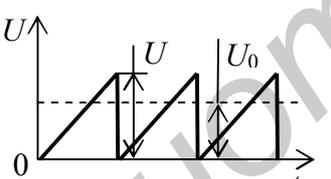
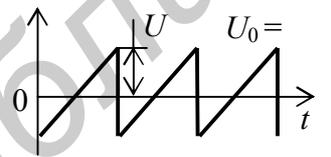
Для вольтметра с детектором амплитудного значения  $U_X = U_m$ ,  $U_V = U_{CK\sin}$ , следовательно,  $U_{CK\sin} = C \cdot U_{m\sin}$ . В то же время  $U_{CK} = U_m / K_a = U_m / \sqrt{2}$ . Поэтому  $C = 1/\sqrt{2}$  и соответственно  $U_m = \sqrt{2} \cdot U_{CK} = 1,41 \cdot U_{CK}$ .

Например, если показание вольтметра равно 100 В, то  $U_{CK} = 100$  В, а  $U_m = 141$  В и  $U_{CB} = 90$  В.

Таблица 3.1

Номер формы сигнала	Форма напряжения	$K_a$	$K_\phi$	$K_y$
1	2	3	4	5
1		2	1,57	3,14
2		1,77	1,1	1,94
3		0,83	1,1	0,91
4		1,41	1,11	1,57
5		1,18	1,15	1,36
6		2,07	1,15	2,375

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4	5
7		1,41	1,11	1,57
8		1	1	1
9	<p><math>Q</math> – скважность сигнала</p> 	$\sqrt{Q}$	$\sqrt{Q}$	$Q$
10		$\sqrt{Q-1}$	$\frac{Q}{2\sqrt{Q-1}}$	$\frac{Q}{2}$
11		1,73	1,16	2
12		1,73	1,16	2

При измерениях несинусоидальных напряжений вольтметрами переменного тока следует определить тип детектора (фактически измеряемый параметр) и характер градуировки шкалы по техническому описанию. При их соответствии принять  $C = 1$ , в противном случае, используя  $C$ , выразить из уравнения (3.2) параметр  $U_X$  и по известным показаниям вычислить его значение. Для определения других параметров необходимо знать  $K_a$  и  $K_\phi$  измеряемого напряжения. Если форма сигнала неизвестна, определить эти параметры можно только экспериментальным путем, взяв вольтметры с другими типами детекторов.

Импульсные вольтметры (вида В4) реализуются исключительно с пиковым детектором и градуируются в большинстве случаев в амплитудных значениях. Следовательно, для них  $C = 1$  ( $U_V = U_{\max}$ ), и учитывать влияние формы сигнала не требуется.

К числу основных параметров вольтметров относится входное сопротивление, которое является источником методической погрешности измерения [1]. На переменном токе (в отличие от постоянного) учет этой погрешности возможен, если известна не только активная, но и реактивная составляющая полного входного сопротивления вольтметра  $Z_V$ . Поэтому обычно в технических данных импульсных вольтметров переменного тока приводятся значения входного сопротивления (активной составляющей)  $R_V$  и входной емкости  $C_V$ . Их можно определить экспериментально по схеме (рисунок 3.3).

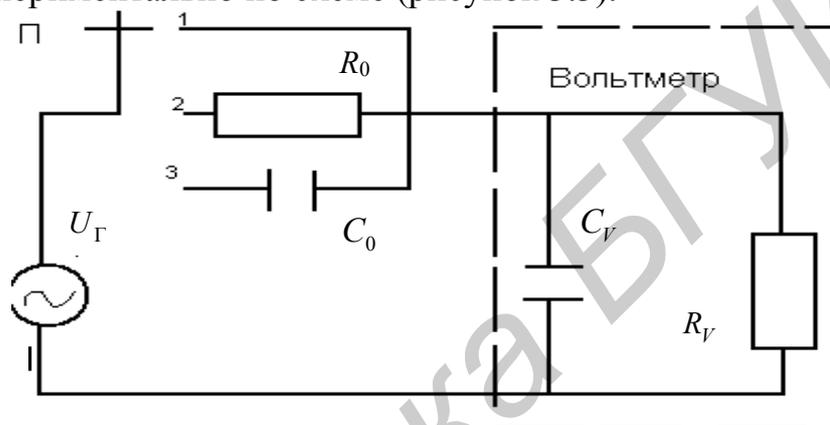


Рисунок 3.3 – Структурная схема импульсных вольтметров переменного тока

Для измерений выбираются две рабочие частоты. Первая из них  $f_H$  должна быть достаточно низкой, чтобы можно было пренебречь влиянием  $C_V$ , т. е.  $X_{C_V} \gg R_V$ . Вторая  $f_B$  должна быть достаточно высокой, чтобы можно было пренебречь влиянием  $R_V$ , т. е.  $R_V \gg X_{C_V}$ . В положении 1 переключателя П вольтметр подключается ко входу источника и позволяет измерить его выходное напряжение  $U_{ГН}$  (на частоте  $f_H$ ) или  $U_{ГВ}$  (на частоте  $f_B$ ). В положении 2 последовательно с вольтметром включается известное активное сопротивление  $R_0$ , сравнимое по значению с  $R_V$ . В положении 3 включается известная емкость  $C_0$ . В этом случае при измерениях на низкой частоте  $f_H$  в положении 2 образуется резистивный  $R_0, R_V$ , а на высокой  $f_B$  в положении 3 – емкостной  $C_0, C_V$  делители. После отсчета показаний вольтметра в первом случае  $U_{R_V}$ , а во втором  $U_{C_V}$  можно определить:

$$R_V = \frac{R_0}{(U_{ГН} / U_{R_V}) - 1}; \quad C_V = C_0 \left( \frac{U_{ГВ}}{U_{C_V}} - 1 \right). \quad (3.3)$$

Для уменьшения влияния разбросов  $R_0$  и  $C_0$  следует провести несколько таких измерений, например, с различными значениями  $R_0$  и  $C_0$ . Результат измерений средних  $\overline{R_V}$  и  $\overline{C_V}$  находится в этом случае как среднее арифметическое.

Важнейшими метрологическими характеристиками приборов (в том числе и электронных вольтметров) являются погрешности этих приборов.

Инструментальная погрешность (т. е. погрешность прибора) может быть выражена в формах абсолютной ( $\Delta$ ), относительной ( $\delta$ ) и приведенной ( $\gamma$ ) погрешностей:

$$\Delta = X_{\text{И}} - Q; \quad (3.4)$$

$$\delta = \frac{\Delta}{Q} \cdot 100\%; \quad (3.5)$$

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} \cdot 100\%. \quad (3.6)$$

при этом 
$$\delta = \gamma \cdot \frac{X_N}{Q}, \quad (3.7)$$

где  $X_{\text{И}}$  – показание прибора;

$Q$  – действительное значение величины (оно при поверке соответствует показанию образцового прибора, а при технических измерениях – показанию прибора  $X_{\text{И}}$ );

$X_N$  – нормируемое значение, правила выбора которого регламентированы ГОСТ 8.401–80.

Допускается в формулах (3.5) и (3.7) при технических измерениях вместо  $Q$  использовать показание прибора  $X_{\text{И}}$ .

Согласно ГОСТ 8.401–80, если прибор имеет практически равномерную шкалу, значение  $X_N$  следует выбирать равным пределу измерения при нахождении нулевой отметки на краю диапазона измерений или равным сумме модулей пределов измерений, если нулевая отметка находится внутри диапазона измерений. Если прибор имеет существенно неравномерную шкалу, значение  $X_N$  принимают равным длине шкалы или ее части, соответствующей диапазону измерений.

Обобщенной характеристикой прибора является класс точности, определяемый пределами допускаемых погрешностей прибора. Если эти пределы выражаются значениями  $\delta$  и  $\gamma$  по формулам

$$\delta = \pm q; \quad \gamma = \pm p, \quad (3.8)$$

где  $q$  и  $p$  – отвлеченные положительные числа, выбираемые из ряда

$$K = [1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 4,0; 5,0; 6,0] \cdot 10^n, \quad n = 1, 0, 1, -1, -2, \dots, \quad (3.9)$$

то классы точности обозначаются числами, которые равны этим пределам (в процентах) и соответствуют ряду (3.9). Если же пределы допускаемых погрешностей выражаются значением  $\delta$  по формуле

$$\delta = \pm \left[ c + d \cdot \left( \frac{X_K}{X_{И}} - 1 \right) \right], \quad (3.10)$$

где  $X_K$  – больший (по модулю) из пределов измерений;

$c$  и  $d$  – положительные числа, не зависящие от измеряемой величины  $X_{И}$  (классы точности обозначают числами  $c$  и  $d$ , разделяя их косой чертой).

Класс точности прибора проверяется путем поверки прибора, т. е. сравнением показаний прибора с показаниями образцового прибора и последующим определением погрешности, которая нормирована для поверяемого прибора.

Для повышения точности измерений используются многократные прямые или косвенные измерения величины. Алгоритмы обработки измерительной информации при таких измерениях приведены в [1, 2, 4].

Электронные цифровые вольтметры как постоянного, так и переменного тока получили широкое распространение и содержат аналого-цифровые преобразователи (АЦП) измеряемого напряжения. В зависимости от метода аналого-цифрового преобразования выделяют цифровые вольтметры, реализующие времяимпульсный, частотно-импульсный и кодово-импульсный методы преобразования.

Более подробно вопросы измерения напряжения электронными вольтметрами рассмотрены в [1–5].

### **3.3 Приборы, используемые при выполнении работы**

3.3.1 Генератор сигналов высокочастотный Г4-117 (приложение Ж).

3.3.2 Вольтметр универсальный цифровой В7-28 (приложение И).

3.3.3 Милливольтметр В3-38 (приложение К).

3.3.4 Микровольтметр В3-40 (приложение Л).

3.3.5 Милливольтметр импульсного тока В4-12 (приложение М).

3.3.6 Осциллограф универсальный С1-72 (приложение Н).

3.3.7 Лабораторный макет М1.

### **3.4 Описание лабораторного макета**

В качестве лабораторной установки при выполнении работы используется макет М1.

В состав макета М1 (рисунок 3.4) входят генераторы синусоидальной, пилообразной форм напряжений и напряжения типа «меандр». С помощью переключателя ФОРМА СИГНАЛА к выходу макета подключаются выходы соответствующих генераторов напряжений, амплитуда которых изменяется с помощью переключателя ВАРИАНТ. С помощью переключателя ПЗ РЕЖИМ РАБОТЫ задаются режимы измерения входных активного сопротивления  $R_V$ , емкости  $C_V$  вольтметра В7-28 или многократных измерений (МИ). Для проведения МИ используется переменное сопротивление УРОВЕНЬ. С помощью переключателя П4 ВХОД-ВЫХОД к выходу макета подключается соответственно вход или выход четырехполюсника.

Поверка электронного вольтметра (ВЗ-38 или ВЗ-40) осуществляется при положении ПОВЕРКА переключателя П1.

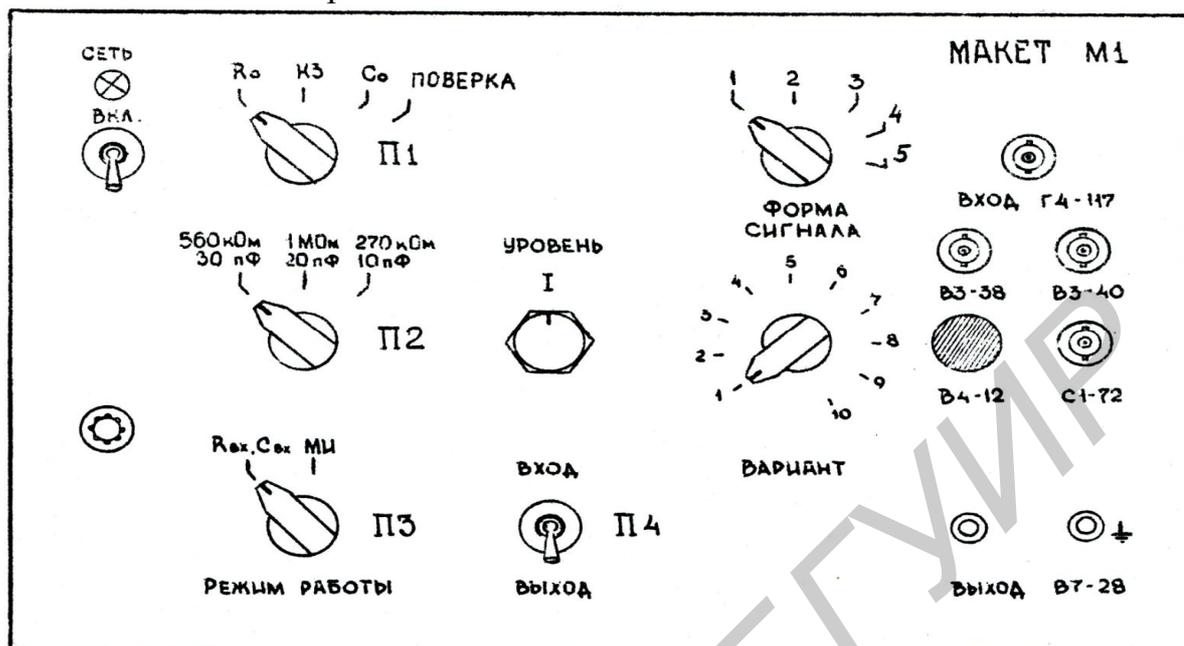


Рисунок 3.4 – Внешний вид макета М1

### 3.5 Подготовка к выполнению работы

3.5.1 По рекомендуемой литературе изучить методы измерения напряжений электронными вольтметрами.

3.5.2 По приложениям Ж–Н изучить приборы, применяемые при выполнении лабораторной работы, методику проведения измерений с их помощью, оценку полученных результатов.

3.5.3 Ответить на контрольные вопросы.

3.5.4 Сделать заготовку отчета (один на бригаду) по лабораторной работе в соответствии с требованиями раздела «Содержание отчета» данного учебно-методического пособия.

3.5.5 Выполнить домашнее задание и включить его в заготовку отчета.

Напряжение сигнала неизвестной формы, измерялось тремя вольтметрами, имеющими открытые входы, шкалы их отградуированы в среднеквадратических значениях, детекторы соответственно пиковый, среднеквадратичного и средневыпрямленного значения. Определить коэффициенты амплитуды  $K_a$  и формы  $K_f$ , если показания вольтметра с пиковым детектором  $U_1$ , с детектором среднеквадратичного значения  $U_2$ , с детектором средневыпрямленного значения  $U_3$  (таблица 3.2).

Таблица 3.2

Параметр	Вариант (номер бригады)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номер сигнала из таблицы 3.1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_1$ , мВ	26,4	515	42	72	276	15,7	152	61	550	246
$U_2$ , мВ	24,6	455	36	58	216	12,4	113	44	380	174
$U_3$ , мВ	24,2	440	33	49	178	9,5	86,6	32	280	110

### 3.6 Задания к лабораторной работе

3.6.1 Измерить переменные напряжения с помощью вольтметра В7-28. Оценить инструментальные погрешности измерения переменных напряжений.

3.6.2 Определить входное сопротивление  $R_V$  и входную емкость  $C_V$  вольтметра В7-28.

3.6.3 Провести поверку вольтметра В3-38 или В3-40 в части определения погрешности измерения переменного напряжения при использовании вольтметра В7-28 в качестве образцового. Оценить абсолютную, относительную и приведенную погрешности вольтметра В3-38 или В3-40 при измерении переменного напряжения.

3.6.4 Провести многократное косвенное измерение коэффициента передачи  $K_{П}$  четырехполюсника с помощью вольтметра В7-28 путем измерения переменных напряжений на входе и выходе четырехполюсника.

3.6.5 Определить для заданных сигналов различной формы пиковое  $U_m$ , среднеквадратическое  $U_{СК}$ , средневывпрямленное  $U_{СВ}$  значения напряжения, коэффициент амплитуды  $K_a$  и коэффициент формы  $K_{Ф}$ .

### 3.7 Порядок выполнения работы

Каждая бригада выполняет работу по номеру варианта, соответствующего номеру бригады.

3.7.1 Выполнить измерения в соответствии с пунктом 3.6.1 задания к лабораторной работе.

3.7.1.1 Подготовить к работе генератор Г4-117 и вольтметр В7-28 согласно разделу Ж.4 приложения Ж и разделу И.4 приложения И соответственно. Переключатель ВОЛЬТМЕТР генератора Г4-117 установить в положение «3V».

3.7.1.2 Тумблер включения макета М1 установить в выключенное положение, переключатель П1 – в положение «К3». Разъем «Вход Г4-117» макета М1 подключить через кабель к разъему «3V» генератора Г4-117, а клеммы входного кабеля  $H_x$  и  $L_{xy}$  вольтметра В7-28 соединить с зажимами «Выход В7-28».

3.7.1.3 Согласно разделу Ж.5 приложения Ж установить на генераторе Г4-117 первые значения частоты  $f$  и напряжения  $U$ , заданные в таблице 3.3. Измерить с помощью вольтметра В7-28 напряжение  $U_V$  в режиме ручного выбора пределов согласно разделу И.5 приложения И. Значения  $f$ ,  $U$ ,  $U_V$ , а также предел  $U_{ПР}$  вольтметра В7-28, на котором проводилось измерение, занести в таблицу 3.4.

3.7.1.4 Повторить операции по подпункту 3.7.1.3 для остальных трех частот  $f$  и напряжений  $U$ , заданных в таблице 3.3.

3.7.1.5 Используя формулы таблицы подраздела И.2.1 приложения И и формулу (3.5), рассчитать пределы инструментальных относительных  $\delta_U$  и абсолютных  $\Delta_U$  погрешностей измерения напряжений. Результаты расчетов занести в таблицу 3.4.

Таблица 3.3

Номер бригады (вариант)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f$ , кГц	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	1,2	1,5	2,5	3,5	4,5
	6,0	7,0	8,0	9,0	10	12	14	16	18	20
	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100
$U$ , В	0,6	0,06	1,0	1,6	0,5	0,09	0,6	2,5	2,2	0,1
	0,08	0,8	0,05	2,4	1,8	0,7	0,06	0,8	1,0	1,8
	3,0	0,1	2,0	0,07	0,6	1,5	0,15	0,07	0,4	0,05
	1,2	2,4	0,8	0,4	0,04	0,1	2,0	3,0	0,08	0,7
$U_{Г}$ , В	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
$f_{Н}$ , Гц	20	25	30	35	40	40	30	35	25	20
$f_{В}$ , кГц	40	45	40	55	60	60	55	40	45	50
$f_{Л}$ , кГц	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0	5,0	10	20	50	100
Тип поверяемого вольтметра	В3-38	В3-40	В3-38	В3-40	В3-38	В3-40	В3-38	В3-40	В3-38	В3-40
Предел измерения $U_{ПР}$ , В	3,0	0,30 (300 мВ)	1,0	3,0	0,30 (300 мВ)	1,0	0,30 (300 мВ)	3,0	1,0	0,30 (300 мВ)
$U_{и}$ , В	0,50	0,05	0,10	0,50	0,05	0,10	0,05	0,50	0,10	0,05
	1,0	0,10	0,30	1,0	0,10	0,30	0,10	1,0	0,30	0,10
	1,5	0,15	0,50	1,5	0,15	0,50	0,15	1,5	0,30	0,15
	2,0	0,20	0,80	2,0	0,20	0,80	0,20	2,0	0,80	0,20
	3,0	0,30	1,0	3,0	0,30	1,0	0,30	3,0	1,0	0,30
$f_{М}$ , кГц	20	60	30	10	40	30	50	40	60	10
$n$	23	21	19	17	15	15	17	19	21	23
$P_{д}$	0,95	0,99	0,95	0,99	0,95	0,99	0,95	0,99	0,95	0,99

Таблица 3.4

Номер точки	$f$ , кГц	$U$ , В	$U_{ПР}$ , В	$U_{V}$ , В	$\delta_U$ , %	$\Delta_U$ , В
1						
2						
3						
4						

3.7.2 Выполнить измерения в соответствии с пунктом 3.6.2 задания к лабораторной работе.

3.7.2.1 Тумблер включения макета М1 установить в выключенное положение, переключатель ПЗ – в положение « $R_{ВХ}$ ,  $C_{ВХ}$ », переключатель П1 – в положение «КЗ».

3.7.2.2 Установить на генераторе Г4-117 частоту  $f_{Н}$  и напряжение  $U_{Г}$ , заданные в таблице 3.3. Значения  $U_{Г}$  и  $f_{Н}$  занести в таблицу 3.5. Измерить напряжение  $U_{ГН}$  с помощью вольтметра В7-28 в режиме автоматического выбора

пределов согласно разделу И.5 приложения И. Результат измерения  $U_{ГН}$  занести в таблицу 3.5.

Таблица 3.5

$U_{Г}$ , В	$f_{Н}$ , Гц	$U_{ГН}$ , В	$R_0$ , кОм	$U_{R_V}$ , В	$R_V$ , кОм	$\overline{R_V}$ , кОм	$f_{В}$ , кГц	$U_{ГВ}$ , В	$C_0$ , пФ	$U_{C_V}$ , В	$C_V$ , пФ	$\overline{C_V}$ , пФ
			560						30			
			1000						20			
			270						10			

3.7.2.3 На макете М1 переключатель П1 установить в положение « $R_0$ », переключатель П2 – в положение «560 кОм». Измерить напряжение  $U_{R_V}$  с помощью вольтметра В7-28 в режиме автоматического выбора пределов. Результат измерения  $U_{R_V}$  занести в таблицу 3.5.

3.7.2.4 Повторить операции, приведенные в подпункте 3.7.2.3, для положений переключателя П2 «1 МОм» и «270 кОм».

3.7.2.5 Используя значения  $U_{ГН}$ ,  $U_{R_V}$ ,  $R_0$  и формулу (3.3), рассчитать значения  $R_V$  для трех различных значений  $R_0$  (560 кОм, 1 МОм, 270 кОм) и усредненное значение  $\overline{R_V}$ . Результаты расчетов занести в таблицу 3.5.

3.7.2.6 Установить на генераторе Г4-117 частоту  $f_{В}$  и напряжение  $U_{Г}$ , заданные в таблице 3.3. Значение  $f_{В}$  занести в таблицу 3.5. На макете М1 переключатель П1 установить в положение «КЗ» и измерить напряжение  $U_{ГВ}$  с помощью вольтметра В7-28 в режиме автоматического выбора пределов. Результат измерения  $U_{ГВ}$  занести в таблицу 3.5.

3.7.2.7 На макете М1 переключатель П1 установить в положение « $C_0$ », переключатель П2 – в положение «30 пФ». Измерить напряжение  $U_{C_V}$  с помощью вольтметра В7-28 в режиме автоматического выбора пределов. Результат измерения  $U_{C_V}$  занести в таблицу 3.5.

3.7.2.8 Повторить операции, приведенные в подпункте 3.7.2.7, для положений переключателя П2 «20 пФ» и «10 пФ».

3.7.2.9 Используя значения  $U_{ГВ}$ ,  $U_{C_V}$ ,  $C_0$  и формулу (3.3), рассчитать значения  $C_V$  для трех различных значений  $C_0$  (30 пФ, 20 пФ, 10 пФ) и усредненное значение  $\overline{C_V}$ . Результаты расчетов занести в таблицу 3.5.

3.7.2.10 На основании сравнения с пределами допустимых значений входных сопротивления и емкости вольтметра В7-28, приведенными в техническом описании (подраздел И.2.5 приложения И), сделать вывод о соответствии измеренных характеристик ( $\overline{R_V}$ ,  $\overline{C_V}$ ), приведенных в техническом описаний.

3.7.3 Выполнить измерения в соответствии с пунктом 3.6.3 задания к лабораторной работе.

3.7.3.1 Тумблер включения макета М1 установить в выключенное положение, переключатель ПЗ – в положение « $R_{ВХ}$ ,  $C_{ВХ}$ ».

3.7.3.2 Подготовить к работе поверяемый вольтметр, тип которого указан в таблице 3.3 (ВЗ-38 или ВЗ-40), согласно разделу К.4 приложения К или разделу Л.4 приложения Л. Подключить кабелем разъем «→» этого вольтметра к соответствующему разъему («ВЗ-38» или «ВЗ-40») макета М1. Установить на поверяемом вольтметре предел  $U_{ПР}$ , заданный в таблице 3.3.

3.7.3.3 Переключатель П1 установить в положение ПОВЕРКА. Установить на генераторе Г4-117 частоту  $f_{П}$ , заданную в таблице 3.3. Ручкой РЕГ. ВЫХ генератора Г4-117 установить стрелку поверяемого вольтметра на отметку, соответствующую первому значению напряжения  $U_{И}$ , заданному в таблице 3.3. Затем переключатель П1 установить в положение «КЗ». Произвести измерение напряжения  $U_0$  с помощью вольтметра В7-28 в режиме автоматического выбора предела. Значения  $f_{П}$ ,  $U_{ПР}$ ,  $U_{И}$ ,  $U_0$  занести в таблицу 3.6.

Таблица 3.6

Номер точки	$f_{П}$ , кГц	$U_{ПР}$ , В	$U_{И}$ , В	$U_0$ , В	$\Delta_{И}$ , В	$\delta_{И}$ , %	$\gamma_{И}$ , %
1							
2							
3							
4							
5							

3.7.3.4 Повторить операции, приведенные в подпункте 3.7.3.3, для остальных четырех напряжений  $U_{И}$ , заданных в таблице 3.3.

3.7.3.5 Рассчитать абсолютную  $\Delta_{И}$ , относительную  $\delta_{И}$  и приведенную  $\gamma_{И}$  погрешности поверяемого вольтметра, используя формулы (3.4), (3.5) и (3.6). Результаты занести в таблицу 3.6.

3.7.3.6 Сделать вывод о результатах поверки вольтметра в части определения погрешности измерения напряжения, присвоив вольтметру класс точности.

3.7.3.7 Выключить поверяемый вольтметр.

3.7.4 Выполнить измерения в соответствии с пунктом 3.6.4 задания к лабораторной работе.

3.7.4.1 Тумблер включения макета М1 установить в выключенное положение, переключатель ПЗ – в положение «МИ», переключатель ВХОД-ВЫХОД установить в положение ВХОД.

3.7.4.2 Установить на генераторе Г4-117 частоту  $f_{М}$  и напряжение  $U_{Г}$ , заданные в таблице 3.3.

3.7.4.3 Ручку УРОВЕНЬ макета М1 установить в крайнее левое положение. Перевести ручку УРОВЕНЬ в положение «I» и отсчитать показание вольтметра В7-28  $U_{ВХ}$  в режиме автоматического выбора предела. Переключатель ВХОД-ВЫХОД переключить в положение ВЫХОД и отсчитать показание вольтметра В7-28  $U_{ВЫХ}$  в режиме автоматического выбора предела. Значения

$U_{ВХ}$  и  $U_{ВЫХ}$  занести в таблицу 3.7. Переключатель ВХОД-ВЫХОД установить в положение ВХОД.

3.7.4.4 Повторить операции по подпункту 3.7.4.3  $n$  раз (значение  $n$  приведено в таблице 3.3).

3.7.4.5 Обработать результаты косвенных многократных наблюдений и определить коэффициент передачи четырехполосника ( $K_{П} = U_{ВЫХ}/U_{ВХ}$ ) в соответствии с рекомендациями, приведенными в [1, 3, 4]. Алгоритм обработки привести в отчете по лабораторной работе. Доверительная вероятность  $P_{д}$  выбирается из таблицы 3.3. Результат измерений представить в форме, соответствующей требованиям ГОСТ 8.201–76 или МИ 1317–76, и занести в таблицу 3.7.

Таблица 3.7

Номер испытаний	1	2	...	$i$	...	$n-1$	$n$
$U_{ВХ}, В$							
$U_{ВЫХ}, В$							
Результат измерения	$K_{П} = \dots; P_{д} = \dots$						

3.7.4.6 Выключить приборы Г4-117 и В7-28.

3.7.5 Выполнить измерения в соответствии с пунктом 3.6.5 задания к лабораторной работе.

3.7.5.1 Подготовить к работе вольтметры В3-38, В3-40, В4-12 и осциллограф С1-72 согласно разделам К.4, Л.4, М.4, Н.4 приложений К, Л, М, Н. С помощью кабелей соединить выходные разъемы этих приборов с соответствующими разъемами («В3-38», «В3-40», «В4-12», «С1-72») макета М1. Переключатель ВАРИАНТ макета М1 установить в положение, соответствующее номеру варианта (бригады), а переключатель ФОРМА СИГНАЛА – в положение 1. Тумблер включения макета М1 установить в положение ВКЛ. Нажать кнопку СЕТЬ осциллографа С1-72 и зарисовать форму напряжения в таблицу 3.8. При отсутствии формы напряжения, получить его на экране осциллографа С1-72 согласно разделу Н.4 и разделу Н.5 приложения Н.

3.7.5.2 Измерить выходные напряжения макета М1  $U_{В3-38}$ ,  $U_{В3-40}$ ,  $U_{В4-12}$  с помощью вольтметров В3-38, В3-40, В4-12 согласно разделам К.5, Л.5, М.5 приложений К, Л, М соответственно. Форму напряжения контролировать с помощью осциллографа С1-72 (раздел Н.5 приложения Н). Повторить измерения для положений 2–5 переключателя ФОРМА СИГНАЛА. Результаты измерений, а также пределы  $U_{ПР В3-38}$ ,  $U_{ПР В3-40}$ ,  $U_{ПР В4-12}$ , на которых эти измерения проводились, занести в таблицу 3.8.

3.7.5.3 По результатам измерений, используя формулы (К.1) приложения К, (Л.1) приложения Л и (М.1) приложения М определить пиковое  $U_{м}$ , среднеквадратическое  $U_{СК}$ , средневыпрямленное  $U_{СВ}$  значения исследуемых напряжений, а также из формул (3.1) – коэффициенты амплитуды  $K_{а}$  и формы  $K_{ф}$ . Используя формулу (3.7), значения пределов инструментальных приведенных погрешностей вольтметров В3-38, В3-40, В4-12 (разделы К.2, Л.2, М.2

приложений К, Л, М), пределы  $U_{\text{ПР В3-38}}$ ,  $U_{\text{ПР В3-40}}$ ,  $U_{\text{ПР В4-12}}$ , определить пределы инструментальных относительных погрешностей  $\delta U_{\text{В3-38}}$ ,  $\delta U_{\text{В3-40}}$ ,  $\delta U_{\text{В4-12}}$ .

Таблица 3.8

Номер точки	1	2	3	4	5
Форма сигнала					
$U_{\text{В4-12}}$ , мВ					
$U_{\text{ПР В4-12}}$ , мВ					
$U_{\text{В3-40}}$ , мВ					
$U_{\text{ПР В3-40}}$ , мВ					
$U_{\text{В3-38}}$ , мВ					
$U_{\text{ПР В3-38}}$ , мВ					
$U_{\text{м}}$ , В					
$U_{\text{СК}}$ , В					
$U_{\text{СВ}}$ , В					
$K_{\text{а}}$					
$K_{\text{ф}}$					
$\delta U_{\text{В4-12}}$ , %					
$\delta U_{\text{В3-40}}$ , %					
$\delta U_{\text{В3-38}}$ , %					

3.7.5.4 Тумблер включения макета М1 установить в выключенное положение. Выключить приборы В3-38, В3-40, В4-12, С1-72.

### 3.8 Контрольные вопросы

1 Назначение электронных вольтметров, их достоинства и недостатки.

2 Классификация электронных вольтметров и их технические характеристики.

3 Типовые схемы электронных аналоговых вольтметров постоянного тока, их характеристика.

4 Цифровые вольтметры, реализующие времяимпульсный метод преобразования с двухтактным интегрированием (принцип действия, достоинства и недостатки).

5 Типовые схемы электронных аналоговых вольтметров переменного тока, их характеристика.

6 Параметры входной цепи электронных аналоговых вольтметров переменного тока, их характеристика.

7 Типы детекторов, применяемых в электронных вольтметрах переменного тока (принцип действия, характеристики).

8 Характеристики напряжения сигналов переменного тока, их взаимосвязь.

9 Влияние формы кривой измеряемого напряжения на показания вольтметров.

10 Особенности измерений напряжений пиковыми вольтметрами.

11 Порядок выбора вольтметра для измерения напряжения в радиотехнических цепях.

12 Абсолютная, относительная и приведенная погрешности приборов.

13 Класс точности приборов.

14 Поверка приборов в части определения погрешностей измерения.

15 Алгоритм обработки результатов наблюдений при косвенном измерении.

Библиотека БГУИР

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА МИ-4 УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОСЦИЛЛОГРАФ

## 4.1 Цель работы

4.1.1 Изучение принципа действия и структурной схемы универсального электронно-лучевого осциллографа.

4.1.2 Изучение основных методов осциллографических измерений.

4.1.3 Изучение измерительных приборов С1-117, ГЗ-109, Г5-54 и приобретение практических навыков работы с ними.

## 4.2 Краткие теоретические сведения

Универсальный электронно-лучевой осциллограф (ЭО) является одним из наиболее распространенных радиоизмерительных приборов и относится к виду С1. Он предназначен для визуального наблюдения электрических сигналов и измерения их параметров. ЭО находит широкое применение при контроле работоспособности, ремонте и наладке различных радиотехнических устройств.

ЭО в совокупности с преобразователями электрических и неэлектрических величин преобразует различные физические процессы в напряжение и позволяет наблюдать их.

Большинство осциллографов [1] можно охарактеризовать следующей структурной схемой (рисунок 4.1).

Основными функциональными узлами ЭО являются: электронно-лучевая трубка (ЭЛТ) со схемой управления лучом, канал вертикального отклонения (канал  $Y$ ), канал горизонтального отклонения (канал  $X$ ), канал управления яркостью (канал  $Z$ ), калибраторы амплитуды и длительности и блок питания.

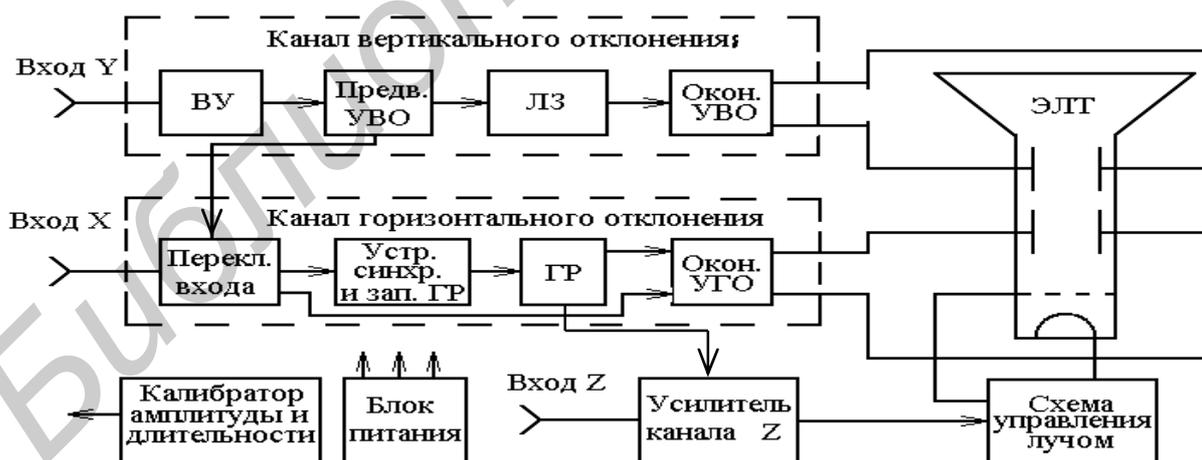


Рисунок 4.1 – Структурная схема электронно-лучевого осциллографа

ЭЛТ, в большинстве случаев с электростатическим управлением, обеспечивает преобразование напряжений  $U_X$  и  $U_Y$ , поданных на горизонтально ( $X$ ) и вертикально ( $Y$ ) отклоняющие пластины, в пропорциональные перемещения лу-

ча на экране соответственно в горизонтальном и вертикальном направлениях. Это позволяет воспроизводить на экране ЭЛТ зависимости вида

$$U_Y = f(U_X). \quad (4.1)$$

То есть под действием напряжения развертки луч на экране ЭЛТ будет перемещаться по горизонтали в одном направлении (слева направо) и с постоянной скоростью, а под действием исследуемого сигнала – отклоняться по вертикали. В результате движение луча на экране ЭЛТ повторит форму исследуемого сигнала и полученная таким образом осциллограмма изобразит в прямоугольных координатах график его функции.

Конструкции и основные параметры ЭЛТ рассмотрены в [1–4]. Отметим, что тип ЭЛТ и ее параметры в значительной степени определяют область применения и технические характеристики ЭО в целом.

Схема управления лучом представляет собой комбинацию выпрямителей, стабилизаторов и делителей напряжения, обеспечивающих возможность регулировки яркости и четкости изображения, начальное смещение луча по вертикали и горизонтали. Ручки органов, осуществляющих эти регулировки, выведены на лицевую панель ЭО, как правило, рядом с экраном ЭЛТ.

Канал  $Y$  предназначен для неискаженной передачи исследуемого сигнала от источника к вертикально отклоняющим пластинам ЭЛТ. Его параметры определяют область применения ЭО в целом. В канале осуществляется согласование входа осциллографа с источником сигнала, его усиление, формирование напряжения, управляющего отклонением луча. Канал  $Y$  содержит входное устройство (ВУ), предварительный усилитель (ПУ), линию задержки (ЛЗ) и оконечный усилитель вертикального отклонения (УВО). ВУ содержит цепи коммутации режима входа (открытый или закрытый для постоянной составляющей) и аттенюатор, предотвращающий перегрузку усилителя при больших значениях входного напряжения. В ПУ сосредоточены основные регулировки канала: плавная и ступенчатая регулировка усиления, балансировка усилителя постоянного тока и др. С ПУ также снимается сигнал, управляющий запуском генератора развертки в режиме внутренней синхронизации. ЛЗ позволяет скомпенсировать запаздывание запуска генератора развертки по отношению к сигналу синхронизации. УВО осуществляет дальнейшее усиление входного сигнала, согласование ЛЗ с ЭЛТ и формирует симметричный (парафазный) выходной сигнал, управляющий отклонением луча по вертикали. Для расширения функциональных возможностей осциллографа канал  $Y$  может дополняться электронным коммутатором, с помощью которого на экране однолучевой ЭЛТ можно наблюдать осциллограммы нескольких сигналов. В этом случае ЭО становится многоканальным. Структурная схема входных цепей двухканального ЭО изображена на рисунке 4.2.

Как видно из рисунка 4.2, с помощью электронного коммутатора (ЭК) осуществляется поочередная подача сигналов со входов  $Y_1$  и  $Y_2$  на пластины  $Y$  ЭЛТ, чем и достигается эффект многоканальности.



Рисунок 4.2 – Структурная схема входных цепей двухканального осциллографа

Управление коммутатором позволяет осуществить следующие способы воспроизведения:

- только одного из сигналов, поступающего на вход  $Y1$  или  $Y2$ ;
- алгебраическую сумму сигналов  $Y1 + Y2$ ;
- поочередное изображение сигналов  $Y1$  и  $Y2$  с переключением каналов после каждого прямого хода развертки;
- прерывистое изображение, когда наблюдаются оба сигнала, но коммутация каналов осуществляется с некоторой постоянной частотой независимо от частоты развертки.

Канал  $X$  содержит устройство синхронизации и запуска развертки, генератор развертки (ГР), усилитель горизонтального отклонения (УГО) и переключателя. Канал предназначен для усиления и подачи на пластины горизонтального отклонения ЭЛТ напряжения, пропорционального внешнему сигналу со входа  $X$ ; формирования и подачи на эти же пластины напряжения развертки; усиления и преобразования сигналов синхронизации и формирования сигналов запуска ГР. В первом случае на вход УГО с помощью переключателя подается сигнал со входа  $X$ . Этот режим может использоваться для подачи внешнего развертывающего напряжения либо для наблюдения функциональной зависимости [1].

Во всех остальных случаях ко входу УГО подается напряжение пилообразной формы, вырабатываемое ГР. Это напряжение характеризуется длительностями прямого хода  $T_{\text{п}}$ , обратного хода  $T_{\text{о}}$  и блокировки  $T_{\text{бл}}$  (рисунок 4.3) [1, 4].

Рабочим интервалом является время прямого хода, в течение которого напряжение на пластинах  $X$  линейно во времени:

$$U_X = \frac{U_m}{T_{\text{п}}} \cdot t \text{ при } 0 < t < T_{\text{п}}, \quad (4.2)$$

где  $U_m$  – амплитуда напряжения развертки;

$t$  – текущее время.

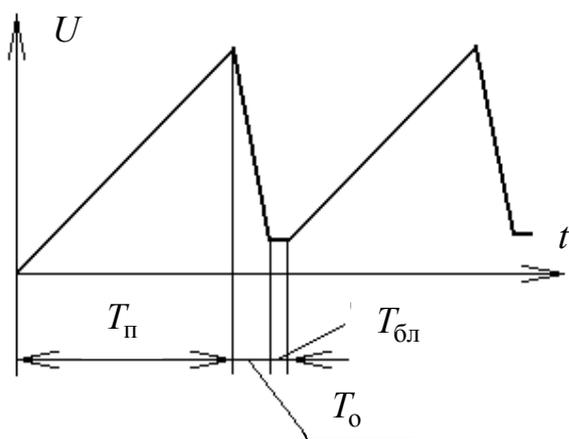


Рисунок 4.3 – Напряжение пилообразной формы, вырабатываемое ГР

Такая развертка называется линейной. Выражение (4.2) показывает, что в течение  $T_{\text{п}}$  луч будет описывать на экране такую же функциональную зависимость, какую имеет исследуемый сигнал  $U_Y(t)$  во времени. В течение времени обратного хода и блокировки ГР формирует импульс, поступающий в канал управления яркостью и гасящий луч ЭЛТ на время  $T_o + T_{\text{бл}}$ .

Очевидно, что измерение параметров сигнала  $U_Y(t)$  возможно лишь при неподвижной осциллограмме. Для этого необходимо, чтобы каждый прямой ход развертки начинался при одной и той же фазе  $U_Y(t_0)$ , т. е. в период развертки  $T_p = T_{\text{п}} + T_o + T_{\text{бл}}$  был в  $n$  раз больше периода сигнала  $T_c$ :

$$T_p = n \cdot T_c, \quad (4.3)$$

где  $n$  – целое число.

Зависимость (4.3) называется **условием синхронизации**. Выполнение его осуществляется путем изменения частоты (перепада) сигнала, вырабатываемого ГР. Для устранения влияния нестабильности  $T_p$  и  $T_c$  устройством синхронизации и запуска развертки дополнительно осуществляется автоматическая подстройка частоты ГР. Этот процесс называют синхронизацией. Различают следующие виды синхронизации: внутренняя – на вход устройства синхронизации и запуска развертки подается напряжение с ПУ канала  $Y$  и синхронизация осуществляется самим исследуемым сигналом; внешняя – запуск ГР осуществляется сигналом, подаваемым извне в канал  $X$  и синхронным с исследуемым; синхронизация от сети – осуществляется напряжением питающей сети частотой 50 Гц и является частным случаем внешней.

Наиболее часто используется внутренняя синхронизация. Внешняя – при наличии источников, имеющих выход синхросигналов, малый уровень исследуемого сигнала, а также при неустойчивости внутренней синхронизации. Синхронизация от сети используется при наблюдении сигналов, сформированных от питающей сети и имеющих частоту, кратную 50 Гц.

Сложность и разнообразие форм исследуемых сигналов обусловили использование в современных ЭО нескольких разновидностей линейной развертки:

- автоколебательная – ГР работает в непрерывном (автоколебательном) режиме, независимо от наличия сигнала синхронизации;
- ждущая – ГР срабатывает только после прихода сигнала запуска (синхронизации), формирует один цикл напряжения развертки, а затем «ждет» следующий сигнал запуска [1].

Автоколебательная развертка используется при исследовании периодических сигналов (в том числе и импульсных с малой скважностью). Период развертки устанавливается таким, чтобы на экране ЭЛТ наблюдались 2–3 периода исследуемого сигнала (в (4.3) число  $n = 2 - 3$ ). При  $n = 1$  часть  $U_Y$ , соответствующая  $T_0 + T_{\text{бл}}$ , не воспроизводится, а при  $n > 3$  ухудшается детальность осциллограммы и возрастает погрешность измерения.

Ждущая применяется при исследовании периодических импульсных сигналов с большой скважностью. При этом период следования напряжения развертки определяется периодом сигнала синхронизации и условие (4.3) принимает вид  $T_p = T_0$ . Масштаб изображения по горизонтали определяется временем прямого хода развертки, которое обязательно должно быть несколько больше длительности исследуемого импульса. Так как ГР запускается с некоторой задержкой, то при совпадении во времени сигнала синхронизации и переднего фронта исследуемого импульса возможны искажения фронта, а в отдельных случаях он может быть вообще не воспроизведен на экране. Для устранения таких искажений в канал  $Y$  включается ЛЗ и запуск развертки осуществляется раньше, чем на пластины  $Y$  поступает задержанный исследуемый сигнал.

Калибраторы амплитуды и длительности являются встроенными в ЭО источниками сигналов с точно известными параметрами. Благодаря им обеспечивается возможность измерений амплитудных и временных параметров исследуемых сигналов.

Дальнейшее расширение функциональных возможностей универсальных осциллографов привело к созданию многофункциональных осциллографов, в которых с помощью сменных блоков можно реализовать дополнительные функции, в частности, осциллографы-мультимеры, аналогичные универсальным цифровым вольтметрам и мультимерам, но сохранившие все функции осциллографа. При разработке таких осциллографов наметились две тенденции. Первая предполагает объединение осциллографа и мультимера в схемном и конструктивном отношении. Отсчетным устройством мультимера является ЭЛТ, выполняющая функции дисплея. Вторая тенденция предполагает полную автономию осциллографа и мультимера в схемном отношении и предусматривает лишь конструктивное их объединение. Мультимер в этом случае имеет собственное отсчетное устройство.

Более подробно ЭО и методики осциллографических измерений рассмотрены в [1–4].

### **4.3 Приборы, используемые при выполнении работы**

4.3.1 Осциллограф универсальный двухканальный С1-117 (приложение П).

4.3.2 Генератор сигналов низкочастотный ГЗ-109 (приложение Р).

4.3.3 Генератор импульсов Г5-54 (приложение С).

4.3.4 Лабораторный макет.

#### 4.4 Описание лабораторного макета

Основой лабораторного макета является упрощенная структурная схема двухканального универсального осциллографа (рисунок 4.4).

Лабораторный макет содержит предварительные усилители, коммутатор, линию задержки, схему управления коммутатором, схему синхронизации, генератор развертки и соответствующие органы подключения, управления и коммутации. Входы 1 и 2 предназначены для подключения к макету генераторов ГЗ-109 и Г5-54 соответственно. Выходы А, Б и синхронизации предназначены для подключения к осциллографу С1-117. Переключатель и потенциометр «ПЕРИОД РАЗВЕРТКИ» позволяет грубо и плавно изменять период развертки внутреннего генератора. Коммутатор осуществляет последовательное переключение входных сигналов после каждого прямого хода развертки.

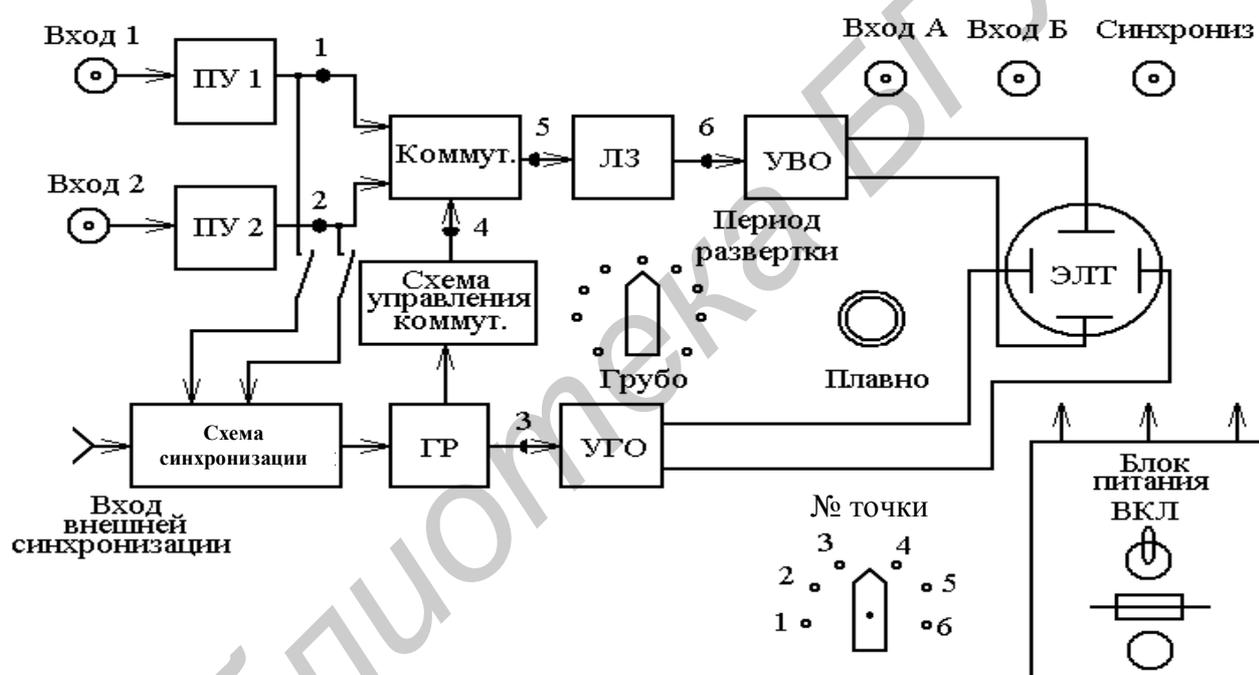


Рисунок 4.4 – Структурная схема лабораторного макета

Схема синхронизации обеспечивает синхронизацию работы генератора развертки с измерительным сигналом от Входа 1. Переключатель «№ точки» позволяет подключать входы осциллографа С1-117 к исследуемым точкам (1–6) схемы, а также коммутирует сигналы, необходимые для синхронизации. Исследуемая точка схемы подсвечивается соответствующим светодиодом.

#### 4.5 Подготовка к выполнению работы

4.5.1 По рекомендуемой литературе детально изучить принцип действия универсального электронно-лучевого осциллографа, основные режимы его работы и методики измерения им параметров сигналов.

4.5.2 По приложениям П, Р, С изучить устройство и принцип действия измерительных приборов, применяемых при выполнении лабораторной работы, проведении измерений с их помощью, оценку погрешностей полученных результатов.

4.5.3 Сделать заготовку отчета по лабораторной работе (один на бригаду) в соответствии с требованиями раздела «Содержание отчета» данного учебно-методического пособия и объемом лабораторного задания.

4.5.4 Ответить на контрольные вопросы.

4.5.5 Руководствуясь принципом получения осциллограммы на экране ЭЛТ, при взаимодействии сигналов – развертки с периодом  $T_p$  и исследуемого с периодом  $T_c$  – зарисовать предполагаемое изображение на экране и указать его количественные характеристики, используя данные из таблицы 4.1.

Таблица 4.1

Номер варианта	$T_p$	$T_c$
1	10 mS	3 mS
2	15 $\mu$ S	5 $\mu$ S
3	12 mS	10 mS
4	18 mS	9 mS
5	8 $\mu$ S	5 $\mu$ S
6	20 $\mu$ S	10 $\mu$ S
7	35 mS	20 mS
8	32 $\mu$ S	16 $\mu$ S
9	24 mS	8 mS
10	12 $\mu$ S	6 $\mu$ S
11	68 mS	68 mS
12	100 $\mu$ S	60 $\mu$ S

#### 4.6 Задания к лабораторной работе

4.6.1 Произвести визуальное наблюдение и измерение по шкале экрана осциллографа и цифровых, амплитудных и временных параметров непрерывных сигналов.

4.6.2 Произвести визуальное наблюдение и цифровые измерения сигналов, формируемых при работе двухканального универсального осциллографа.

4.6.3 Произвести измерение фазового сдвига методом наложения.

4.6.4 По результатам измерений построить осциллограммы исследуемых сигналов в соответствии с принципом работы двухканального осциллографа.

#### 4.7 Порядок выполнения работы

Перед началом выполнения лабораторного задания проверьте наличие необходимых соединений между измерительными приборами и лабораторным макетом. Выход генератора Г3-109 «3В» должен быть соединен со входом «Вход 1» макета. Выход «1:1» генератора Г5-54 должен быть соединен

со входом «Вход 2» макета. Входные разъемы осциллографа С1-117 «Канал А» и «Канал Б» должны быть соединены с соответствующими выходами макета, вход внешней синхронизации – с выходом «Синхронизация», выход «30В» генератора ГЗ-109 – со входом внешнего запуска генератора Г5-54. Нажмите кнопку «~ □» внешнего запуска.

В ходе выполнения лабораторного задания дополнительных перекоммутаций соединительных кабелей делать не нужно.

4.7.1 Выполнить измерения в соответствии с пунктом 4.6.1 задания к лабораторной работе.

4.7.1.1 Подготовить к работе приборы С1-117, ГЗ-109 и Г5-54 согласно разделу П.5 приложения П и разделам Р.4 и С.4 приложений Р и С соответственно.

4.7.1.2 Установить частоту и выходное напряжение генераторов ГЗ-109 и Г5-54 в соответствии с таблицей 4.2. Включить макет.

Таблица 4.2

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$f$ , кГц	30,0	40,0	70,0	50,0	80,0	60,0	90,0	110	100	120	150
$U$ , В	0,5	0,4	0,1	0,3	0,2	0,15	0,45	0,25	0,55	0,35	0,5
$U$ , В	0,6	1,0	0,8	0,64	0,7	0,5	0,9	1,2	0,9	0,84	1,4
Длительность, мкс	7,0	5,2	10,0	6,2	9,0	12,0	8,0	7,0	6,0	5,0	4,0
Полярность	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

4.7.1.3 Установить переключатель «№ точки» макета в положение 1.

Режим работы осциллографа С1-117 установить следующий: вход открытый ( $\approx$ ), канал А, синхронизация по каналу А – внутренняя, развертка – автоколебательная, ручка «Время/дел – плавно» должна быть нажата и повернута вправо до упора.

Установить калиброванный коэффициент отклонения с помощью переключателя «Вольт/дел» таким образом, чтобы изображение исследуемого сигнала занимало как можно большую часть экрана по вертикали, но не выходило за пределы экрана.

Установить калиброванный коэффициент развертки с помощью переключателя «Время/дел», чтобы размер наблюдаемого участка осциллограммы занимал как можно большую часть экрана по горизонтали. Например, при измерении периода сигнала, рекомендуется выбирать коэффициент развертки таким, чтобы на экране наблюдалось 2–3 периода сигнала в автоколебательном режиме. В случае использования ждущей развертки необходимо установить полное изображение исследуемого импульса.

Ручкой «Уровень» добейтесь неподвижного изображения осциллограммы.

Произведите измерения амплитуды  $U$  и периода  $T$  гармонического сигнала в соответствии с пунктом П.6.2.1 приложения П. Результаты измерения занесите в таблицу 4.3. Рассчитайте коэффициент усиления предварительного усилителя  $K'_y$  по формуле

$$K'_y = \frac{U_{\text{ВЫХ}}, \text{В}}{U_{\text{ВХ}}, \text{В}}. \quad (4.4)$$

Результат вычисления занести в таблицу 4.3.

Таблица 4.3

Номер точки	Вид осциллограммы	Результаты измерений осциллографические	Погрешность измерений	Коэффициент усиления
1		$U =$ ,В $T =$ , $\mu\text{S}$		$K'_y =$
2		$U =$ ,В $T =$ , $\mu\text{S}$ $\tau =$ , $\mu\text{S}$	$\delta_U =$ $\delta_T =$ $\delta_\tau =$	$K''_y =$
		цифровые		
		$U =$ ,В $T =$ , $\mu\text{S}$ $\tau =$ , $\mu\text{S}$	$\delta_U =$ $\delta_T =$ $\delta_\tau =$	

4.7.1.4 Установить переключатель «№ точки» в положение «2».

Режим работы осциллографа установить следующий: канал Б, вход – открытый ( $\approx$ ), синхронизация по каналу Б – внешняя, развертка – ждущая, ручка «Вольт/дел – плавно» должна быть нажата и повернута вправо до упора. Ручкой «Уровень» добейтесь устойчивого изображения. С помощью переключателей «Вольт/дел» и «Время/дел» установить изображение осциллограммы на экране, чтобы оно обеспечивало минимальную погрешность отсчета. Произведите осциллографические измерения параметров импульсного сигнала амплитуды  $U$ , периода  $T$ , длительности  $\tau$ .

Результаты измерений занести в таблицу 4.3. Рассчитайте коэффициент усиления предварительного усилителя 2 ( $K''_y$ ) по формуле (4.4). Рассчитать относительные погрешности измерения  $\delta_U$ ,  $\delta_T$ ,  $\delta_\tau$  параметров  $U$ ,  $T$  и  $\tau$ , как результат косвенных измерений.

4.7.1.5 Произвести цифровые измерения параметров импульсного сигнала в соответствии с методикой, изложенной в пунктах П.6.2.3 и П.6.2.4 приложения П.

4.7.1.6 Рассчитать инструментальную погрешность цифрового измерения амплитудных и временных параметров сигнала по формулам, приведенным в подразделах П.2.16–П.2.18 приложения П. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 4.3.

4.7.2 Выполнить измерения в соответствии с пунктом 4.6.2 лабораторного задания.

4.7.2.1 Установить переключатель «№ точки» в положение 3. Осциллограф остается в режиме измерения по каналу Б. Не меняя положение переключателя «Время/дел», получить на экране два неискаженных периода исследуемого сигнала с помощью переключателя «Грубо – период развертки» и потенциометра «Плавно» макета. Измерить цифровым способом амплитуду  $U_3$  и период  $T_3$  сигнала. Полученную осциллограмму и результаты измерений занести в таблицу 4.4.

4.7.2.2 Установить переключатель «№ точки» в положение 4. Осциллограф перевести в режим измерения по каналу А. Получить на экране один период исследуемого сигнала. Измерить цифровым способом амплитуду  $U_4$ , период  $T_4$  и длительность  $\tau_4$  сигнала. Полученную осциллограмму и результаты измерений занести в таблицу 4.4.

Таблица 4.4

Номер точки	Вид осциллограммы	Результаты измерения	Погрешность измерения
3		$U_3 =$ $T_3 =$	$\delta_U =$ $\delta_T =$
4		$U_4 =$ $T_4 =$ $\tau_4 =$	
5		$U_5 =$ $t_5 =$ $U_6 =$ $t_6 =$	
6		$T_c =$ $\tau_c =$ $\Phi_x^0 =$	$\Delta\Phi_x^0 =$

4.7.2.3 Установить переключатель «№ точки» в положение 5. Осциллограф переключить в режим «А и Б», синхронизация по каналу Б – внутренняя, развертка – автоколебательная. Произвести наблюдение выходного сигнала коммутатора совместно с сигналом развертки макета и зарисовать его на отдельном листе миллиметровой бумаги со всеми параметрами измеряемых сигналов. Перевести осциллограф в режим измерения по каналу А, синхронизация по каналу А – внешняя.

4.7.2.4 Ручкой «Уровень» добиться устойчивого изображения сигнала, без «наложения» одного на другой. В случае необходимости переключить коэффициент развертки «Время/дел» на одно положение влево и ручкой

«Уровень» добиться устойчивого изображения. Произвести измерение амплитуды  $U_5$  и интервала времени отображения гармонического сигнала  $t_5$ , а также амплитуды  $U_6$  и интервала времени отображения импульсного сигнала  $t_6$ . Полученную осциллограмму и результаты измерений занести в таблицу 4.4.

4.7.3 Выполнить измерения в соответствии с пунктом 4.6.3 задания к лабораторной работе.

4.7.3.1 Установить переключатель «№ точки» в положение 6. Осциллограф переключить в режим «А и Б», синхронизация по каналу А – внешняя, развертка – ждущая. Выключить генератор Г5-54. Добиться неподвижного изображения обоих сигналов ручкой «Уровень», а переключателем «Время/дел» установить 1 период сигнала. Зарисовать осциллограмму и измерить методом наложения величину задержки измерительного сигнала  $\tau_c$ , период  $T_c$  и рассчитать соответствующий фазовый сдвиг  $\varphi_x^0$ , руководствуясь методикой раздела П.7 приложения П. Результаты измерений, вычислений и осциллограммы занести в таблицу 4.4.

4.7.4 Выполнить построение в соответствии с пунктом 4.6.4 задания к лабораторной работе.

4.7.4.1 По результатам измерений и виду осциллограмм сигналов, характеризующих принцип работы двухканального осциллографа, построить предполагаемое изображение исследуемых сигналов, которые могли бы быть получены на экране ЭЛТ реального осциллографа за первый и второй ход развертки. Результат теоретического расчета в виде рисунка с результатами измерений привести в отчете.

4.7.4.2 Рассчитать погрешность цифровых измерений по подпунктам 4.7.2.1 и 4.7.2.2. Результаты расчетов привести в отчете.

4.7.5 Выключить приборы и макет, согласовать с преподавателем результаты измерений и приступить к оформлению отчета.

#### **4.8 Контрольные вопросы**

- 1 Описать принцип работы ЭО.
- 2 Из каких узлов и блоков состоит ЭО? Какова его структурная схема?
- 3 Какие функции выполняют каналы X, Y, Z ЭО? Из каких блоков они состоят и какими параметрами характеризуются?
- 4 Какие виды линейных разверток используются в ЭО? Каково назначение и принцип действия этих разверток?
- 5 Что такое синхронизация? Ее назначение в ЭО?
- 6 Какие виды синхронизации используются в ЭО? Каковы условия синхронизации?
- 7 Каким образом в двухканальном осциллографе обеспечивается возможность наблюдения двух сигналов?
- 8 Какими параметрами напряжения развертки определяется масштаб изображения по горизонтали при различных видах развертки?

9 Какова методика измерения амплитудных параметров с помощью ЭО?

10 Какие методы измерения временных параметров применяются в осциллографе С1-117?

11 Какова методика измерения сдвига фаз с помощью ЭО?

12 Каковы источники погрешности измерения с помощью ЭО?

13 Как выбирать размеры изображения на экране ЭЛТ для обеспечения минимальных погрешностей измерения?

### СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторным работам оформляется на стандартных листах бумаги. Текст отчета должен содержать цель работы, лабораторное задание, всю необходимую информацию об изучаемых приборах и проделанной работе, выводы по результатам выполнения каждого пункта лабораторного задания. Результаты измерений и расчетов сводятся в таблицы, которые должны соответствовать приведенным в методических указаниях. Отчеты должны содержать рабочие схемы и расчетные формулы, в соответствии с которыми проводился эксперимент и осуществлялась обработка полученных данных, также условие и ход решения задачи, приведенные в каждой лабораторной работе.

Сведения об используемых измерительных приборах должны быть оформлены по форме, приведенной в таблице 5.1.

Таблица 5.1

Наименование прибора	Тип прибора	Заводской номер	Основные технические характеристики

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

### ПРИБОР ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМБИНИРОВАННЫЙ Ц4353

#### А.1 Назначение

Прибор электроизмерительный комбинированный Ц4353 (рисунок А.1) с автоматической защитой от электрических перегрузок предназначен для измерения: силы и напряжения постоянного тока; среднеквадратичного значения силы и напряжения переменного тока синусоидальной формы; сопротивления постоянному току; электрической емкости; абсолютного уровня сигнала по напряжению переменного тока в электрических цепях.

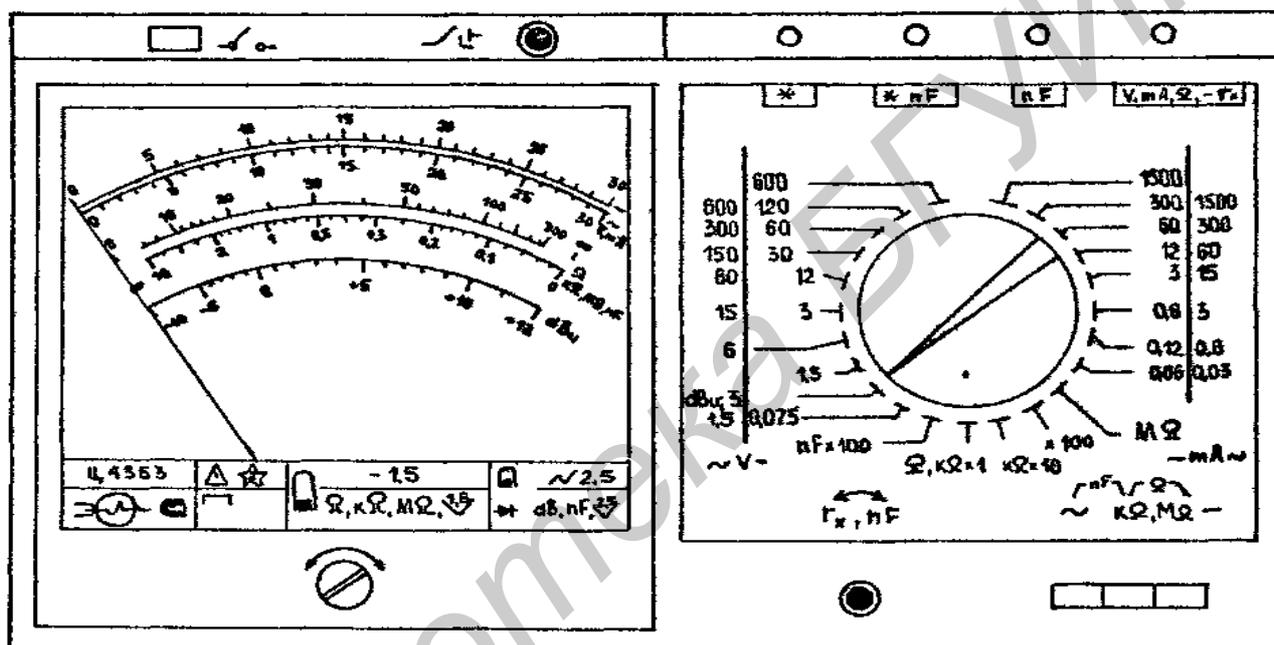


Рисунок А.1 – Внешний вид прибора Ц4353

#### А.2 Технические и метрологические характеристики

В данной лабораторной работе прибор Ц4353 используется только для измерения силы и напряжения постоянного тока, а также сопротивления постоянному току. Поэтому в таблице А.1 приведены технические и метрологические характеристики именно для этих режимов измерения.

При этом основная погрешность прибора ( $\gamma$ ) выражается в процентах в виде приведенной погрешности по формуле (1.17),

где  $\Delta$  – значение абсолютной погрешности, выраженное в единицах измеряемой величины или в единицах длины шкалы;

$X_N$  – нормируемое значение (конечные значения диапазонов измерений силы тока, напряжения постоянного тока или минимальные значения длин шкал диапазонов измерения сопротивления постоянному току).

Значения длин шкал  $l_{\text{ш}}$  на « $\Omega$ » – 62 мм, на «к $\Omega$ , М $\Omega$ » – 58 мм.

Таблица А.1

Измеряемая величина	Диапазон измерений	Класс точности	Предел допускаемого значения основной приведенной погрешности, % ( $\gamma$ )
Сила постоянного тока, мА	0...0,06; 0...0,12; 0...0,6; 0...3; 0...12; 0...60; 0...300; 0...1500	1,5	$\pm 1,5$
Напряжение постоянного тока, В	0...0,075; 0...1,5; 0...3; 0...12; 0...30; 0...60; 0...120; 0...600	1,5	$\pm 1,5$
Сопротивление постоянному току, кОм	0...0,3; 0...10; 0...100; 0...1000; 0...10000	1,5	$\pm 1,5$

Основная погрешность в режиме измерения сопротивления находится из формулы

$$\delta = \gamma \cdot \frac{l_{\text{ПР}}}{l_{\text{И}}}, \quad (\text{А.1})$$

где  $l_{\text{И}}$  – длина участка шкалы между нулевым значением и местом установления показания прибора на « $\Omega$ » и «к $\Omega$ , М $\Omega$ ».

Ток полного отклонения измерительного механизма, используемого в приборе, 29 мкА, и сопротивление измерительного механизма составляет не более 1000 Ом.

### А.3 Устройство и принцип работы

В приборе применен измерительный механизм магнитоэлектрической системы на растяжках с внутримочным магнитом.

Расширение диапазонов измерений осуществляется с помощью коммутации универсального шунта и добавочных сопротивлений.

Для работы в режиме измерения сопротивлений используются электрохимические источники тока, расположенные в камере с тыльной стороны корпуса.

### А.4 Методика работы с прибором

А.4.1 До подключения прибора к измеряемой цепи независимо от рода измеряемой величины проверить и при необходимости установить механический нуль с помощью корректора. Рабочее положение прибора – горизонтальное. Включить автоматическую защиту, нажав до упора кнопку .

А.4.2 Измерение силы постоянного тока.

А.4.2.1 Переключателем режимов работы установить род тока: постоянный (—).

А.4.2.2 Установить предел измерения тока, соответствующий измеряемому значению тока, а при неизвестном значении – максимальный предел 1500 мА.

А.4.2.3 Клеммы прибора «\*» и «V, mA,  $\Omega$ ,  $r_x$ » должны быть последовательно подключены к исследуемому участку цепи с соблюдением полярности.

При отклонении стрелки влево от нуля изменить полярность на противоположную. Выбрать предел измерения, обеспечивающий минимальную погрешность (стрелка должна находиться по возможности ближе к концу шкалы), и определить цену деления шкалы. Отсчитать измеренное значение как произведение цены деления на количество делений, указанное стрелкой по шкале « $V, mA \text{ —}$ ».

А.4.3 Измерение напряжения постоянного тока.

А.4.3.1 Переключателем режимов работы установить род тока: постоянный (—).

А.4.3.2 Установить предел измерения, соответствующий измеряемому значению напряжения, а при неизвестном значении – максимальный предел – 600 В.

А.4.3.3 Клеммы прибора должны быть подключены к «\*» и « $V, mA, \Omega, r_x$ » параллельно исследуемой цепи с соблюдением полярности. При отклонении стрелки влево от нуля – изменить полярность. Выбрать предел измерения, обеспечивающий минимальную погрешность, и определить цену деления шкалы. Отсчитать измеренное значение как произведение цены деления на количество делений, указанное стрелкой по шкале « $V, mA \text{ —}$ ».

А.4.4 Измерение сопротивления постоянному току.

А.4.4.1 Установить переключатель пределов в положение « $\Omega$ » и нажать обе кнопки « $k\Omega, M\Omega$ » и «—» переключателя режимов (при измерении сопротивления менее 300 Ом) или установить переключатель пределов в положения « $k\Omega \times 1$ », или « $k\Omega \times 10$ », или « $\times 100$ », или « $M\Omega$ » и нажать кнопку « $k\Omega, M\Omega$ » переключателя режимов (при измерении сопротивления более 300 Ом). В данной лабораторной работе используется только режим измерения сопротивлений более 300 Ом.

А.4.4.2 Провести установку тока полного отклонения. Алгоритм выполнения этой операции при выполнении данной лабораторной работы приведен в 1.7.3.3. В общем случае установить стрелку прибора на  $\infty$  по шкале « $\Omega$ » (при измерении сопротивления менее 300 Ом) или на 0 по шкале « $k\Omega, M\Omega, nF$ » при закороченных зажимах «\*» и « $V, mA, \Omega, r_x$ » (при измерении сопротивления более 300 Ом) ручкой « $r_x \rightleftarrows nF$ ».

А.4.4.3 При измерении сопротивлений менее 300 Ом измеряемый резистор подключен к клеммам «\*» и « $V, mA, \Omega, r_x$ » и отсчитывается значение сопротивления по шкале « $\Omega$ ». При измерении сопротивлений более 300 Ом измеряемый резистор подключается к клеммам «\*» и « $V, mA, \Omega, r_x$ » и отсчитывается значение сопротивления по шкале « $k\Omega, M\Omega$ » при умножении результата на  $\times 1, \times 10$  или  $\times 100$  в зависимости от положения переключателя пределов. При установке стрелки за пределами рабочей части шкалы выбирают более удобный предел, обеспечивающий наибольшую точность отсчета. По окончании измерений сопротивления необходимо перевести переключатель пределов в любое положение, кроме « $\Omega; k\Omega \times 1$ », « $k\Omega \times 10$ », « $\times 100$ », « $M\Omega$ », а переключатель режимов работы в положение « $\sim$ » или «—».

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

### ЦИФРОВОЙ КОМБИНИРОВАННЫЙ ПРИБОР M92A

#### Б.1 Назначение

Цифровой комбинированный прибор M92A (рисунок Б.1) предназначен для измерения: силы и напряжения постоянного тока; силы и напряжения переменного тока; сопротивления постоянному току; параметров диодов и транзисторов.

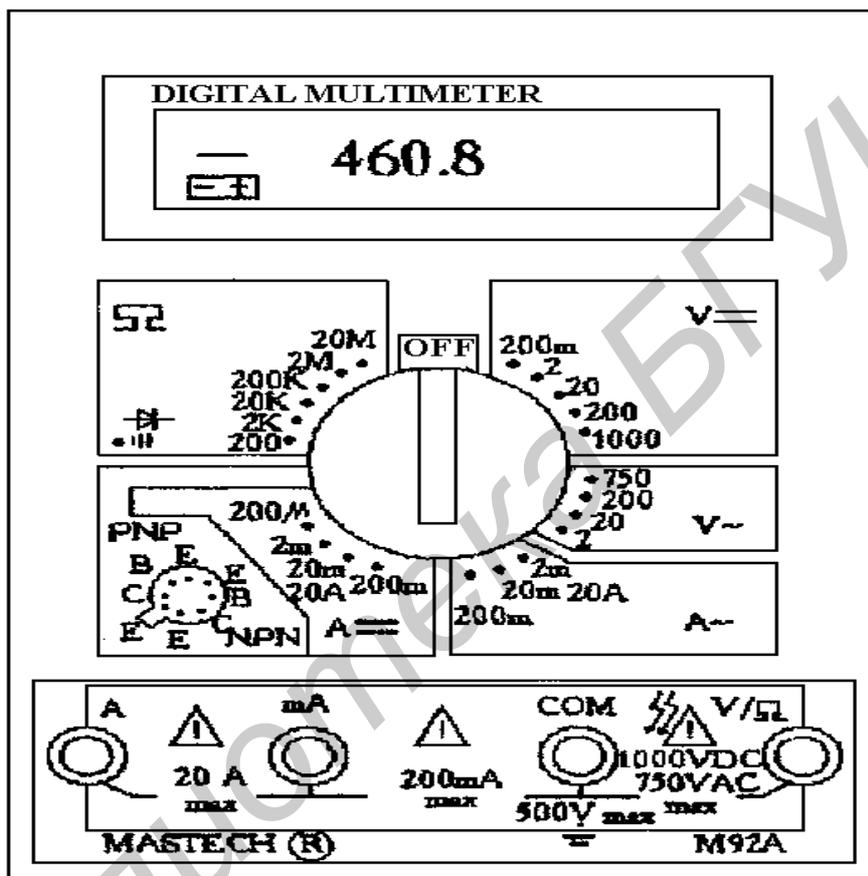


Рисунок Б.1 – Внешний вид цифрового комбинированного прибора M92A

#### Б.2 Технические и метрологические характеристики

В данной лабораторной работе прибор M92A используется только для измерения силы и напряжения постоянного тока, а также сопротивления постоянному току. Поэтому в таблице Б.1 приведены технические и метрологические характеристики именно для этих режимов измерения.

В таблице Б.1  $I_{и}$ ,  $U_{и}$ ,  $R_{и}$  – показания прибора в режимах измерения тока, напряжения и сопротивления соответственно.

#### Б.3 Методика работы с прибором

##### Б.3.1 Измерение силы постоянного тока.

Б.3.1.1 Установить переключатель на предел измерения силы постоянного тока (зона  $A_{\text{---}}$ ), соответствующий измеряемому значению тока, а при неизвестном значении – максимальный предел 200 мА.

Б.3.1.2 Клеммы прибора «СОМ» и «мА» должны быть подключены последовательно к исследуемому участку цепи. Выбрать предел измерения, при котором задействованы (первая цифра не ноль) все четыре индикаторных разряда, нет единицы у левого края индикатора, и произвести отсчет показания индикатора. Наличие единицы у левого края индикатора говорит о перегрузке прибора и необходимости перехода на высокий предел. Полярность тока отображается на индикаторе относительно потенциала клеммы «СОМ».

Б.3.2 Измерение напряжения постоянного тока.

Таблица Б.1

Измеряемая величина	Диапазон измерений	Абсолютная погрешность ( $\Delta$ )	Цена единицы младшего разряда
Сила постоянного тока	0...200 мкА	$\pm(0,008 \cdot I_{\text{И}} + 1 \text{ ед. мл. разр.})$	0,1 мкА
	0...2 мА		1 мкА
	0...20 мА	$\pm(0,012 \cdot I_{\text{И}} + 1 \text{ ед. мл. разр.})$	10 мкА
	0...200 мА		100 мкА
Напряжение постоянного тока	0...20 А	$\pm(0,02 \cdot I_{\text{И}} + 5 \text{ ед. мл. разр.})$	10 мА
	0...200 мВ		100 мкВ
	0...2 В	$\pm(0,005 \cdot U_{\text{И}} + 1 \text{ ед. мл. разр.})$	1 мВ
	0...20 В		10 мВ
0...200 В	$\pm(0,008 \cdot U_{\text{И}} + 2 \text{ ед. мл. разр.})$	100 мВ	
0...1000 В		1 В	
Сопротивление постоянному току	0...200 Ом	$\pm(0,008 \cdot R_{\text{И}} + 3 \text{ ед. мл. разр.})$	0,1 Ом
	0...2 кОм		1 Ом
	0...20 кОм	$\pm(0,008 \cdot R_{\text{И}} + 1 \text{ ед. мл. разр.})$	10 Ом
	0...200 кОм		100 Ом
	0...2 МОм	$\pm(0,01 \cdot R_{\text{И}} + 2 \text{ ед. мл. разр.})$	1 кОм
0...20 МОм	10 кОм		

Б.3.2.1 Установить переключатель на предел измерения напряжения постоянного тока (зона  $V_{\text{---}}$ ), соответствующий измеряемому значению напряжения, а при неизвестном значении – максимальный предел 1000 В.

Б.3.2.2 Клеммы прибора «СОМ» и «V/Ω» должны быть подключены параллельно исследуемой цепи. Выбрать предел измерения, при котором задействованы (первая цифра не ноль) все четыре индикаторных разряда, нет единицы у левого края индикатора и произвести отсчет показания индикатора. Наличие единицы говорит о перегрузке прибора и необходимости перехода на более высокий предел. Полярность напряжения отображается на индикаторе относительно потенциала клеммы «СОМ».

Б.3.3 Измерение сопротивления постоянному току.

Б.3.3.1 Установить переключатель на предел измерения сопротивления постоянному току (зона  $\Omega$ ), соответствующий измеряемому значению сопротивления, а при неизвестном значении – максимальный предел 20 МОм.

Б.3.3.2 Клеммы прибора «СОМ» и «V/ $\Omega$ » должны быть подключены к исследуемому участку цепи. Выбрать предел измерения, при котором задействованы (первая цифра не ноль) все четыре индикаторных разряда, нет единицы у левого края индикатора и произвести отсчет показания индикатора. Наличие единицы говорит о перегрузке прибора и необходимости перехода на более высокий предел.

Б.3.4 Выключение прибора производится установкой переключателя в положение «OFF».

Библиотека БГУИР

**ПРИЛОЖЕНИЕ В**  
(обязательное)

**МАГАЗИН СОПРОТИВЛЕНИЙ МСР-63**

**В.1 Назначение**

Магазин сопротивлений МСР-63 (рисунок В.1) предназначен для воспроизведения сопротивления постоянному току.

**В.2 Технические и метрологические характеристики**

Магазин воспроизводит сопротивление в диапазоне 0...99999,99 Ом. Класс точности –  $0,05/4 \cdot 10^{-6}$ . В соответствии с классом точности основная относительная погрешность воспроизведения сопротивления находится из формулы

$$\delta_{r_{MC}} = \pm \left[ 0,05 + 4 \cdot 10^{-6} \cdot \left( \frac{R_{KMC}}{R_{MC}} - 1 \right) \right] \%, \quad (B.1)$$

где  $R_{KMC} = 99999,99$  Ом – наибольшее значение воспроизводимого сопротивления;

$R_{MC}$  – значение воспроизводимого сопротивления.

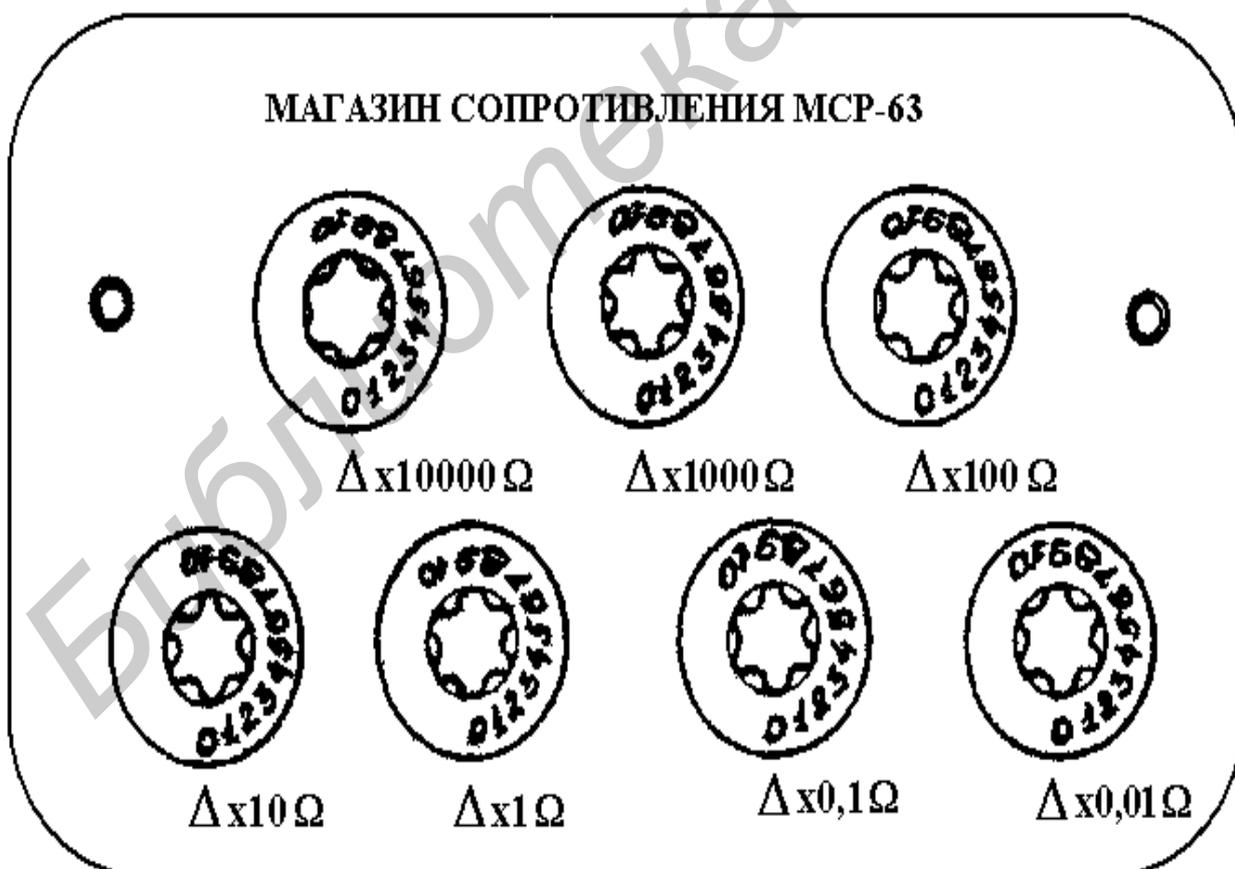


Рисунок В.1 – Внешний вид магазина сопротивлений МСР-63

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г (обязательное)

### ВОЛЬТМЕТР УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЦИФРОВОЙ В7-34

#### Г.1 Назначение

Вольтметр универсальный цифровой В7-34 (рисунок Г.1) предназначен для измерения напряжения постоянного и переменного токов; сопротивления постоянному току; отношения напряжений.

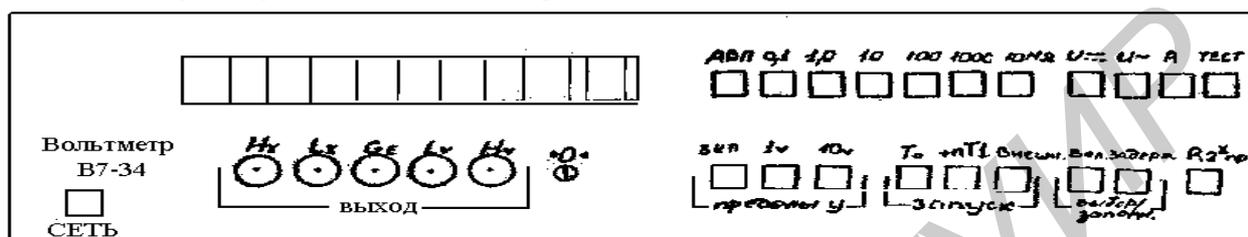


Рисунок Г.1 – Внешний вид вольтметра универсального цифрового В7-34

#### Г.2 Технические и метрологические характеристики

В данной лабораторной работе прибор В7-34 используется только для измерения напряжения постоянного тока и сопротивления постоянному току. Поэтому технические и метрологические характеристики прибора приведены именно для этих режимов измерения.

Пределы измерения: напряжение постоянного тока от  $10^{-6}$  до 1000 В ( $10^{-6}$ ;  $10^{-5}$ ; ... 100; 1000 В); сопротивление постоянному току – от  $10^{-3}$  до  $10^{-7}$  Ом ( $10^{-3}$ ;  $10^{-2}$ ; ...  $10^6$ ;  $10^7$  Ом).

Основная относительная погрешность измерения напряжения постоянного тока находится из формулы

$$\delta_{OU} = \pm \left[ 0,015 + 0,002 \cdot \left( \frac{U_{\text{ПР}}}{U_{\text{И}}} - 1 \right) \right] \%, \quad (\text{Г.1})$$

где  $U_{\text{ПР}}$  – предел, на котором проведено измерение напряжения;

$U_{\text{И}}$  – измеренное значение напряжения.

Основная относительная погрешность измерения сопротивления постоянному току находится из формулы

$$\delta_{Or} = \pm \left[ 0,02 + 0,002 \cdot \left( \frac{R_{\text{ПР}}}{R_{\text{И}}} - 1 \right) \right] \%, \quad (\text{Г.2})$$

где  $R_{\text{ПР}}$  – предел измерения сопротивления, на котором оно приведено;

$R_{\text{И}}$  – измеренное значение сопротивления.

#### Г.3 Подготовка прибора к работе

Установите тумблер СЕТЬ на передней панели вольтметра в верхнее положение, при этом на индикаторном табло появятся произвольные показания.

#### **Г.4 Методика работы с прибором**

Г.4.1 Нажмите кнопку АВП для обеспечения работы в режиме автоматического выбора пределов измерения.

Г.4.2 Нажмите кнопку «U  $\Rightarrow$ » при измерении напряжения или кнопки «R» и «R2\*пр» при измерении сопротивления и произведите отсчет результата измерения на индикаторном табло.

Библиотека БГУИР

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д (обязательное)

### ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ УНИВЕРСАЛЬНЫЙ

#### Д.1 Назначение

Источник питания универсальный (рисунок Д.1) предназначен для выработки выходного стабилизированного напряжения постоянного тока.

#### Д.2 Основные технические характеристики

Д.2.1 Диапазон регулирования выходного стабилизированного напряжения постоянного тока от 0 до 30 В двумя ступенями: от 0 до 15 В и от 15 до 30 В.

Д.2.2 Погрешность установки стабилизированного напряжения не более  $\pm 4\%$  от конечного значения рабочей части шкалы.

#### Д.3 Подготовка к работе

Д.3.1 Тумблер СЕТЬ ВКЛ. установить в нижнее положение.

Д.3.2 Тумблером «0 – 15 В», «15 – 30 В» УСТАН. НАПРЯЖ. установить требуемый поддиапазон (в лабораторной работе используется поддиапазон 0...15 В).

Д.3.3 Ручку ПЛАВНО УСТАН. НАПРЯЖ. повернуть влево до упора.

Д.3.4 Тумблер СЕТЬ ВКЛ. установить в верхнее положение. При этом должна загореться сигнальная лампочка на передней панели.

#### Д.4 Порядок работы

По истечении времени прогрева тумблер измерительного прибора установить в положение ВЫХОД НАПРЯЖ. и ручкой ПЛАВНО УСТАН. НАПРЯЖ. установить требуемое напряжение.



Рисунок Д.1 – Внешний вид источника питания универсального

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

(обязательное)

### ЧАСТОТОМЕР ЭЛЕКТРОННО-СЧЕТНЫЙ ЧЗ-63

#### Е.1 Назначение

Частотомер электронно-счетный ЧЗ-63 предназначен для:

- измерения частоты синусоидальных и частоты следования импульсных сигналов;
- измерения периода синусоидальных и периода следования импульсных сигналов;
- измерения длительности импульсов;
- измерений отношения частот электрических сигналов;
- счета числа электрических сигналов;
- выдачи сигнала опорной частоты;
- выдачи информации о результатах измерения на регистрирующее устройство.

#### Е.2 Основные технические характеристики

Е.2.1 Область измеряемых частот по входу А в диапазоне 0,1 Гц до 200 МГц при напряжении входного сигнала до 10 В.

Е.2.2 Относительная погрешность измерения частоты  $\delta_f$  не превышает значений

$$\delta_f = \pm \left( \delta_0 + \frac{1}{f_x \cdot T_{\text{И}}} \right),$$

где  $\delta_0$  – относительная нестабильность частоты опорного генератора;

$f_x$  – измеряемая частота в Гц;

$T_{\text{И}}$  – время счета (время измерения) в секундах.

Е.2.3 Относительная нестабильность частоты не более  $\pm 5 \cdot 10^{-7}$  по истечении времени установления 2 часа. Время готовности с относительной нестабильностью частоты  $\pm 5 \cdot 10^{-5}$  не превышает 1 мин в нормальных условиях.

Е.2.4 Область измеряемых единичных и усредняемых периодов по входу Б в диапазоне от 0,1 мкс до  $10^4$  с (10 мГц... $10^{-4}$  Гц) при напряжении входного сигнала до 10 В.

Число усредняемых периодов (множитель периода) 10,  $10^2$ ,  $10^3$ ,  $10^4$ . Период тактовой частоты (метки времени)  $10^{-7}$ ,  $10^{-6}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-4}$  с.

Е.2.5 Относительная погрешность измерения периодов импульсных сигналов  $\delta_T$  длительностью фронта не более половины периода  $T_0$  сигнала тактовой частоты не превышает значений

$$\delta_T = \pm \left( \delta_0 + \frac{T_0}{n \cdot T_x} \right),$$

где  $T_x$  – измеряемый период;

$n$  – число усредняемых периодов (множитель периода).

Е.2.6 Частотомер измеряет длительность импульсов любой полярности по входу Б от 0,1 мкс до  $10^4$  с при частоте следования не более 5 МГц и входном напряжении до 10 В.

Е.2.7 Относительная погрешность измерения длительности импульсов  $\delta_\tau$  при суммарной длительности фронта и среза не более половины периода  $T_0$  сигнала тактовой частоты не превышает значений

$$\delta_\tau = \pm \left( \delta_0 + \frac{T_0}{\tau_x} \right),$$

где  $\tau_x$  – длительность измеряемого импульса.

Е.2.8 Частотомер измеряет отношение частот сигналов, поданных на входы А (высшая из частот) и Б (низшая). Диапазон частот при этом: высшей – 0,1 Гц...200 МГц, низшей – 0,01 Гц...10 МГц.

Е.2.9 Погрешность измерения отношения частот импульсных сигналов не превышает значений

$$\delta_{f_B/f_H} = \pm \frac{f_H}{n \cdot f_B},$$

где  $f_H$  и  $f_B$  – низшая и высшая из частот;

$n$  – множитель периода сигнала низшей частоты (вход Б).

Е.2.10 Частотомер измеряет частоту собственных опорных сигналов (в режиме самоконтроля) 1; 10; 100 кГц; 1; 10 МГц с целью проверки работоспособности.

Е.2.11 Частотомер обеспечивает непосредственный отсчет результата в цифровой форме с гашением незначащих нулей, индикацией единиц измерения, десятичной точки и переполнения цифрового табло.

В режиме работы «с памятью» прибор обеспечивает хранение результата на время следующего цикла измерения, а в режиме «суммирования» индицирует набор информации во время измерения.

Е.2.12 При автоматическом запуске обеспечивается возможность плавной регулировки времени индикации 0,1...5,0 с. Время счета при измерении частоты по входу А 1, 10,  $10^2$ ,  $10^3$ ,  $10^4$  мс. Время счета при измерении периода определяется как  $n \cdot T_x$ .

Е.2.13 Прибор имеет автоматический, ручной и внешний запуск, а также возможность программного дистанционного управления.

Е.2.14 Входное сопротивление и входная емкость 1 МОм и 50 пФ по входам А и Б (вход В в работе не используется). Имеется возможность установки входного сопротивления по входу А – 50 Ом.

Е.2.15 Прибор допускает непрерывную работу в рабочих условиях не менее 16 ч.

### Е.3 Принцип работы и устройство прибора

#### Е.3.1 Принцип действия.

Принцип действия частотомера электронно-счетного основан на подсчете счетчиком импульсов, поступающих на его вход в течение определенного интервала времени.

При измерении частоты считаются импульсы, сформированные из измеряемого сигнала за время строб-импульса, длительность которого задается опорными частотами.

При измерении длительности импульса и периода подсчитывается количество импульсов опорной частоты (частоты заполнения или меток времени) за время строб-импульса, длительность которого при измерении  $\tau$  равна длительности измеряемого импульса.

Упрощенная структурная схема частотомера ЧЗ-63 представлена на рисунке Е.1.

Частотомер имеет три входа А, Б, В, предназначенные для подачи измеряемых сигналов при измерении соответственно частоты до 200 МГц (Вх. А), периода и длительности (Вх. Б) и частоты до 1 ГГц (Вх. В).

В состав частотомера входят: входные (ВхУ) и формирующие (ФУ) устройства, система делителей частоты (ДЧ, блок декадных ДЧ<sub>1</sub>, блок ДЧ<sub>2</sub>), триггер строга, временной селектор (ВС), счетчик импульсов (СчИ), отсчетное устройство (ОУ), схема управления, мультиплексоры и блок опорных частот. Последний в свою очередь состоит из задающего кварцевого генератора (КвГ) 5 МГц умножителя и делителя частоты и мультиплексора.

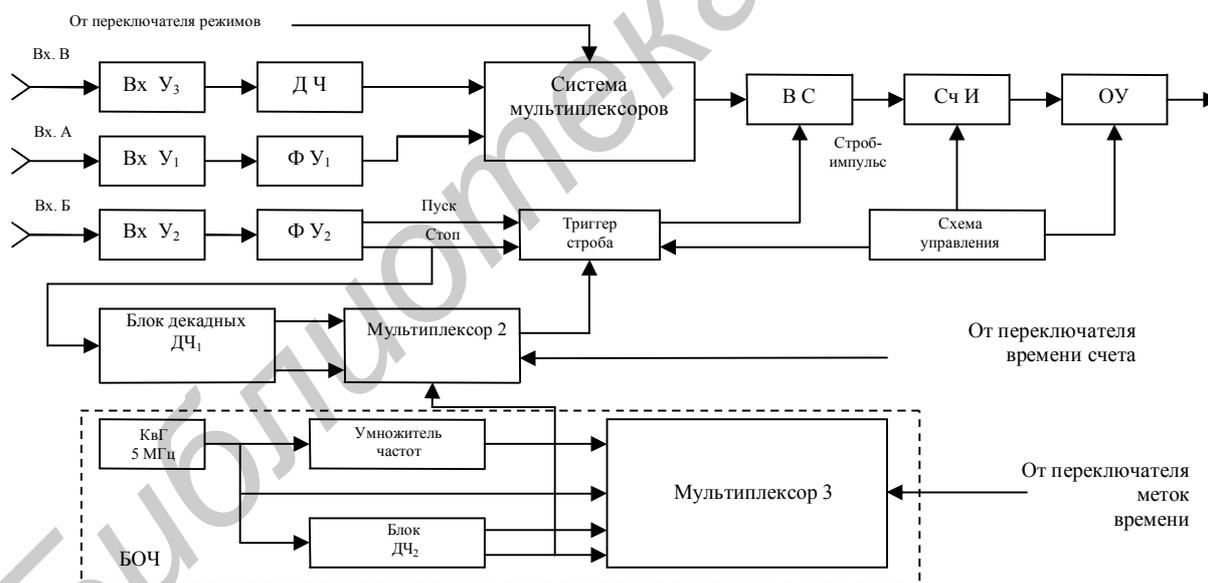


Рисунок Е.1 – Структурная схема частотомера электронно-счетного ЧЗ-63

Вх У<sub>1</sub> и Вх У<sub>2</sub> состоят из аттенюатора и усилителя и предназначены для ослабления или усиления измеряемого сигнала до уровня, необходимого для нормальной работы ФУ. Вх У<sub>3</sub> дополнительно содержит усилитель-ограничитель.

ФУ<sub>1</sub> и ФУ<sub>2</sub> осуществляют формирование импульсов с частотой входного сигнала, если он синусоидальный, либо улучшают фронты и ограничивают амплитуду при импульсной форме.

Мультиплексоры представляют собой многоканальные цифровые переключатели, состояние которых определяется цифровым кодом на управляющих входах. Наличие мультиплексоров позволяет выбирать режим работы частотомера либо с помощью механических переключателей прибора, либо дистанционно с помощью электрических сигналов.

Триггер строга формирует импульс, открывающий ВС на время измерения.

Схема управления предназначена для предварительной установки, переписи информации на ОУ, а также задает время индикации и управляет всем циклом измерения.

Назначение остальных узлов частотомера аналогично описанным в подразделе 2.2 лабораторной работы МИ-2.

Е.3.2 Расположение и назначение органов управления.

Е.3.2.1 Органы управления, индикации и соединительные разъемы расположены на лицевой (рисунок Е.2) и задней панелях и снабжены соответствующими надписями.

Е.3.2.2 На лицевой панели расположены:

- тумблер СЕТЬ, предназначенный для включения питания;
- кнопочный переключатель РОД РАБОТЫ, предназначенный для выбора вида измерений;
- переключатель ВРЕМЯ СЧЕТА ms/МНОЖ, предназначенный для выбора времени счета при измерении частоты и выбора коэффициента усреднения при измерении периода и отношения частот;
- переключатель МЕТКИ ВРЕМЕНИ s, предназначенный для выбора меток времени (частот заполнения) при измерении длительности импульса и выбора собственных опорных частот в режиме самоконтроля;
- потенциометр ВРЕМЯ ИНД, предназначенный для установки желаемого времени индикации информации на цифровом табло прибора;
- кнопка «\*/СУММ» (во включенном состоянии – суммирование), предназначенная для включения и отключения системы памяти, а в режиме суммирования для определения начала и конца счета;
- кнопка «ПУСК ↵», предназначенная для ручного запуска;
- кнопка «ПУСК ВНЕШ», предназначенная для внутреннего автоматического или внешнего пуска (в нажатом состоянии) прибора.



Рисунок Е.2 – Внешний вид частотомера электронно-счетного ЧЗ-63

Е.3.2.3 В зоне органов управления канала Б расположены:

- потенциометр УРОВЕНЬ, предназначенный для выбора уровня запуска по входу Б;
- переключатель «~/–», предназначенный для установки закрытого или открытого входа;
- переключатель «1:1/1:10», предназначенный для ослабления входного сигнала;
- переключатель «Л/П», служащий для выбора полярности;
- разъем Б, предназначенный для подачи сигнала.

Е.3.2.4 В зоне органов управления канала А расположены:

- потенциометр УРОВЕНЬ, переключатели «1:1/1:10», «~/–», разъем, выполняющие функции, аналогичные соответствующим органам канала Б;
- переключатель «1MΩ/50Ω», предназначенный для установки входного сопротивления канала А;
- переключатель «□□/□», предназначенный для выбора полосы пропускания канала.

Е.3.2.5 Переключатель «А–В» в зоне управления канала В, предназначенный для выбора низко- или высокочастотного канала при измерении частоты.

Е.3.2.6 Органы управления и присоединения, расположенные на задней панели, в работе не используются.

#### **Е.4 Подготовка к работе**

Е.4.1 Выключить кнопку ПУСК ВНЕШ.

Е.4.2 Установить тумблер СЕТЬ в верхнее положение. При этом должны засветиться один или несколько цифровых индикаторов.

Е.4.3 Прогреть прибор.

#### **Е.5 Проведение измерений**

Е.5.1 Измерение частоты по входу А.

Е.5.1.1 Нажать кнопку «f» (частота) переключателя РОД РАБОТЫ.

Е.5.1.2 Переключатель входа «А–В» установить в положение А.

Е.5.1.3 Переключатель «ВРЕМЯ СЧЕТА ms/МНОЖ» установить в положение соответственно требуемой точности измерения. Рекомендуется при измерении частот 0,1–10 Гц выбирать положение  $10^4$ , частот 100 Гц–1 МГц положение –  $10^3$ , а частот свыше 10 МГц –  $10^1$  или  $10^0$ .

Е.5.1.4 При измерении частот ниже 1 МГц переключатель «□□/□» установить в положение «□».

Е.5.1.5 Переключатели «~/–» и «1:1/1:10» установить в положения соответственно «~» и «1:10».

Е.5.1.6 Подать измеряемый сигнал на вход А.

Е.5.1.7 Вращением ручки УРОВЕНЬ добиться устойчивого счета (периодического мерцания светодиода в левом углу табло). При невозможности получения устойчивого счета выключить ослабление сигнала, установив положение «1:1».

Е.5.1.8 Произвести отсчет результата.

Примечания

1 После любых переключений первое показание табло может быть неверным.

2 При установке переключателя ВРЕМЯ СЧЕТА ms/МНОЖ в положение  $10^4$  отсчет будет получен через 10 с.

Е.5.2 Измерение периода (вход Б).

Е.5.2.1 Нажать кнопку  $T$  (период) переключателя РОД РАБОТЫ.

Е.5.2.2 Переключатель «ВРЕМЯ СЧЕТА ms/МНОЖ» установить в положений  $10^0$ , а переключатель «МЕТКИ ВРЕМЕНИ, s» – в зависимости от требуемой точности. Рекомендуется при измерении периодов менее единиц мс выбирать метки времени  $10^{-7}$  или  $10^{-6}$ , при измерении больших периодов (порядка сотен мс и более) –  $10^{-4}$  или  $10^{-3}$ .

Е.5.2.3 Установить переключатели «~/-» в положение «-», «Л/П», соответствующее полярности импульсов (в данной работе полярность импульсов положительная), «1:1/1:10» – в положение «1:10».

Е.5.2.4 Подать измеряемый сигнал на вход Б и вращением ручки уровень добиться устойчивого счета (периодического мерцания светодиода в левом углу табло). При необходимости выключить ослабление входного сигнала.

Е.5.2.5 Произвести отсчет показаний, изменив при необходимости время индикации соответствующей ручкой.

Е.5.2.6 Для получения более точных результатов измерения можно установить переключатель «ВРЕМЯ СЧЕТА ms/МНОЖ» в одно из положений  $10^1$ ,  $10^2$ ,  $10^3$ ,  $10^4$ , при этом измерение будет производиться соответственно за 10, 100, 1000 или 10000 периодов.

Е.5.3 Измерение длительности импульсов (вход Б).

Е.5.3.1 Нажать кнопку ДЛИТ переключателя РОД РАБОТЫ.

Е.5.3.2 Выполнить пункты Е.5.2.2–Е.5.2.4.

Е.5.3.3 Произвести отсчет результата.

Е.5.4 Измерение отношения частот (вход А и Б).

Е.5.4.1 Нажать кнопку «А/Б» переключателя РОД РАБОТЫ.

Е.5.4.2 Подать сигнал более высокой частоты на вход А, более низкой – на вход Б.

Е.5.4.3 Установить переключатель «ВРЕМЯ СЧЕТА ms/МНОЖ» в положение  $10^0$  (при необходимости повысить точность измерения допускается устанавливать данный переключатель в другие положения).

Е.5.4.4 Произвести отсчет результата.

Примечание – Другие режимы работы частотомера в данной лабораторной работе не используются.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Ж (обязательное)

### ГЕНЕРАТОР СИГНАЛОВ ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ Г4-117

#### Ж.1 Назначение

Генератор Г4-117 предназначен для испытания и настройки различных широкополосных систем и устройств видеочастоты.

#### Ж.2 Основные технические данные

Ж.2.1 Диапазон генерируемых частот от 20 Гц до 10 МГц (шесть поддиапазонов). Основная погрешность установки частоты не превышает  $\pm(0,02f + 1)$  Гц, на участке 100...200 Гц не более  $\pm(0,02f + 4)$  Гц.

Ж.2.2 Выходное напряжение регулируется в пределах 100 мкВ...3 В ступенями через 10 дБ с помощью ступенчатого аттенюатора и плавно в пределах каждой ступени ручкой РЕГ.ВЫХ (выход «3V»); в пределах 3...30 В – в диапазоне частот до 2 МГц (1...5 поддиапазоны) и 3...20 В – в диапазоне частот (2...10) МГц (6 поддиапазон) на выходе «30 V» только ручкой РЕГ.ВЫХ. Основная погрешность установки выходного напряжения по шкале стрелочного индикатора не превышает  $\pm 10\%$  от номинального конечного значения соответствующей шкалы.

#### Ж.3 Принцип работы генератора

Ж.3.1 Структурная схема генератора Г4-117 приведена на рисунке Ж.1. Внешний вид и расположение органов управления на лицевой панели приведены на рисунке Ж.2.

Ж.3.2 RC-генератор выполнен по схеме с мостом Вина. Диапазон частот выбирается переключателем поддиапазонов МНОЖИТЕЛЬ – МГц, а рабочая частота ручкой ЧАСТОТА (см. рисунки Ж.1, Ж.2).

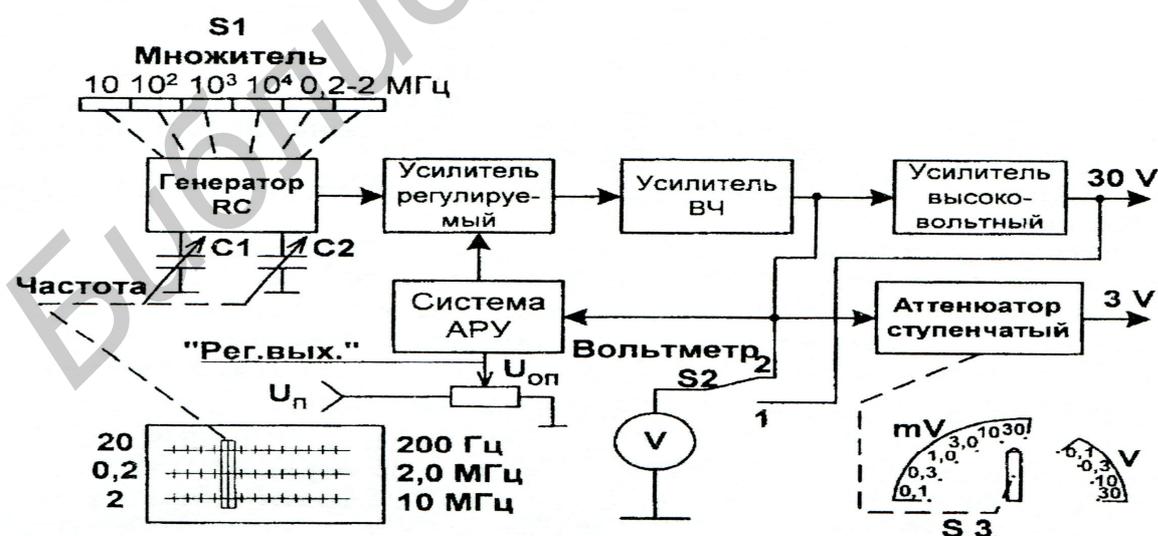


Рисунок Ж.1 – Структурная схема генератора Г4-117

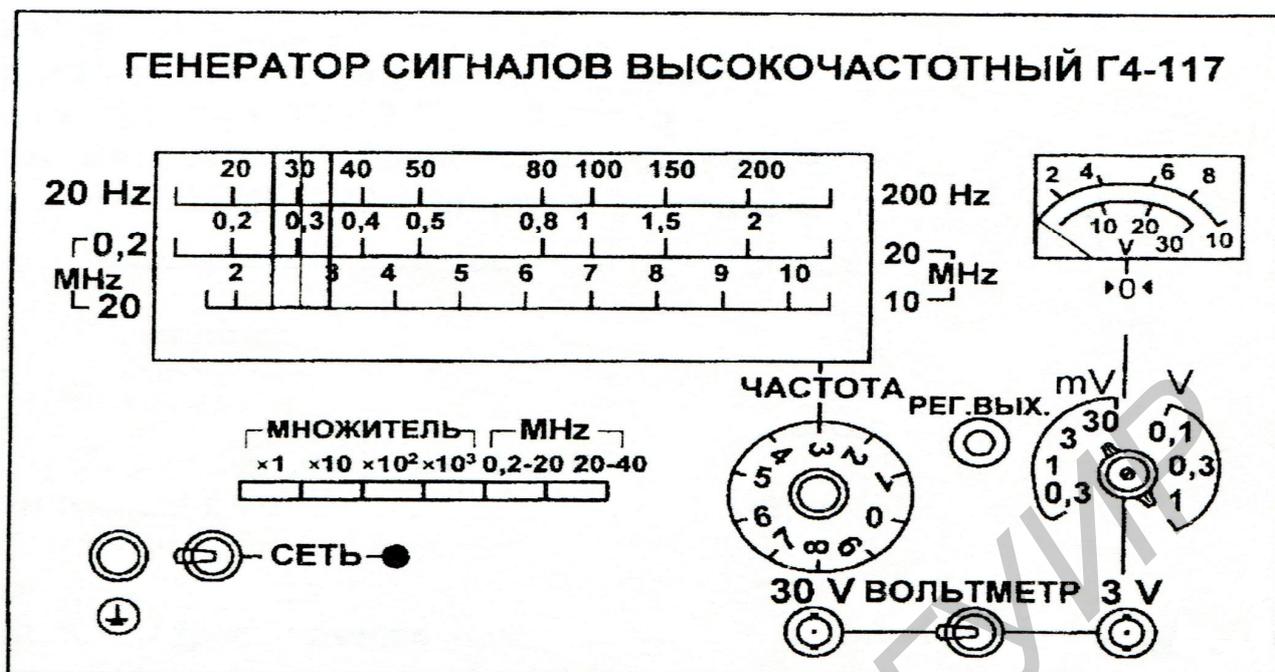


Рисунок Ж.2 – Внешний вид и расположение органов управления на лицевой панели генератора Г4-117

Ж.3.3 Синусоидальные колебания с RC-генератора поступают на регулируемый усилитель и усиливаются до 3 В усилителем ВЧ. Часть сигнала с усилителя ВЧ поступает на систему АРУ, детектируется и сравнивается с опорным уровнем  $U_{оп}$ . В результате вырабатывается постоянное напряжение, управляющее регулируемым усилителем. Таким образом, напряжение на выходе усилителя ВЧ определяется значением  $U_{оп}$ , которое устанавливается потенциометром РЕГ. ВЫХ.

Ж.3.4 Сигнал с усилителя ВЧ поступает через высоковольтный усилитель на выход «30V» и через ступенчатый аттенюатор на выход «3V». Уровень выходного сигнала измеряется вольтметром, который переключателем ВОЛЬТМЕТР включается на выход усилителя ВЧ (вход аттенюатора) или на выход высоковольтного усилителя.

#### Ж.4 Подготовка прибора к работе

Ж.4.1 Перед началом работы с прибором по надписям на лицевой панели ознакомиться с назначением органов управления.

Ж.4.2 Установить ручку РЕГ. ВЫХ в крайнее левое положение.

Ж.4.3 Включить прибор в сеть при помощи соединительного шнура и установить тумблер в положение СЕТЬ. При этом должна загореться сигнальная лампочка. Прогреть прибор в течение 2...3 мин.

Ж.4.4 За время самопрогрева убедиться в работоспособности прибора. Для этого необходимо:

- нажать одну из кнопок переключателя МНОЖИТЕЛЬ-МГц;

– установить тумблер ВОЛЬТМЕТР в правое положение и, вращая ручку РЕГ. ВЫХ, убедиться в наличии напряжения на выходе «3V».

### **Ж.5 Проведение измерений**

Ж.5.1 Установить необходимое значение частоты включением одного из поддиапазонов переключателем МНОЖИТЕЛЬ-MHz и ручкой ЧАСТОТА. Отсчет значения частоты в области 20 Гц...200 кГц (1...4-й поддиапазоны) осуществляется по верхней шкале с умножением на соответствующий множитель, а в области 0,2...2 МГц (5-й поддиапазон) и 2...10 МГц (6-й поддиапазон) – соответственно по средней и нижней частотным шкалам.

Ж.5.2 Подключить исследуемое устройство к выходу генератора «3V», если необходимое значение выходного напряжения не превышает 3,0 В, или к выходу «30V», если оно более 3,0 В.

Ж.5.3 Установить необходимое значение выходного напряжения ступенчато ручкой аттенюатора и плавно ручкой РЕГ.ВЫХ при правом положении тумблера ВОЛЬТМЕТР, если используется выход «3V», или только ручкой РЕГ.ВЫХ при левом положении тумблера ВОЛЬТМЕТР, если используется выход «30V».

## ПРИЛОЖЕНИЕ И (обязательное)

### ВОЛЬТМЕТР УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЦИФРОВОЙ В7-28

#### И.1 Назначение

Вольтметр универсальный цифровой В7-28 предназначен для измерений постоянного и переменного напряжения, сопротивления постоянному току, отношения двух постоянных напряжений, отношения переменного напряжения к постоянному.

#### И.2 Технические характеристики

И.2.1 Вольтметр обеспечивает измерение постоянного напряжения положительной и отрицательной полярности в диапазоне от 1 мкВ до 1000 В на пределах измерения 0,1; 1; 10; 100; 1000 В.

И.2.2 Вольтметр обеспечивает измерение переменного напряжения в диапазоне от 100 мкВ до 300 В на пределах измерений 1; 10; 100; 300 В. Диапазон частот измеряемого напряжения от 20 Гц до 100 кГц.

И.2.3 Основная относительная погрешность измерения переменного напряжения не превышает значений, приведенных в таблице И.1.

$U_{\text{пр}}$  – предел измерения по входу  $H_x$  вольтметра, В;

$U_V$  – показание вольтметра, В.

И.2.4 Вольтметр имеет следующие режимы работы:

- ручной выбор пределов измерений;
- автоматический выбор пределов измерений;
- разовый запуск;
- периодический запуск.

Таблица И.1

Частотный диапазон	20...60 Гц	60...5000 Гц	5...20 кГц	20...100 кГц
Основная относительная погрешность измерения переменного напряжения $\delta$ , %	$\pm(0,25 + 0,15 \cdot U_{\text{пр}}/U_V)$	$\pm(0,15 + 0,05 \cdot U_{\text{пр}}/U_V)$	$\pm(0,35 + 0,05 \cdot U_{\text{пр}}/U_V)$	$\pm(0,5 + 0,1 \cdot U_{\text{пр}}/U_V)$

И.2.5 Входное сопротивление вольтметра по входу  $H_x$  при измерении переменного напряжения составляет  $1,1 \pm 0,2$  МОм на всех пределах измерений. Входная шунтирующая емкость не превышает 50 пФ, а с входным кабелем не превышает 120 пФ.

#### И.3 Принцип работы

В основу принципа измерения постоянного напряжения положен метод двухтактного интегрирования. В основу принципа измерения сопротивления и переменного напряжения – метод преобразования измеряемых величин в про-

порциональное постоянное напряжение с дальнейшим измерением его по методу двухтактного интегрирования.

На рисунке И.1 приведена структурная схема универсального цифрового вольтметра и подключение его к объектам при измерении различных параметров, показаны основные функциональные узлы вольтметра, с помощью которых реализуются выбранные принципы измерения.

Вольтметр состоит из двух основных частей: аналоговой и цифровой.

Аналоговая часть предназначена: для преобразования измеряемого постоянного напряжения в пропорциональный временной интервал; преобразования измеряемого переменного напряжения и сопротивления в пропорциональное постоянное напряжение; определения полярности измеряемого постоянного напряжения; передачи в цифровую часть информации о значении и полярности измеряемого постоянного напряжения.

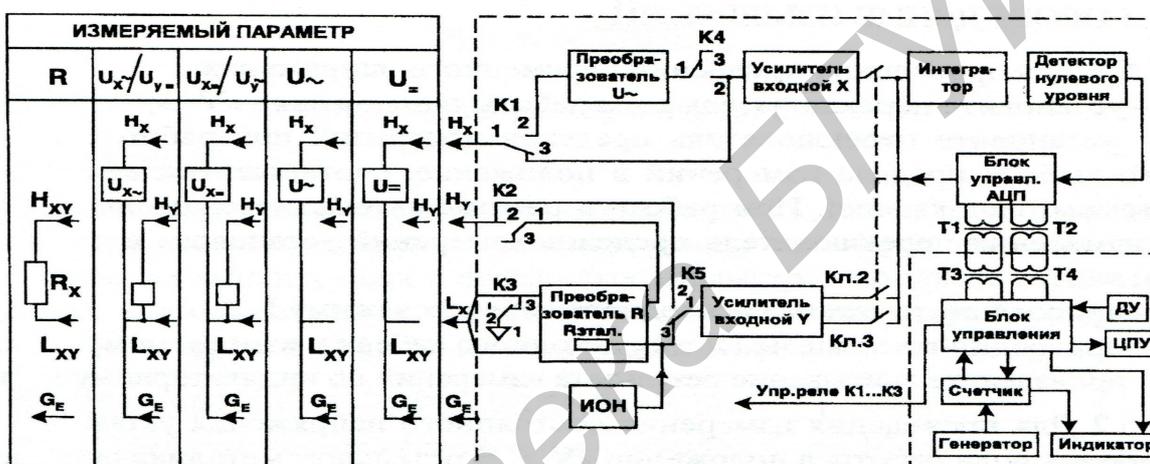


Рисунок И.1 – Структурная схема универсального цифрового вольтметра В7-28

Цифровая часть предназначена: для управления аналоговой частью; получения визуального отсчета измеряемых постоянного и переменного напряжения, сопротивления, отношений двух постоянных напряжений  $U_{X=}/U_{Y=}$  и отношения переменного напряжения к постоянному напряжению  $U_{X\sim}/U_{Y=}$ ; для вывода результата измерения на внешнее цифropечатающее устройство (ЦПУ); обеспечения дистанционного управления (ДУ) работой вольтметра.

На рисунке И.1 аналоговая часть изображена внутри защитного экрана. Связь между аналоговой и цифровой частями осуществляется через импульсные трансформаторы Т1–Т4.

Измеряемое постоянное напряжение подключается к вольтметру с помощью зажимов  $H_X$  и  $L_{XY}$  входного кабеля. В режиме измерения постоянного напряжения реле К1–К5 находятся в положении 3. Измеряемое напряжение подается на вход усилителя входного X. Выходной ток усилителя X, пропорциональный измеряемому постоянному напряжению, подается через замкнутый ключ Кл.1 на вход интегратора, находящегося в исходном (нулевом) состоянии, и заряжает интегратор в течение промежутка времени  $T_0$  (прямое интегрирование). После окончания прямого интегрирования выход усилителя входного X

отключается от входа интегратора и при помощи ключей Кл.2 и Кл.3 в зависимости от полярности измеряемого напряжения подключается к одному из выходов усилителя входного  $Y$ .

Выходной опорный ток усилителя  $Y$ , пропорциональный опорному напряжению  $U_0$ , вырабатываемому источником опорного напряжения (ИОН), разряжает интегратор в течение промежутка времени  $T_X$  (обратное интегрирование).

Разряд интегратора происходит до тех пор, пока он не возвратится в исходное (нулевое) состояние, которое фиксируется детектором нулевого уровня (ДНУ).

Метод интегрирования описывается выражением

$$T_X = T_0 \cdot \left( \frac{U}{U_0} \right),$$

где  $T_X$  – время обратного интегрирования;

$T_0$  – время прямого интегрирования;

$U$  – значение измеряемого напряжения;

$U_0$  – значение опорного напряжения.

Счетчик, считая количество импульсов генератора в течение времени  $T_X$ , дает возможность получить индикацию результата измерения в виде числа импульсов.

В режиме измерения сопротивления реле К1 и К4 переключаются в положение 2. Измеряемое переменное напряжение подключается с помощью зажимов  $H_X$  и  $L_{XY}$  входного кабеля на вход преобразователя  $U_{\sim}$ , где преобразуется в пропорциональное постоянное напряжение, которое, в свою очередь, измеряется описанным выше способом.

В режиме измерения сопротивления реле К1, К4, К5 переключаются в положение 3, реле К2, К3 – в положение 2. В режиме измерения отношения двух постоянных напряжений  $U_{X=}/U_{Y=}$  реле К1–К4 находятся в положении 3, К5 – в положении 2. В режиме измерения отношения переменного напряжения к постоянному  $U_{X\sim}/U_{Y=}$  реле К1, К4, К5 находятся в положении 2, реле К2, К3 – в положении 3. Внешний вид прибора приведен на рисунке И.2.

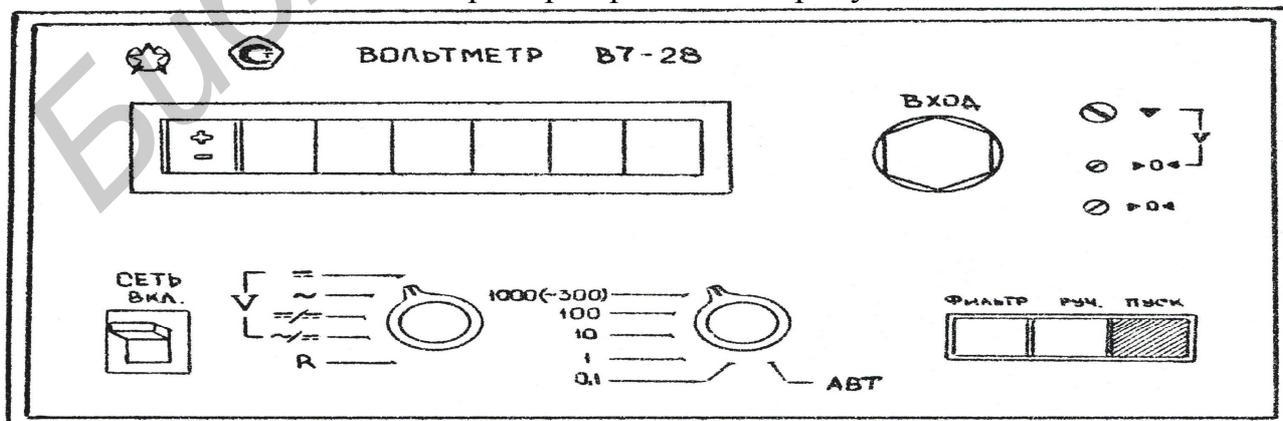


Рисунок И.2 – Внешний вид прибора В7-28

#### **И.4 Подготовка прибора к работе**

И.4.1 Включите вольтметр в сеть при помощи соединительного шнура и установите тумблер СЕТЬ в положение ВКЛ. Прогреть прибор в течение 2...3 мин.

И.4.2 Установите переключатель пределов измерений в положение АВТ при работе в режиме автоматического выбора пределов измерений или положение «1000 (~300)» при работе в режиме ручного выбора пределов измерений.

#### **И.5 Проведение измерений**

И.5.1 Для проведения измерений переменного напряжения:

- установите переключатель рода работы в положение « $V_{\sim}$ »;
- установите переключатель пределов измерений при работе в режиме ручного выбора предела измерений в положение, соответствующее значению измеряемого напряжения.

При работе в режиме автоматического выбора пределов измерений:

- переключатель пределов измерений установите в положение АВТ;
- произведите считывание результата измерений по индикаторному табло.

И.5.2 Для проведения измерения постоянного напряжения установите переключатель рода работы в положение « $V_{=}$ ». В остальном методика проведения измерения аналогична приведенной в подразделе И.5.1.

## ПРИЛОЖЕНИЕ К (обязательное)

### МИЛЛИВОЛЬТМЕТР ВЗ-38

#### К.1 Назначение

Милливольтметр ВЗ-38 предназначен для измерения напряжения переменного тока. Внешний вид прибора приведен на рисунке К.1.

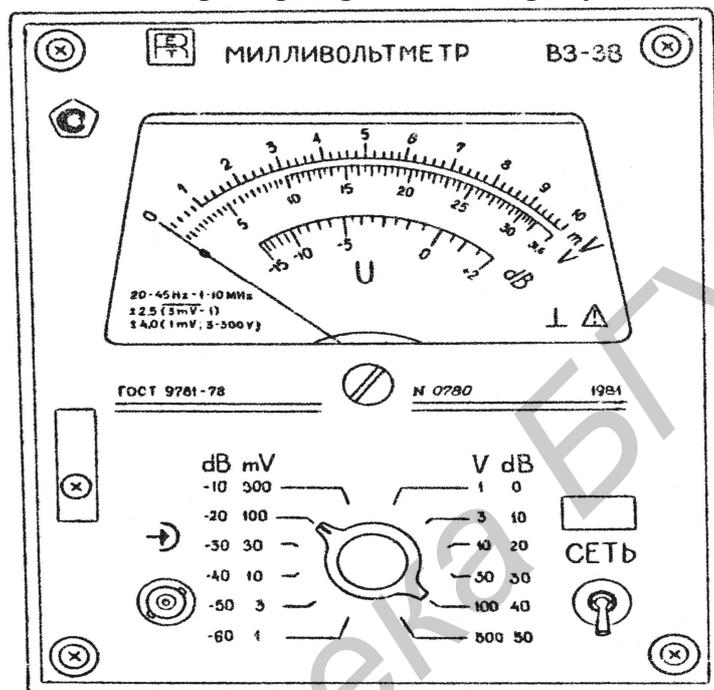


Рисунок К.1 – Внешний вид прибора ВЗ-38

#### К.2 Технические характеристики

К.2.1 Пределы измерения: 1; 3; 10; 30; 100; 300 мВ; 1; 3; 10; 30; 100 и 300 В.

К.2.2 Диапазон частот измеряемых напряжений: 20 Гц...5 МГц.

К.2.3 Основная приведенная погрешность прибора, выраженная в процентах от установленного предела измерения, не превышает  $\pm 2,5\%$  в поддиапазонах 1...300 мВ и  $\pm 4\%$  в поддиапазонах 1...300 В для диапазона частот 45 Гц...1 МГц.

К.2.4 Входное сопротивление не менее 5 МОм на пределах измерения 1...300 мВ и не менее 4 МОм на пределах измерения 1...300 В.

К.2.5 Входная емкость не превышает 30 пФ на пределах измерения 1...300 мВ и не превышает 15 пФ на пределах измерения 1...300 В.

#### К.3 Принцип работы

К.3.1 Милливольтметр ВЗ-38 является электронным аналоговым вольтметром прямого преобразования.

К.3.2 Милливольтметр имеет детектор средневыпрямленного значения.

К.3.3 Шкала прибора проградуирована в среднеквадратических значениях синусоидального напряжения.

К.3.4 Вход прибора закрытый.

К.3.5 Структурная схема милливольтметра соответствует рисунку 3.2, б.

#### **К.4 Подготовка прибора к работе**

К.4.1 Установить переключатель пределов измерения «30 В», включить питание (тумблер СЕТЬ в верхнем положении), прогреть прибор в течение 2...3 мин.

К.4.2 Подать исследуемый сигнал на вход прибора путем подключения входного кабеля к исследуемому участку электрической цепи.

#### **К.5 Проведение измерений с прибором**

К.5.1 Согласовать прибор с параметрами исследуемого сигнала путем установки переключателя пределов измерений в положение, соответствующее уровню измеряемого напряжения (стрелка индикатора должна оказаться за пределами первой трети отсчетной шкалы).

К.5.2 Измерить  $U_{CB}$  исследуемого сигнала путем снятия показаний прибора  $U_V$  и вычисления

$$U_{CB} = U_V / 1,11. \quad (К.1)$$

## ПРИЛОЖЕНИЕ Л (обязательное)

### МИКРОВОЛЬТМЕТР ВЗ-40

#### Л.1 Назначение

Микровольтметр ВЗ-40 предназначен для измерения напряжения переменного тока произвольной формы. Внешний вид прибора приведен на рисунке Л.1.

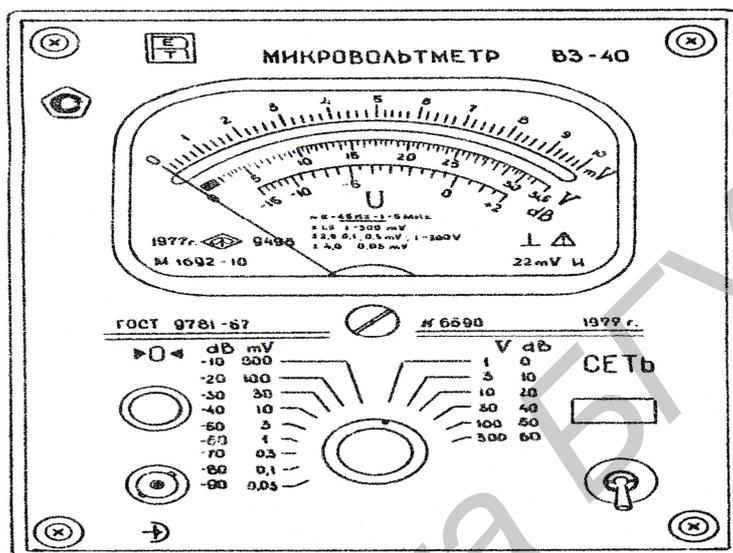


Рисунок Л.1 – Внешний вид прибора ВЗ-40

#### Л.2 Технические характеристики

Л.2.1 Пределы измерения: 0,03; 0,1; 0,3; 1; 3; 10; 30; 100; 300 мВ; 1; 3; 10; 30; 100; 300 В.

Л.2.2 Диапазон частот измеряемых напряжений: 5 Гц...5 МГц.

Л.2.3 Основная приведенная погрешность прибора, выраженная в процентах от установленного предела измерения, не превышает  $\pm 1,5\%$  на пределах 1...300 мВ,  $\pm 2,5\%$  на пределах 0,1...0,3 мВ, 1...300 В и  $\pm 4\%$  на пределе 0,03 мВ в диапазоне частот 45 Гц...1 МГц.

Л.2.4 Входное сопротивление прибора не менее 2,5 МОм.

Л.2.5 Входная емкость не превышает 30 пФ на пределах 0,3...300 мВ и 15 пФ на пределах 1...300 В.

#### Л.3 Принцип работы

Л.3.1 Микровольтметр ВЗ-40 является электронным аналоговым вольтметром прямого преобразования.

Л.3.2 Микровольтметр имеет детектор среднеквадратичного значения.

Л.3.3 Шкала прибора проградуирована в среднеквадратичных значениях напряжения произвольной формы.

Л.3.4 Вход прибора закрытый.

Л.3.5 Структурная схема микровольтметра соответствует рисунку 3.2, б.

#### **Л.4 Подготовка прибора к работе**

Л.4.1 Установить переключатель пределов в положение «300 В», включить питание (тумблер СЕТЬ в верхнем положении), прогреть прибор в течение 2...3 мин, установить стрелку прибора ручкой «► 0 ◄» на зачерченный сектор шкалы.

Л.4.2 Подать исследуемый сигнал на вход прибора путем подключения входного кабеля к исследуемому участку электрической цепи.

#### **Л.5 Проведение измерений с прибором**

Л.5.1 Согласовать прибор с параметрами исследуемого сигнала путем установки переключателя пределов измерения в положение, соответствующее уровню измеряемого напряжения (стрелка индикатора должна оказаться за пределами первой трети отсчетной шкалы).

Л.5.2 Измерить  $U_{СК}$  исследуемого сигнала путем снятия показания прибора:

$$U_{СК} = U_V. \quad (Л.1)$$

## ПРИЛОЖЕНИЕ М (обязательное)

### МИЛЛИВОЛЬТМЕТР ИМПУЛЬСНОГО ТОКА В4-12

#### М.1 Назначение

Милливольтметр В4-12 предназначен для измерения амплитудных значений видеоимпульсов прямоугольной формы положительной и отрицательной полярности, отсчитываемых от линии среднего значения, а также амплитуд синусоидальных напряжений.

Внешний вид прибора приведен на рисунке М.1.

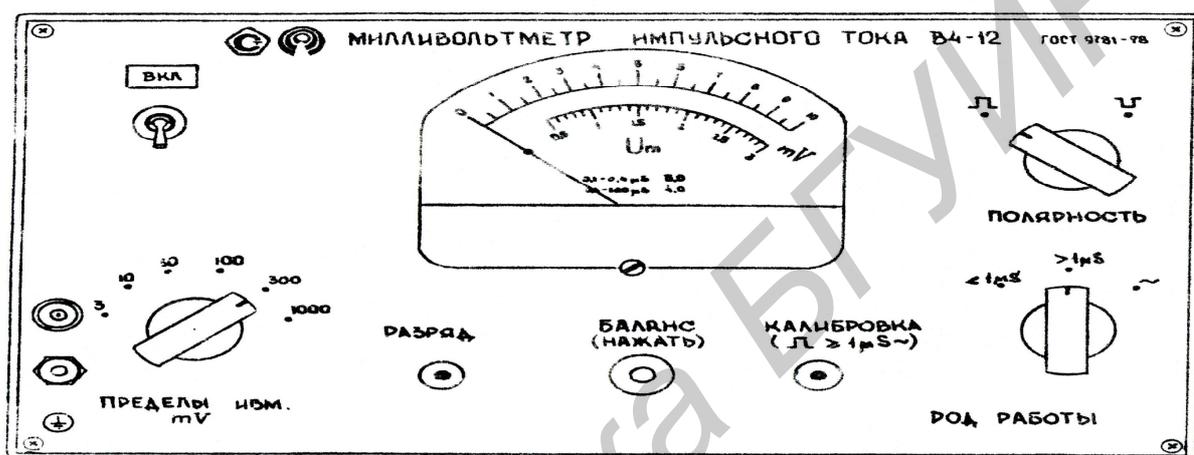


Рисунок М.1 – Внешний вид прибора В4-12

#### М.2 Технические характеристики

М.2.1 Пределы измеряемых значений напряжений: 3; 10; 30; 100; 300; 1000 мВ.

М.2.2 Основная приведенная погрешность, выраженная в процентах от конечного значения рабочей части шкалы, не превышает  $\pm 4\%$  при измерении амплитуды напряжений видеоимпульсов длительностью от 0,4 до 300 мкс и амплитуды синусоидальных напряжений в области частот от 500 Гц до 1 МГц, а также не превышает  $\pm 6\%$  при измерении импульсов длительностью от 0,1 до 0,4 мкс и амплитуды синусоидальных напряжений в расширенной области частот выше 1 МГц до 5 МГц.

М.2.3 Входное сопротивление прибора не менее 1 МОм, входная емкость не более 10 пФ.

#### М.3 Принцип работы

Структурная схема милливольтметра В4-12 соответствует схеме рисунка 3.2, б. Милливольтметр содержит детектор пикового значения, его шкала проградуирована в пиковых значениях напряжения. Детектор пикового значения выполнен по автокомпенсационной схеме, приведенной на рисунке М.2, а. Принцип работы детектора поясняется временными диаграммами, приведенными на рисунке М.2, б.

С приходом измеряемого импульса заряжается один из конденсаторов формирователя импульсов. После окончания импульса он медленно разряжается через резистор, обеспечивая появление на выходе формирователя импульсов, наличие расширенных импульсов, длительность которых определяется амплитудой входного импульса. Усилитель усиливает импульсы до уровня, при котором их постоянная составляющая окажется равной амплитуде входного импульса. Управление коэффициентом усиления осуществляется сигналом на выходе схемы сравнения. Формирователь компенсационного напряжения формирует напряжение постоянного тока, равное постоянной составляющей импульсного сигнала на его входе.

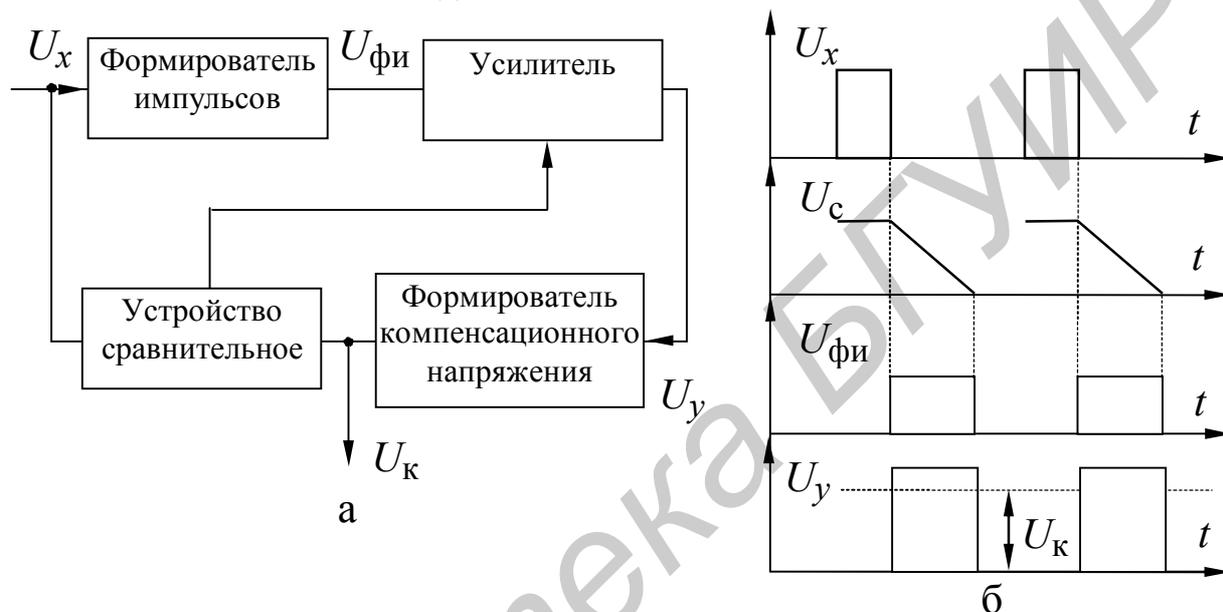


Рисунок М.2 – Структурная схема и принцип работы детектора В4-12

#### М.4 Подготовка прибора к работе

М.4.1 Установить максимальный предел измерения 1000 mV, включить питание прибора (тумблер СЕТЬ в верхнем положении), прогреть прибор в течение 2...3 мин, установить электрический нуль прибора, вращая нажатую ручку БАЛАНС.

М.4.2 Подать исследуемый сигнал на вход прибора путем подключения входного кабеля к исследуемому участку электрической цепи.

#### М.5 Проведение измерений с прибором

М.5.1 Согласовать прибор с параметрами исследуемого сигнала путем установки переключателей РОД РАБОТЫ и ПОЛЯРНОСТЬ в положения, соответствующие форме, длительности и полярности (при импульсных сигналах) исследуемого сигнала, и установить переключатель ПРЕДЕЛЫ ИЗМ. mV в положение, соответствующее уровню исследуемого сигнала (стрелка прибора должна находиться за пределами первой трети отсчетной шкалы).

М.5.2 Измерить амплитудное значение  $U_m$  переменной составляющей исследуемого сигнала путем отсчета показаний прибора:

$$U_m = U_V. \quad (M.1)$$

## ПРИЛОЖЕНИЕ Н

(обязательное)

### ОСЦИЛЛОГРАФ УНИВЕРСАЛЬНЫЙ С1-72

#### Н.1 Назначение

Н.1.1 Осциллограф С1-72 предназначен для визуального наблюдения изменения напряжения электрических сигналов во времени, а также для измерения их амплитудных и временных параметров. Внешний вид прибора приведен на рисунке Н.1.

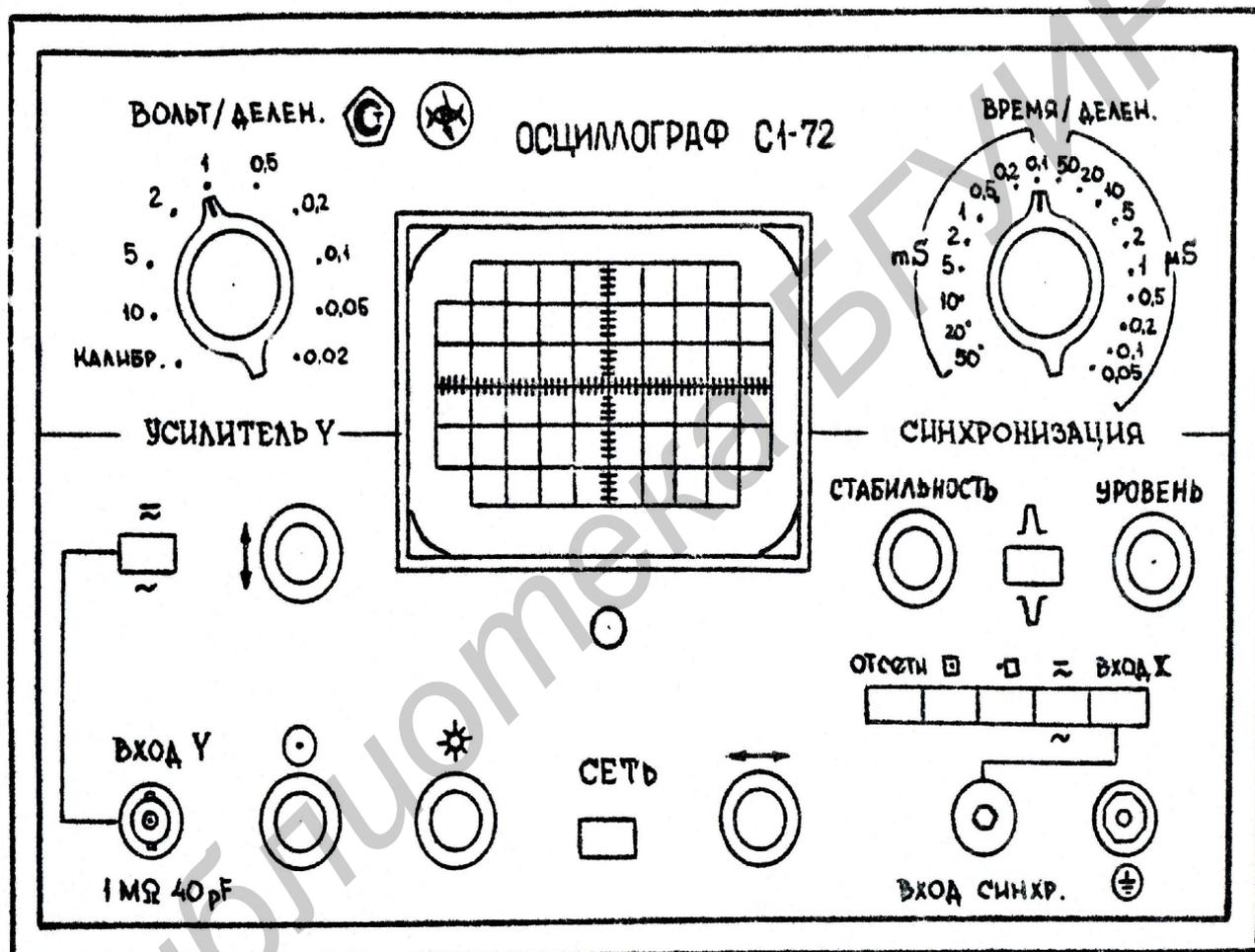


Рисунок Н.1 – Внешний вид прибора С1-72

#### Н.2 Технические характеристики

Н.2.1 Рабочая часть экрана не более 40 мм по вертикали и 80 мм по горизонтали.

Н.2.2 Полоса пропускания канала вертикального отклонения:

- при открытом входе от постоянного тока до 10 МГц;
- при закрытом входе от 5 Гц до 10 МГц.

Н.2.3 Максимальная чувствительность канала вертикального отклонения 0,3 мм/мВ. Максимальная амплитуда исследуемого сигнала 60 В.

Н.2.4 Коэффициент отклонения луча по вертикали калиброван и устанавли-

ливается ступенями от 20 мВ/дел до 10 В/дел (0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10 В/дел).

Н.2.5 Осциллограф может работать в режимах непрерывной и ждущей разверток, а также в режиме развертки внешним сигналом.

Н.2.6 Синхронизация генератора развертки может осуществляться исследуемым сигналом (внутренняя синхронизация), внешним синусоидальным или импульсным сигналом частотой от 5 Гц до 10 МГц и амплитудой от 0,3 до 3 В (внешняя синхронизация), а также напряжением питающей сети.

Н.2.7 Диапазон калиброванных длительностей развертки от 50 мс/дел до 0,05 мкс/дел (50; 20; 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,2; 0,1 мс/дел; 50; 20; 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,2; 0,1; 0,05 мкс/дел).

### **Н.3 Принцип работы**

Прибор С1-72 является типичным универсальным электронно-лучевым осциллографом. Принципы работы электронно-лучевых осциллографов рассмотрены в методических указаниях к лабораторной работе МИ-4.

### **Н.4 Подготовка прибора к работе**

Н.4.1 Нажать кнопку СЕТЬ, установить ручку « $\Theta$ » (фокусировка луча), «\*» (яркость луча) в среднее положение, установить ручку СТАБИЛЬНОСТЬ в крайнее правое положение (непрерывный режим работы генератора развертки), установить ручку ВРЕМЯ/ДЕЛЕН в положение «0,1 мС», отжать кнопку ВХОД X, установить ручку переключателя ВОЛЬТ/ДЕЛЕН, в положение «10».

Н.4.2 Прогреть прибор в течение 2...3 мин, установить в середине экрана четкую горизонтальную линию с помощью ручек « $\uparrow$ », « $\leftrightarrow$ », « $\Theta$ » и «\*», подключить к гнезду ВХОД Y кабель.

Н.4.3 Подать исследуемый сигнал на вход прибора путем подключения входного кабеля к исследуемой электрической цепи.

### **Н.5 Проведение измерений с прибором**

Согласовать прибор с параметрами исследуемого сигнала путем выбора входа (кнопка « $\approx$ » отжата – закрытый вход), выбрать ослабление Y канала (ручка переключателя ВОЛЬТ/ДЕЛЕН. в положении, при котором яркая горизонтальная полоса занимает наибольшую часть экрана, не выходя за его пределы), выбрать запуск генератора развертки (внутренняя синхронизация – нажата кнопка « $\square$ »), выбрать параметры развертываемого сигнала (ручка «ВРЕМЯ/ДЕЛЕН» в положении, при котором изображение 2–3 периодов исследуемого сигнала медленно перемещается на экране), обеспечить неподвижность изображения исследуемого сигнала (ручка УРОВЕНЬ в крайнем левом положении, ручка СТАБИЛЬНОСТЬ – в положении, при котором исчезает изображение с экрана осциллографа, затем поворот ручки УРОВЕНЬ вправо до появления устойчивого изображения исследуемого сигнала).

## **ПРИЛОЖЕНИЕ П** (обязательное)

### **ОСЦИЛЛОГРАФ УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ДВУХКАНАЛЬНЫЙ С1-117**

#### **П.1 Назначение**

Осциллограф универсальный двухканальный С1-117 2.044:016 предназначен для исследования электрических сигналов путем визуального наблюдения и измерения их амплитудных и временных параметров по шкале экрана ЭЛТ и измерений с помощью меток, задаваемых оператором вручную, с индикацией результатов измерения на светодиодном индикаторе.

#### **П.2 Основные технические данные**

П.2.1 Диапазон частот исследуемых сигналов – до 10 МГц.

П.2.2 Размер экрана осциллографа 60×80 мм (8×10 дел).

П.2.3 Ширина линии луча должна быть не более:

- 1) 0,1 дел при коэффициентах отклонения более 1 мВ/дел;
- 2) 0,3 дел при коэффициенте отклонения 1 мВ/дел;
- 3) 0,4 дел при коэффициентах отклонения 0,5 и 0,2 мВ/дел;
- 4) 0,5 дел при коэффициенте отклонения 0,1 мВ/дел.

Геометрические искажения не превышают 3 %.

П.2.4 Тракт вертикального отклонения обеспечивает следующие режимы работы:

- канал А;
- каналы А и Б (синхронизация по каналу А);
- суммирование А + Б (синхронизация по каналу А);
- каналы А и Б (синхронизация по каналу Б);
- канал Б;
- инвертирование сигналов в канале Б.

П.2.5 Коэффициенты отклонения должны устанавливаться пятнадцатью калиброванными ступенями от 0,1 мВ/дел до 5 В/Дел в отношении 1:2:5 и плавно увеличиваться относительно калиброванным положениям не менее чем в 2,5 раза.

П.2.6 Предел допускаемой основной погрешности коэффициентов отклонения не превышает  $\pm 4\%$ . Дополнительная погрешность коэффициентов отклонения в рабочих условиях не превышает половины основной.

П.2.7 Параметры входа канала вертикального отклонения: при непосредственном входе входное активное сопротивление составляет  $(1 \pm 0,02)$  МОм, входная емкость не более 35 пФ.

П.2.8 Допустимое суммарное значение постоянного и переменного напряжений на закрытых входах каждого канала вертикального отклонения составляет 300 В, на открытом входе 100 В, с делителем 1:10 300 В на закрытом и открытом входах.

П.2.9 Тракт горизонтального отклонения обеспечивает следующие

режимы работы: автоколебательный, ждущий, однократный.

П.2.10 Коэффициент развертки в приборе устанавливается девятнадцатью калиброванными положениями от  $5 \cdot 10^{-7}$  до 0,5 с/дел в отношении 1:2:5. В приборе обеспечивается плавное увеличение коэффициента развертки относительно калиброванного положения не менее чем в 2,5 раза.

П.2.11 В осциллографе обеспечивается десятикратная растяжка развертки.

П.2.12 Основная погрешность коэффициентов развертки не превышает  $\pm 4$  %.

П.2.13 Основная погрешность коэффициентов развертки при включенной «растяжке» не превышает  $\pm 5$  %.

П.2.14 Калибратор напряжения и времени должен обеспечивать на выходе прямоугольные импульсы положительной полярности амплитудой 0,6 В и частотой следования 1 кГц.

П.2.15 В приборе обеспечивается режим цифровых измерений амплитудных параметров гармонических сигналов в диапазоне частот от 100 Гц до 3 МГц и импульсных сигналов длительностью импульса от 500 нс до 10 мс в диапазоне амплитудных значений от 5 мВ до 40 В.

П.2.16 Основная погрешность цифрового измерения амплитудных параметров сигнала при размере изображения сигнала не менее четырех делений шкалы ЭЛТ не превышает значений, определяемых по формуле

$$\delta_U = \left[ 2 + 0,15 \cdot \left( \frac{U_{\Pi}}{U_X} - 1 \right) \right],$$

где  $\delta_U$  – основная погрешность измерения амплитудных параметров сигнала, %;

$U_{\Pi}$  – значение предела измерения (поддиапазона), В, (0,04; 0,4; 4; 400);

$U_X$  – значение измеряемого напряжения, В.

П.2.17 В приборе обеспечивается режим цифровых измерений временных параметров сигнала с помощью меток, задаваемых вручную в диапазоне от 100 нс до 100 мс.

П.2.18 Основная погрешность цифровых измерений временных параметров сигнала в диапазоне от 100 нс до 100 мкс для размера изображения по экрану не менее 4 дел не превышает значений, определяемых по формуле

$$\delta_{T(\tau)} = \pm \left[ 2 + 0,2 \cdot \left( \frac{T_{\Pi}}{T_X} - 1 \right) \right].$$

Основная погрешность цифровых измерений временных интервалов в диапазоне от 100 мкс до 100 мс для размера изображения по экрану не менее 4 дел не превышает значений, определяемых по формуле

$$\delta_{T(\tau)} = \pm \left[ 1 + 0,2 \cdot \left( \frac{T_{\Pi}}{T_X} - 1 \right) \right],$$

где  $\delta_{T(\tau)}$  – основная погрешность цифровых измерений временных интервалов, %;

$T_{\Pi}$  – значение предела измерения (поддиапазона)  $1 \cdot 10^{-6}$ ;  $1 \cdot 10^{-5}$ ;  $1 \cdot 10^{-4}$ ;  $1 \cdot 10^{-3}$ ;  $1 \cdot 10^{-2}$ ; 0,1 с;

$T_X$  – значение измеряемого интервала, с.

П.2.19 Осциллограф обеспечивает свои технические характеристики в пределах норм, установленных ТУ, по истечении времени установления рабочего режима равного 15 мин.

### П.3 Принцип работы осциллографа

П.3.1 Осциллограф, структурная схема которого приведена на рисунке П.1, состоит из следующих основных частей:

- I – тракт вертикального отклонения;
- II – тракт горизонтального отклонения;
- III – блок цифровых измерений;
- IV – электронно-лучевой индикатор;
- V – схема управления ЭЛТ;
- VI – блок вторичного электропитания.

П.3.2 Исследуемый сигнал подается в один из каналов или в оба канала тракта вертикального отклонения, где осуществляется усиление сигнала до напряжений, обеспечивающих заданный размер изображения по вертикали на экране ЭЛТ. В тракте вертикального отклонения осуществляется коммутация каналов в зависимости от заданного режима работы каналов осциллографа.

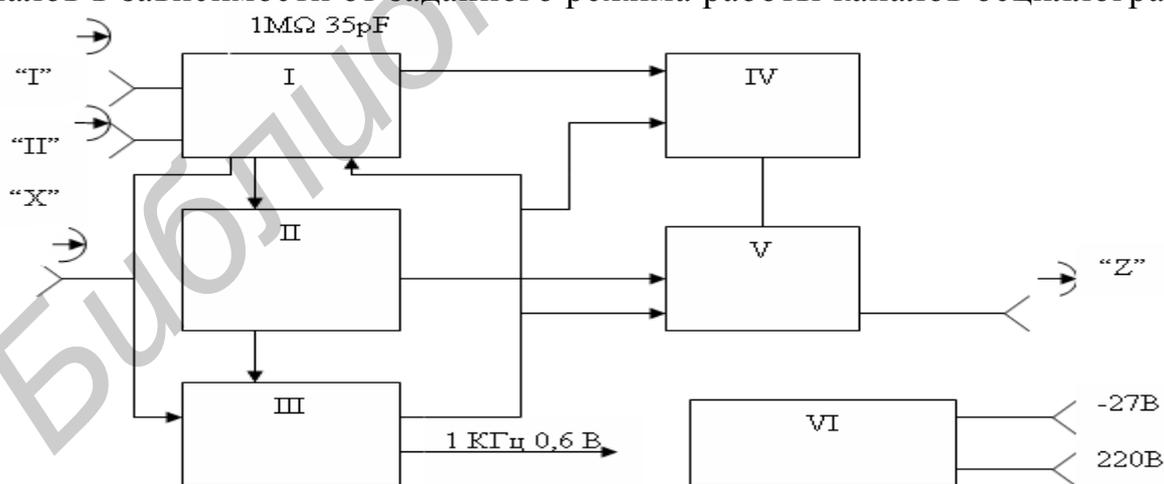


Рисунок П.1 – Структурная схема осциллографа С1-117

Тракт горизонтального отклонения обеспечивает получение синхронного с исследуемым сигналом линейного развертывающего напряжения и

его усиление для получения заданного размера изображения сигнала по горизонтали.

Блок цифровых измерений обеспечивает формирование меток, выводимых на экран ЭЛТ, и измерение амплитудных и временных параметров сигнала между заданными вручную метками на экране ЭЛТ. Индикация результатов измерения, а также размерности измеряемых параметров осуществляется на светодиодном индикаторе.

Электронно-лучевой индикатор обеспечивает преобразование электрических сигналов, поступающих на его входы, в видимое изображение исследуемого сигнала.

Схема управления ЭЛТ осуществляет управление высоковольтной частью индикатора.

Блок вторичного электропитания предназначен для получения всех напряжений, необходимых для питания блоков и узлов осциллографа.

П.3.3 Тракт вертикального отклонения представляет собой двухканальный балансный усилитель постоянного тока с полосой пропускания 0–10 МГц и состоит из двух аттенюаторов, двухканального предварительного усилителя, линии задержки и выходного усилителя вертикального отклонения.

Аттенюаторы, установленные на входе каждого канала, включают в себя частотно компенсированные детали, обеспечивающие необходимое ослабление входного сигнала, и выходные усилители с высоким входным сопротивлением и переключаемым коэффициентом усиления.

Исследуемый сигнал с выхода аттенюатора поступает на вход предварительного усилителя. На входе канала А предварительного усилителя установлен коммутатор временных ворот, который в положении «НОРМ» переключателя «НОРМ-ИЗМ» осуществляет прохождение в канал исследуемого сигнала с выхода аттенюатора, а в положении «ИЗМ» – сигнала временных ворот с выхода согласующего каскада.

На входе канала Б предварительного усилителя установлен коммутатор полярности, который в положении «ИНВЕРТ» переключателя «НОРМ-ИНВЕРТ» осуществляет инвертирование сигнала, исследуемого по этому каналу.

Аттенюаторы обоих каналов предварительного усилителя обеспечивают коэффициенты деления 1:1, 1:2, 1:5; с выходов аттенюаторов сигналы поступают на усилительный каскад, в котором осуществляется регулировка усиления «ПЛАВНО» и смещение луча по вертикали. В канале Б напряжение, пропорциональное смещению, поступает на вычитающий усилитель, который формирует сигнал для измерителя напряжения блока цифровых измерений.

Коммутатор каналов предварительного усилителя осуществляет переключение сигналов, исследуемых по каналам А и Б, либо производит их алгебраическое суммирование.

Оконечный усилитель обеспечивает необходимый размах напряжения на вертикально-отклоняющих пластинах ЭЛТ.

П.3.4 Тракт горизонтального отклонения включает блок синхронизации и развертки, а также выходной усилитель горизонтального отклонения.

Блок синхронизации и развертки содержит схему синхронизации, схему управления разверткой и схему развертки.

Схема синхронизации предназначена для получения развертывающего линейно-нарастающего напряжения, синхронного с сигналом на входе схемы синхронизации.

Указанная схема усиливает входной исследуемый сигнал до необходимой величины и преобразует его в серию импульсов запуска схемы управления разверткой.

Эти импульсы имеют постоянные амплитуды и длительность независимо от формы амплитуды и длительности входного сигнала.

Схема управления разверткой формирует следующие импульсы:

- запуска;
- подсвета;
- готовности однократного запуска развертки;
- блокировки для схемы формирования меток;
- управления каналами тракта вертикального отклонения.

Схема развертки содержит генератор пилообразного напряжения, схему сравнения и блокировки, схему управления разверткой.

Генератор пилообразного напряжения выполнен по схеме интегратора Миллера.

Интегратор Миллера представляет собой усилитель, охваченный отрицательной обратной связью через конденсатор.

Выходной усилитель горизонтального отклонения предназначен для преобразования сигналов напряжения, поступающих с развертки в два противофазных сигнала и усиления их до величины, достаточной для отклонения луча по горизонтали на экране ЭЛТ.

П.3.5 Блок цифровых измерений предназначен для измерения постоянного напряжения смещения в канале «Б», формирования меток и измерения временного интервала, задаваемого ими.

Основой блока является интегрирующий преобразователь, осуществляющий преобразование постоянного напряжения во временной интервал.

## **П.4 Указания мер безопасности**

П.4.1 По требованиям электробезопасности осциллограф соответствует классу 1.

П.4.2 При эксплуатации, ремонте и настройке осциллографа следует учитывать наличие внутри него напряжений, опасных для жизни человека, поэтому категорически запрещается работа прибора со снятыми крышками и без заземления корпуса.

## П.5 Подготовка к работе

### П.5.1 Расположение органов управления и их назначение.

П.5.1.1 Органы управления, присоединения и индикации для удобства работы оператора сгруппированы по зонам. Внешний вид осциллографа приведен на рисунке П.2.



Рисунок П.2 – Внешний вид осциллографа С1-117

П.5.1.2 Слева от экрана ЭЛТ расположены следующие органы управления (сверху вниз):

- 1) ручка «» для регулировки астигматизма;
- 2) ручка «» для фокусировки луча ЭЛТ;
- 3) ручка «» для регулировки яркости луча ЭЛТ;
- 4) ручка «» для регулировки яркости подсвета шкалы экрана ЭЛТ;
- 5) ручка «СЕТЬ» для включения и отключения осциллографа.

П.5.1.3 Под экраном ЭЛТ расположены следующие органы управления и присоединения тракта вертикального отклонения:

1) гнезда «1 М $\Omega$ », «35 pF» каналов А и Б для подачи сигналов на вход осциллографа;

2) выведенные под шлиц резисторы «БАЛАНС» для балансировки усилителей вертикального отклонения каналов А и Б;

3) ручки переключателей «V/ДЕЛ» каналов А и Б для установки необходимого коэффициента отклонения;

4) ручки резисторов «ПЛАВНО» (на одной оси с переключателями «V/ДЕЛ») для плавной регулировки усиления усилителей тракта вертикального отклонения;

5) ручка «НОРМ ИЗМ» переключения канала А в режим цифровых измерений (вводится в канал А метка). Ручка «НОРМ ИЗМ» совмещена с ручкой «ПЛАВНО»;

6) ручки « $\sim$ », « $\perp$ », « $\approx$ » для переключения входа трактов вертикального отклонения каналов А и Б;

7) ручка «СИНХР РЕЖИМ» переключателя режимов работы тракта

вертикального отклонения для включения заданного режима работы;

8) ручка «НОРМ ИНВЕРТ» для включения канала Б на инвертирование сигнала совмещена с ручкой «ПЛАВНО»;

9) ручки « $\updownarrow$ » для перемещения изображения сигнала по вертикали.

П.5.1.4 Справа от экрана ЭЛТ расположена зона измерений, в которой сгруппированы следующие органы управления:

1) ручка «TV» для режима временных измерений или амплитудных измерений. Ручка «TV» совмещена с ручкой «УСТ 0»;

2) ручка «УСТ 0» для установки нуля цифрового измерителя;

3) ручки МЕТКИ «I» и «II» для перемещения меток при цифровых измерениях;

4) гнездо «0,6 V 1 KHz» (выход калибратора);

5) четырехразрядный цифровой индикатор для индикации значений измеряемых параметров;

6) индикатор из четырех светодиодов « $\mu$ s», «ms», «mV», «V» для индикации размерности измеряемого параметра (микросекунды, миллисекунды, милливольты, вольты).

П.5.1.5 В правой части передней панели осциллографа расположена зона развертки и синхронизации, в которой сгруппированы следующие органы управления и присоединения:

1) ручка переключателя «ВРЕМЯ/ДЕЛ» и режима «X/Y» для установки необходимого коэффициента развертки и переключения тракта горизонтального отклонения в режим «X/Y»;

2) ручка «x10», находящаяся на одной оси с переключателем ВРЕМЯ/ДЕЛ, для включения «растяжки» развертки;

3) ручка «УРОВ» для выбора уровня запуска схемы синхронизации. С ручкой «УРОВ» совмещена ручка « $\pm$ »;

4) ручка « $\pm$ » для выбора полярности сигнала синхронизации;

5) индикатор и кнопка «ГОТОВ» для индикации готовности схемы для включения однократной развертки;

6) переключатель «ОДНОКР», «ЖДУЩ», «АВТ» для включения необходимого режима работы развертки;

7) переключатель «ВНУТР», «ВНЕШ», «СЕТЬ» для включения необходимого режима синхронизации;

8) гнездо « $\rightarrow$ » для подачи внешнего синхронизирующего сигнала;

9) клемма « $\perp$ » для соединения корпуса осциллографа с другими приборами.

П.5.1.6 Ручка « $\leftrightarrow$ » для перемещения луча по горизонтали. На правой стенке осциллографа расположено гнездо « $\rightarrow$  Z» для подачи внешнего сигнала для модуляции яркости.

П.5.1.7 На задней панели осциллографа расположены:

1) розетка для подсоединения кабелей питания;

2) гнезда 1 А, 3 А для установки предохранителей.

П.5.2 Перед включением осциллографа органы управления, расположенные на передней панели, установите в следующие положения:

- ручку «СЕТЬ» нажмите;
  - ручку «☀» в среднее положение;
  - ручку «☉» в среднее положение;
  - ручку «↔» в среднее положение;
  - ручку «НОРМ ИЗМ» нажмите;
  - ручки «↑↓» в среднее положение;
  - ручки «ПЛАВНО» переключателей «V/ДЕЛ» и «ВРЕМЯ/ДЕЛ» установить в крайнее правое положение;
  - переключатель «ОДНОКР, ЖДУЩ, АВТ» в положение «АВТ»;
  - переключатель «ВНУТР, ВНЕШН, СЕТЬ» в положение «ВНУТР»;
  - ручки «МЕТКИ I, II» в среднее положение.
- Остальные органы управления могут быть в произвольных положениях.

## П.6 Порядок работы

### П.6.1 Включение осциллографа.

П.6.1.1 Соедините кабель питания с источником питающего напряжения и вытяните ручку «СЕТЬ» на себя. В результате включения осциллографа должны загореться сегменты цифрового индикатора, один из светодиодов индикации размерности цифрового измерителя, а с некоторой задержкой на экране ЭЛТ должна появиться линия развертки. Ручками «☀», «☉», «☉» добейтесь оптимальной яркости и фокусировки луча на экране ЭЛТ.

### П.6.2 Проведение измерений.

П.6.2.1 Визуальное наблюдение и измерение амплитудных и временных параметров сигнала по шкале экрана проводится следующим образом:

- 1) подайте на вход А (Б) через кабель исследуемый сигнал;
- 2) переключатель «СИНХР РЕЖИМ» установите в положение «А (Б)»;
- 3) переключатель режима развертки установите в положение «АВТ»;
- 4) переключатель режима синхронизации установите в положение «ВНУТР»;
- 5) переключатель «V/ДЕЛ» канала А (Б) и ручку «↑↓» установите в положения, обеспечивающие получение удобного для наблюдения размера изображения на экране ЭЛТ;
- 6) ручкой «УРОВ» установите неподвижное изображение на экране ЭЛТ, при этом установите переключателем «ВРЕМЯ/ДЕЛ» и ручкой «↔» удобные для наблюдения размер и размещение изображения сигнала по горизонтали;
- 7) определите визуально линейные размеры изображения заданных параметров сигнала в делениях шкалы экрана ЭЛТ;
- 8) определите результаты измерения путем умножения коэффициентов отклонения и развертки на линейные размеры измеряемых параметров сигнала.

П.6.2.2 При измерении временных интервалов менее 1 мкс ручку «x10» установите в отжатое положение и проводите измерения при коэффициентах развертки, уменьшенных в десять раз.

П.6.2.3 Цифровые измерения амплитудных параметров сигнала проводятся следующим образом:

- 1) подайте на вход канала Б через кабель исследуемый сигнал;
- 2) переключатель «СИНХР РЕЖИМ» установите в положение Б;
- 3) переключатель режима развертки установите в положение «АВТ»;
- 4) переключатель режима синхронизации установите в положение «ВНУТР»;
- 5) ручку «TV» установите в положение «V»;
- 6) переключателями «V/ДЕЛ», «ВРЕМЯ/ДЕЛ», ручками « $\updownarrow$ », « $\leftrightarrow$ » и «УРОВ» установите на экране ЭЛТ удобный для измерения размер изображения сигнала;
- 7) ручкой « $\updownarrow$ » совместите одну из точек измеряемого по амплитуде участка изображения сигнала с горизонтальной линией шкалы ЭЛТ;
- 8) ручкой «УСТ 0» установите нуль (с точностью единицы последнего разряда) на цифровом индикаторе;
- 9) ручкой « $\updownarrow$ » совместите вторую точку измеряемого по амплитуде участка изображения сигнала с той же горизонтальной линией шкалы ЭЛТ;
- 10) прочтите на цифровом индикаторе значение измеренного амплитудного параметра сигнала.

П.6.2.4 Цифровые измерения временных параметров сигнала производятся следующим образом:

- 1) подайте на вход канала Б через кабель исследуемый сигнал;
- 2) переключатель «СИНХР РЕЖИМ» установите в положение А и Б (синхронизация по каналу Б);
- 3) переключатель режима развертки установите в положение «АВТ»;
- 4) переключатель режима синхронизации установите в положение «ВНУТР; НОРМ ИЗМ» в положение «ИЗМ»;
- 5) ручку «TV» установите в положение «Т»;
- 6) переключателями «V/ДЕЛ», «ВРЕМЯ/ДЕЛ», ручками « $\updownarrow$ », « $\leftrightarrow$ » канала Б и «УРОВ» установите на экране ЭЛТ удобный для измерения размер изображения сигнала;
- 7) переключателем «V/ДЕЛ» и ручкой « $\updownarrow$ » канала А установите удобный размер и положение меток на экране ЭЛТ;
- 8) ручками «МЕТКИ I, II» и « $\updownarrow$ » канала А установите метки в граничных точках измеряемого временного интервала;
- 9) прочитайте на цифровом индикаторе значение измеренного временного интервала;

Примечание – При измерениях временных интервалов длительностью более 10 мкс метки ручкой « $\updownarrow$ » канала А рекомендуется не выводить на экран ЭЛТ, а граничные точки измеряемого временного интервала устанавливать по подсвеченному участку сигнала ручками «МЕТКИ I, II».

П.6.2.5 Визуальное наблюдение и измерение амплитудных и временных параметров сигнала в двух каналах производится следующим образом:

- 1) подайте на входы каналов А и Б через кабели исследуемые сигналы;
- 2) переключатель «СИНХР РЕЖ» установите в положение А или Б (в первое положение (А) при необходимости синхронизации развертки сигналом канала А и во второе – при необходимости синхронизации развертки сигналом канала Б);
- 3) переключатель режима развертки установите в положение «АВТ»;
- 4) переключатель режима синхронизации установите в положение «ВНУТР»;
- 5) переключателями «V/ДЕЛ» каналов А и Б, ручками «↓», «↔» и ручкой «УРОВ» установите удобные размеры и положение изображений сигнала на экране ЭЛТ;
- 6) определите визуально линейные размеры изображения заданных параметров сигнала в делениях шкалы экрана ЭЛТ;
- 7) определите результаты измерения путем умножения коэффициентов отклонения и развертки на линейные размеры измеряемых параметров сигнала.

П.7 Измерение временного сдвига сигналов и фазового сдвига  $\varphi_x$  методом наложения.

П.7.1 Для измерения временного сдвига используется двухканальный режим.

П.7.1.1 После получения неподвижного изображения обоих сигналов установить калиброванный коэффициент развертки А таким, чтобы измеряемый интервал занимал не менее четырех и не более восьми делений по горизонтали, а коэффициенты отклонения каналов такими, чтобы амплитуды обоих сигналов занимали приблизительно равные отрезки по вертикали.

П.7.1.2 Совместить точки, временной сдвиг между которыми измеряется, с горизонтальной осью в пределах 2–9 делений с помощью ручек «↓» и «↔». Определить временной сдвиг как произведение интервала в делениях на калиброванный коэффициент развертки.

П.7.1.3 При измерении фазового сдвига синусоидальных сигналов установить предварительно переключатели входов в положение «⊥» и ручками «↓» совместить линии нулевых уровней каналов с горизонтальной осевой линией. Затем, включив закрытые входы усилителей, определить временной сдвиг между возрастающими, или убывающими участками синусоид при их переходе через нуль. Фазовый сдвиг определить по формуле

$$\varphi_x^0 = 360 \cdot \frac{l_\tau}{l_T},$$

где  $l_T$ ,  $l_\tau$  – временной сдвиг и период сигнала в делениях.

Абсолютная погрешность измерения фазового сдвига определяется по формуле

$$\Delta\varphi_x^0 = \varphi_x^0 \cdot \frac{\Delta l}{\sqrt{l_\tau^2 + l_T^2}},$$

где  $\Delta l$  – абсолютная погрешность отсчета по шкале ЭЛТ в делениях с учетом толщины луча ( $\pm 0,1$  деление).

## ПРИЛОЖЕНИЕ Р (обязательное)

### ГЕНЕРАТОР СИГНАЛОВ НИЗКОЧАСТОТНЫЙ ГЗ-109

#### Р.1 Назначение

Генератор сигналов низкочастотный ГЗ-109 предназначен для регулировки, испытания и ремонта различных радиотехнических устройств в телевидении, радиовещании, акустике, технике связи в лабораторных и производственных условиях.

#### Р.2 Технические данные

Р.2.1 Диапазон генерируемых частот генератора от 20 Гц до 200 кГц покрывается четырьмя поддиапазонами с плавной перестройкой частоты внутри поддиапазонов.

Р.2.2 Основная погрешность установки частоты не превышает значений, указанных в таблице Р.1.

Р.2.3 Нестабильность частоты генератора за любые 15 мин работы после времени установления рабочего режима при нормальных условиях не превышает  $\pm 10^{-3} f_n$ .

Р.2.4 Нестабильность частоты генератора за любые 3 ч работы после времени установления рабочего режима при нормальных условиях не превышает  $\pm 5 \cdot 10^{-3} f_n$ .

Таблица Р.1

Диапазон частот, кГц	Погрешность, %
0,2–20 (2-й и 3-й поддиапазоны)	$\pm \left( 1 + \frac{50}{f_n} \right)$
0,02–0,2 (1-й поддиапазон) 20–200 (4-й поддиапазон)	$\pm \left( 2 + \frac{50}{f_n} \right)$

где  $f_n$  – номинальное значение частоты, устанавливаемое по шкале частот «Hz», Гц.

Р.2.5 Номинальное выходное напряжение генератора на гнезде «ВЫХОД 1» при сопротивлении нагрузки 50 Ом не менее 15 В. Выходное напряжение плавно регулируется в пределах не менее 20 дБ от своего номинального значения.

Р.2.6 Основная приведенная погрешность установки опорного значения выходного напряжения на гнезде «ВЫХОД 1» при положении аттенюатора «15 В» не превышает  $\pm 4$  %.

Р.2.7 В генераторе на гнезде «ВЫХОД 1» предусмотрена ступенчатая регулировка выходного напряжения. Регулировка осуществляется с помощью встроенного аттенюатора 60 дБ ступенями через 10 дБ. Погрешность ослабления встроенного аттенюатора при активной нагрузке 50 Ом не превышает  $\pm 6$  %.

### Р.3 Принцип работы прибора

Структурная схема прибора представлена на рисунке Р.1. Источником синусоидального сигнала служит задающий RC-генератор, сигнал которого через предварительный усилитель поступает на усилитель мощности. Усилитель мощности обеспечивает получение на нагрузке 50 Ом среднеквадратического значения напряжения 15 В. Атенюатор ослабляет выходной сигнал на 60 дБ ступенями через 10 дБ. Уровень сигнала, подаваемого на аттенюатор, измеряется индикатором выходного уровня.

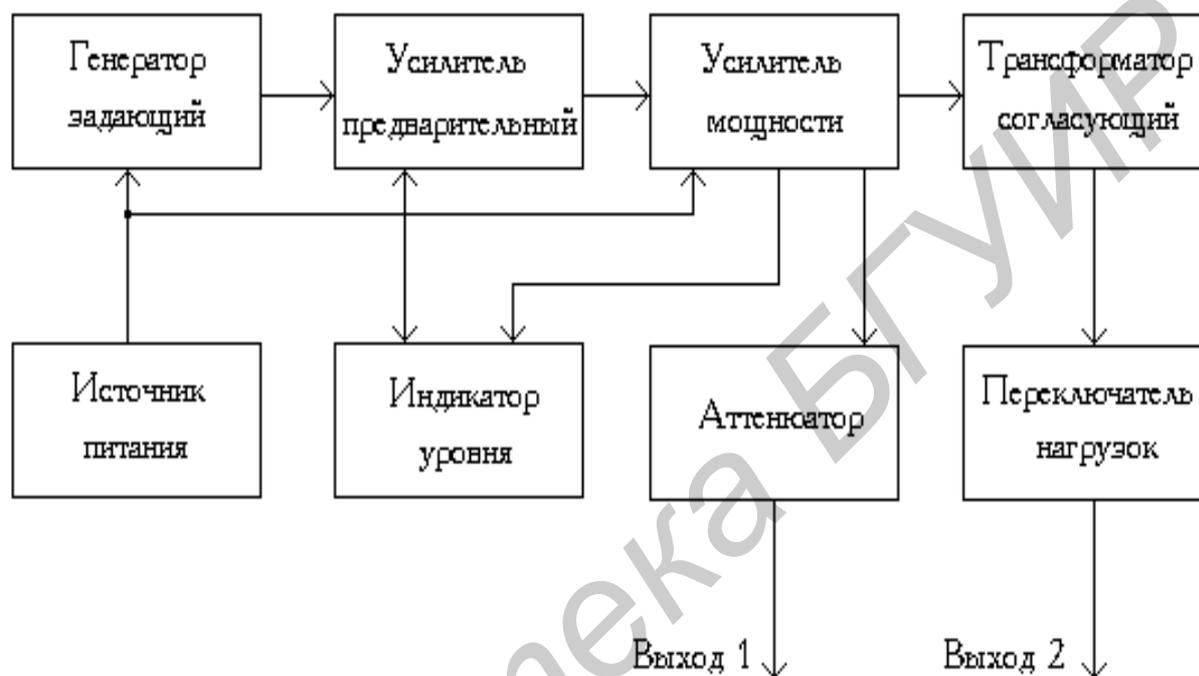


Рисунок Р.1 – Структурная схема генератора ГЗ-109

К усилителю мощности могут подключаться согласующие трансформаторы для работы на нагрузках 600 Ом и 5 кОм. Переключатель нагрузок коммутирует выходные нагрузки генератора. Вид лицевой панели генератора приведен на рисунке Р.2.

### Р.4 Подготовка прибора к работе

Р.4.1 Установить ручку «РЕГУЛИРОВКА ВЫХ.» в крайнее левое положение.

Р.4.2 Тумблер включения сети установить в положение «СЕТЬ ВКЛ.», при этом должна светиться сигнальная лампочка.

Р.4.3 Дать генератору прогреться в течение 15 мин. После прогрева генератор готов к работе.

### Р.5 Проведение измерений

Р.5.1 С помощью ручки плавной перестройки частоты и переключателя «МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ» установить необходимую частоту выходного сиг-

нала. Значения частот каждого поддиапазона генератора ГЗ-109 приведены в таблице Р.2.

Р.5.2 Регулировка уровня выходного напряжения с гнезда «ВЫХОД 1» осуществляется плавно с помощью потенциометра «РЕГУЛИРОВКА ВЫХ.» и ступенями с помощью встроенного аттенюатора «15 mV – 15 V». Измерение выходного напряжения производится с помощью стрелочного прибора, расположенного на передней панели генератора.



Рисунок Р.2 – Внешний вид передней панели генератора ГЗ-109

Таблица Р.2

Положение переключателя «МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ»	Значение частоты поддиапазона, Гц
x 1	20–200
x 10	200–2 000
x 10 <sup>2</sup>	2 000–20 000
x 10 <sup>3</sup>	20 000–200 000

Примечание – При переключении частотных поддиапазонов и плавной перестройке частоты допускается время установления выходного напряжения генератора порядка 10 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ С (обязательное)

### ГЕНЕРАТОР ИМПУЛЬСОВ Г5-54

#### С.1 Назначение

Прибор Г5-54 предназначен для исследования, регулировки и настройки радиотехнических устройств различного назначения.

#### С.2 Технические данные

С.2.1 Прибор выдает видеоимпульсы переключаемой полярности прямоугольной формы в диапазоне длительностей  $\tau_n$  от 0,1 до 1000 мкс с плавноступенчатой (восемь поддиапазонов) регулировкой с погрешностью установки не более  $\pm(0,1 \cdot \tau_n + 0,03)$  мкс.

С.2.2 Максимальная амплитуда импульсов  $U_m$  – не менее 50 В. Плавная регулировка от  $0,3 U_m$  до  $1,0 U_m$ . Ступенчатое ослабление амплитуды выходного сигнала осуществляется с коэффициентами  $x_1; x_{0,3}; x_{0,1}; x_{0,03}$  и на двух дополнительных выходах с общими коэффициентами деления 1:1000 (выход 1:10) и 1:10000 (выход 1:100).

Погрешность установки не более  $\pm(0,1 \cdot U_m + K \cdot 1,0 \text{ В})$ , где  $K$  – коэффициент ступенчатого ослабления.

С.2.3 Временной сдвиг (задержка) импульса  $\tau_3$  относительно синхроимпульса регулируется плавно-ступенчато от 0,1 до 1000 мкс (восемь поддиапазонов) и не должен превышать 0,5 периода повторения импульсов ( $T$ ). Погрешность установки временного сдвига при  $\tau_3 < 0,2 \cdot T$  не более  $\pm(0,1 \cdot \tau_3 + 0,03)$  мкс.

С.2.4 Частота повторения импульсов ( $f_{сл}$ ) при внутреннем запуске регулируется плавно-ступенчато от 0,01 до 100 кГц (восемь поддиапазонов). Погрешность установки – не более  $\pm 0,1 \cdot f_{сл}$ .

С.2.5 Синхроимпульсы прибора имеют переключаемую полярность и максимальную амплитуду в пределах 10–15 В.

С.2.6 Время самопрогрева – 15 мин.

#### С.3 Принцип работы прибора

С.3.1 Принцип работы прибора заключается в следующем.

Задающий генератор в режиме внутреннего запуска (кнопка «ЗАПУСК» нажата) вырабатывает тактовые импульсы, поступающие на схему внешнего и разового запуска. Частота повторения импульсов устанавливается переключателем и регулятором «ЧАСТОТА ПОВТОРЕНИЯ Hz». Импульс с выхода схемы запуска поступает на схему задержки и формирователь синхроимпульсов. Полярность и амплитуда синхроимпульсов на выходе « $\leftarrow$ » определяются положениями тумблера и движка потенциометра «СИНХРОИМПУЛЬСЫ».

Схема задержки выдает импульс с регулируемым относительно синхроимпульса временным сдвигом, установка которого осуществляется переключателем и регулятором «ВРЕМЕННОЙ СДВИГ  $\mu\text{S}$ ». Задержанный импульс поступает на формирователь длительности импульсов, который выдает старт- и стоп-импульсы с регулируемым между ними временным интервалом, значение которого устанавливается переключателем и регулятором «ДЛИТЕЛЬНОСТЬ  $\mu\text{S}$ ». Поступая на схему выходного формирователя и регулировки амплитуды, старт-импульс образует фронт выходного сигнала, а стоп-импульс – его срез.

Выходной импульс через аттенюатор или дополнительные делители подается на одно из выходных гнезд «1:1», «1:10» или «1:100». Измерение амплитуды выходных импульсов обеспечивается измерителем амплитуды.

#### **С.4 Подготовка прибора к работе**

С.4.1 Перед началом работы с прибором необходимо по надписям на лицевой панели ознакомиться с назначением органов управления.

С.4.2 Выполнить следующие операции:

С.4.2.1 Подключить внешнюю нагрузку 500 Ом к выходному гнезду «1:1».

С.4.2.2 Нажать верхнюю кнопку переключателя «ЗАПУСК», кнопку « $\times 10^4$  ЧАСТОТА ПОВТОРЕНИЯ» и установить по черной шкале частоту 100 кГц.

С.4.2.3 Нажать кнопку «0» переключателя «ВРЕМЕННОЙ СДВИГ», кнопку « $\times 0,1$ » переключателя «ДЛИТЕЛЬНОСТЬ» и установить по белой шкале длительность 0,1 мкс.

С.4.2.4 Нажать кнопку « $\times 0,1$ » переключателя амплитуды выходного импульса, ручку «АМПЛ» повернуть влево до отказа, нажать кнопку « $\square$ » или « $\square$ » переключателя полярности.

С.4.2.5 Включить прибор в сеть и тумблер «СЕТЬ» установить в верхнее положение, при этом должна загореться сигнальная лампочка. Прогреть прибор в течение 15 мин.

Примечание – НЕ ДОПУСКАЕТСЯ подключение нагрузки менее 500 Ом к выходному гнезду «1:1», а также работа при выходном сигнале со скважностью меньше двух.

С.4.2.6 Соединить прибор через внешнюю нагрузку с макетом или осциллографом.

#### **С.5 Проведение измерений с прибором**

С.5.1 Работа с прибором в режиме внутреннего запуска (нажата верхняя кнопка переключателя «ЗАПУСК»).

С.5.1.1 Установить соответствующими кнопками и шкальными устройствами «ЧАСТОТА ПОВТОРЕНИЯ, ВРЕМЕННОЙ СДВИГ, ДЛИТЕЛЬНОСТЬ» необходимые частоту повторения, задержку и длительность выходных импульсов.

С.5.1.2 Кнопками « $\square$ », « $\square$ » установить необходимую полярность, кнопками делителя амплитуды («x1; x0,3; x0,1; x0,03») и ручкой «АМПЛ» установить по шкале вольтметра необходимую амплитуду импульсов. Если амплитуда должна быть больше 0,5 В, используется выход «1:1», если меньше 0,5 В, то выход «1:10» или «1:100», при нажатой кнопке «x0,03».

С.5.1.3 При необходимости синхронизации аппаратуры с генератором Г5-54 использовать импульсы с выхода « $\leftarrow$  СИНХРОИМПУЛЬСЫ», выбрав необходимую полярность тумблером « $\wedge - \vee$ » и амплитуду (ручка «АМПЛ») синхроимпульсов.

С.5.2 Генератор может работать также в режиме разового запуска. Однако указанный режим в лабораторной работе МИ-4 не используется.

Библиотека БГУИР

## ЛИТЕРАТУРА

1 Елизаров, А. С. Электрорадиоизмерения: учебник для вузов по спец. «Радиотехника» / А. С. Елизаров. – Минск : Высш. шк., 1986.

2 Метрология и радиоизмерения : учебник для студентов вузов по направлению подгот. дипломир. специалистов «Радиотехника» / В. И. Нефедов [и др.] ; под ред. проф. В. И. Нефедова. – М. : Высш. шк., 2003.

3 Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах : учеб. пособие / под общ. ред. Б. Н. Тихонова. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007.

4 Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах : учебник для вузов / В. И. Нефедов [и др.] ; под ред. проф. В. И. Нефедова. – М. : Высш. шк., 2001.

5 Дворяшин, Б. В. Метрология и радиоизмерения : учеб. пособие для студентов вузов по направлению подгот. дипломир. специалистов «Радиотехника» / Б. В. Дворяшин. – М. : Академия, 2005.

*Учебное издание*

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ  
В ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ.  
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

В 2-х частях

Часть 1

**Ляльков Святослав Владимирович  
Гусинский Александр Владимирович  
Минченко Ольга Игоревна  
Руховец Ольга Владимировна**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Редактор *М. А. Зайцева*  
Корректор *Е. Н. Батурчик*  
Компьютерная правка, оригинал-макет *А. А. Лысеня*

Подписано в печать 08.04.2014. Формат 60x84 1/16. Гарнитура «Таймс». Бумага офсетная.  
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 6,63. Уч.-изд. л. 6,0. Тираж 100 экз. Заказ 196.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий №1/238 от 24.03.2014.  
ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009.  
220013, Минск, П. Бровки, 6