

**Министерство образования Республики Беларусь**

**Учреждение образования**

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

**Кафедра метрологии и стандартизации**

М.Ю. Дерябина, А.В. Гусинский, Ю.А. Гусынина

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

по курсу «Метрология и измерения»

для студентов радиотехнических специальностей БГУИР

Минск 2002

УДК 621.317(075.8)  
ББК 30.10 я 73  
К 72

**Дерябина М.Ю.**

К 72      Лабораторный практикум по курсу «Метрология и измерения» для студентов радиотехнических специальностей / М.Ю. Дерябина, А.В. Гусинский, Ю.А. Гусынина. — Мн.: БГУИР, 2002. — 80 с.: ил.

ISBN 985-444-384-1

Лабораторный практикум включает в себя четыре лабораторные работы: Э.1М «Аналоговые и цифровые измерительные приборы для измерения силы тока, напряжения и сопротивления», Э.2М «Измерение параметров двухполюсников», Э.3М «Измерение напряжений с помощью электронных вольтметров», Э.4М «Универсальный электронно-лучевой осциллограф». Приведены методы измерения силы тока, напряжения, сопротивления, параметров двухполюсников, осциллографические измерения, методика обработки результатов измерений и оценки погрешностей. Указаны цели работ, даны краткие сведения из теории, описания подготовки к работам, лабораторные задания, рекомендации по их выполнению, а также указания по оформлению отчетов, контрольные вопросы для проверки знаний и список рекомендуемой литературы.

УДК 621.317(075.8)  
ББК 30.10 я 73

ISBN 985-444-384-1

© М.Ю. Дерябина, А.В. Гусинский,  
Ю.А. Гусынина, 2002  
© БГУИР, 2002

## СОДЕРЖАНИЕ

- 1 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА Э.1М «АНАЛОГОВЫЕ И ЦИФРОВЫЕ КОМБИНИРОВАННЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЫ ТОКА, НАПРЯЖЕНИЯ И СОПРОТИВЛЕНИЯ»
  - 1.1 Цель работы
  - 1.2 Краткие сведения из теории
  - 1.3 Приборы и оборудование, используемые при выполнении работы
  - 1.4 Описание лабораторного макета
  - 1.5 Подготовка к выполнению работы
  - 1.6 Лабораторное задание
  - 1.7 Порядок выполнения
  - 1.8 Контрольные вопросы
- 2 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА Э.2М «ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВУХПОЛЮСНИКОВ»
  - 2.1 Цель работы
  - 2.2 Краткие сведения из теории
  - 2.3 Приборы, используемые при выполнении работы
  - 2.4 Описание лабораторного макета
  - 2.5 Подготовка к выполнению работы
  - 2.6 Лабораторное задание
  - 2.7 Порядок выполнения работы
  - 2.8 Контрольные вопросы
- 3 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА Э.3М «ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННЫХ ВОЛЬТМЕТРОВ»
  - 3.1 Цель работы
  - 3.2 Краткие сведения из теории
  - 3.3 Приборы, используемые при выполнении работы
  - 3.4 Описание лабораторного макет
  - 3.5 Подготовка к выполнению работы
  - 3.6 Лабораторное задание
  - 3.7 Порядок выполнения
  - 3.8 Контрольные вопросы
- 4 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА Э.4М «УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОСЦИЛЛОГРАФ»
  - 4.1 Цель работы
  - 4.2 Краткие сведения из теории
  - 4.3 Приборы, используемые при выполнении работы
  - 4.4 Описание лабораторного макета
  - 4.5 Подготовка к выполнению работы
  - 4.6 Лабораторное задание
  - 4.7 Порядок выполнения
  - 4.8 Контрольные вопросы
- 5 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТОВ

## ЛИТЕРАТУРА

ПРИЛОЖЕНИЕ А	Формы выражения погрешностей средств измерений
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	Прибор электроизмерительный комбинированный Ц4353
ПРИЛОЖЕНИЕ В	Цифровой комбинированный прибор М92А
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	Магазин сопротивлений МСР-63
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	Источник питания универсальный
ПРИЛОЖЕНИЕ Е	Измеритель иммитанса Е7-14
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж	Измеритель добротности Е4-7
ПРИЛОЖЕНИЕ И	Генератор сигналов высокочастотный Г4-117
ПРИЛОЖЕНИЕ К	Вольтметр универсальный цифровой В7-28
ПРИЛОЖЕНИЕ Л	Осциллограф универсальный С1-117
ПРИЛОЖЕНИЕ М	Генератор импульсов Г5-54

Библиотека БГУИР

# 1 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА Э.1М «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, имеющих режимы измерения силы и напряжения постоянного тока, сопротивления постоянному току.

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

1.1.3 Изучение алгоритмов обработки измерительной информации при многократных прямых измерениях напряжения постоянного тока.

1.1.4 Приобретение практических навыков работы с магазином сопротивлений МСР-63, электроизмерительным комбинированным прибором Ц4353, цифровым комбинированным прибором М92А (Япония).

## 1.2 Краткие сведения из теории

Одной из наиболее распространенных областей применения измерительной техники является область электронных измерений, включающая методы и средства измерений параметров (характеристик) сигналов и электрорадиоцепей.

Несмотря на многообразие методов и средств электронных измерений, можно указать для них общие структурные элементы, обеспечивающие преобразование, измерение и отсчет измеряемой величины: преобразовательный элемент, измерительная цепь, чувствительный элемент, измерительный механизм и отсчетное устройство средства измерения.

По принципу действия в соответствии с двумя основными методами измерений различают приборы прямого действия и приборы сравнения [1].

Большинство электроизмерительных приборов прямого действия состоит из двух основных частей: преобразователя и измерительного механизма (ИМ). Преобразователь предназначен для преобразования измеряемой величины в электрическую, функционально связанную с измеряемой величиной (ИВ) и непосредственно воздействующую на ИМ. ИМ предназначен для преобразования электрической энергии в механическую энергию перемещения (чаще всего углового) подвижной части показывающего или регистрирующего устройства. В конечном счете перемещение подвижной части электроизмерительного прибора является функцией ИВ.

В зависимости от принципа действия различают следующие основные системы приборов: магнитоэлектрические (МЭ), электродинамические (ЭД), электромагнитные (ЭМ) и электростатические (ЭС).

ИМ любого прибора состоит из подвижной и неподвижной частей. Под действием механического вращающего момента, функционально связанного с измеряемой величиной, подвижная часть поворачивается по отношению к неподвижной. Вращающий момент для любой системы приборов может быть определен из общего уравнения динамики системы, согласно которому величина

сил или моментов, действующих в системе, определяется скоростью изменения энергии

$$M_B = \frac{\partial W}{\partial \alpha}, \quad (1.1)$$

где  $\alpha$  — угловое перемещение подвижной части.

Воздействие одного вращающего момента привело бы к отклонению подвижной части до упора при любом значении ИВ. Поэтому в приборе создается противодействующий момент, пропорциональный угловому перемещению. Чаще всего для этой цели используются плоские спиральные пружины, тонкие ленточки или нити (растяжки и подвесы), одним концом прикрепленные к подвижной, а другой — к неподвижной части ИМ.

Противодействующий момент, возникающий при закручивании пружины (растяжки, подвеса), практически пропорционален  $\alpha$ :

$$M_{\Pi} = K_y \cdot \alpha, \quad (1.2)$$

где  $K_y$  — удельный противодействующий момент, зависящий от размеров пружины и свойств материала, из которого она изготовлена.

При равенстве вращающего и противодействующего моментов  $M_B = M_{\Pi}$  наступает равновесие подвижной части. Учитывая, что вращающий момент является функцией измеряемой величины  $X$ , а противодействующий — функцией угла  $\alpha$ , можно записать:

$$\alpha = f(X). \quad (1.3)$$

Следовательно, угол поворота  $\alpha$  однозначно связан со значением ИВ.

Конкретные типы ИМ определяются используемой системой, назначением прибора и условиями его эксплуатации.

Отсчетное устройство предназначено для количественного отсчета ИВ и состоит из шкалы и указателя. На шкале прибора размещаются отметки (штрихи), соответствующие значениям ИВ. Промежуток между двумя соседними отметками шкалы называется **делением шкалы**, а разность значений величин, соответствующих двум соседним отметкам шкалы, называется **ценой деления**.

Цена деления согласовывается с абсолютной погрешностью прибора и превышает ее в 2–4 раза.

Кроме штрихов, на шкалу наносят следующие обозначения:

- единицы ИВ ( $\mu A$  — микроамперметр,  $kV$  — киловольтметр,  $M\Omega$  — мегомметр и т.п.);
- класс точности прибора;
- номер стандарта на данную группу приборов;
- условное обозначение рода тока и числа фаз;
- условное обозначение системы прибора и степени защищенности от магнитных и электрических влияний;
- условное обозначение рабочего положения прибора;
- условное обозначение испытательного напряжения изоляции;
- товарный знак завода-поставщика;
- год выпуска и заводской номер.

Простейшими являются приборы, основу которых составляет магнито-электрический ИМ (МЭИМ). Принцип действия МЭИМ основан на взаимодействии магнитного поля постоянного магнита и одного или нескольких контуров (катушек) с электрическим током.

В большинстве приборов этой системы используется подковообразный магнит и катушка в виде прямоугольной рамки с укрепленной на ее оси стрелкой. Катушка свободно поворачивается в равномерном магнитном поле, создаваемом магнитом. При этом вращающий момент будет прямо пропорционально зависеть от величины магнитной индукции в зазоре  $B_0$ , площади поперечного сечения катушки  $S$ , числа витков обмотки  $w$  и угла поворота катушки  $\alpha$ . Тогда катушка при прохождении через нее тока  $I$  повернется на угол  $\alpha$ :

$$\alpha = (B_0 \cdot S \cdot w \cdot I) / K_y = S_I \cdot I. \quad (1.4)$$

Величина  $S_I = B_0 \cdot S \cdot w / K_y$  называется чувствительностью ИМ по току и имеет постоянное значение для данного МЭИМ.

Величина, обратная чувствительности, называется ценой деления шкалы МЭИМ по току

$$C_I = 1/S_I = I_H / n_{\max}, \quad (1.5)$$

где  $I_H$  — ток полного отклонения (номинальный ток);

$n_{\max}$  — число делений шкалы.

Уравнение (1.4) называется уравнением шкалы МЭИМ.

Из уравнения шкалы следует:

— угол отклонения стрелки прямо пропорционален току, протекающему по рабочей катушке; это значит, что МЭИМ может быть использован в качестве амперметра;

— чувствительность МЭИМ постоянна, следовательно, шкала равномерна, что является его достоинством;

— для повышения чувствительности необходимо увеличивать магнитную индукцию, площадь поперечного сечения и число витков катушки и уменьшать удельный противодействующий момент спиральных пружин;

— МЭИМ пригоден для измерения только постоянного или медленно меняющегося тока; на переменном токе, как видно из приведенных соотношений, подвижная часть из-за своей инерционности не успевает следить за быстрыми изменениями амплитуды и направления тока.

МЭИМ являются самыми точными для измерения постоянного тока. Приборы на основе МЭИМ могут выполняться вплоть до класса 0,05. Это объясняется высокой стабильностью элементов, из которых они выполняются. Основная погрешность обусловлена наличием трения в опорах подвижной части, а также неточностью градуировки прибора. Внешние магнитные поля влияют незначительно из-за большого значения собственного поля в зазоре, где перемещается рабочая катушка.

Для обеспечения возможности измерения переменного тока применяют преобразователи переменного тока в постоянный с последующим включением механизма в цепь постоянного тока.

Одним из параметров, характеризующих свойства МЭИМ, является его внутреннее сопротивление  $R_{ИМ}$ , определяемое в основном сопротивлением катушки переменному току.

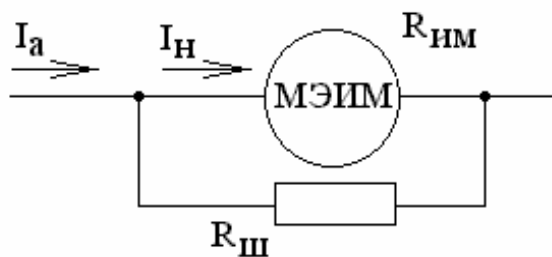


Рисунок 1.1

Для расширения пределов измерения по току параллельно МЭИМ включают низкоомные резисторы-шунты (рисунок 1.1). В результате ток  $I_H$  через механизм становится меньше тока в измерительной цепи в  $m_I = I_a/I_H$  раз. Сопротивление шунта, необходимое для расширения пределов

измерения по току с  $I_H$  до  $I_a$ , будет равно

$$R_{ш} = R_{ИМ}/(m_I - 1). \quad (1.6)$$

Цена деления при этом также увеличивается в  $m_I$  раз:

$$C_a = C_I \cdot m_I. \quad (1.7)$$

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

$$U = C_U \cdot n, \quad (1.8)$$

где  $C_U = U_H/n_{max}$  — цена деления МЭИМ по напряжению.

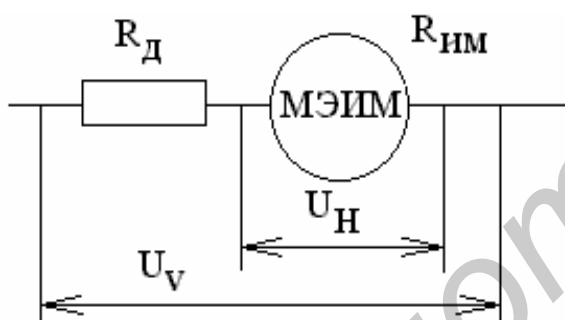


Рисунок 1.2

Расширение пределов измеряемого напряжения достигается путем последовательного включения добавочного резистора  $R_д$  (рисунок 1.2). В результате падение напряжения на МЭИМ уменьшается, а предел измерения расширяется в  $m_U = U_V/U_{ИМ}$  раз. Сопротивление добавочного резистора  $R_д$  на заданный предел рассчитывается по формуле

$$R_д = R_{ИМ} \cdot (m_U - 1). \quad (1.9)$$

Соответственно цена деления будет

$$C_V = C_U \cdot m_U. \quad (1.10)$$

Поскольку ток в цепи зависит от сопротивления участка цепи, МЭИМ можно использовать для измерения сопротивления постоянному току. Это является одной из реализаций метода непосредственной оценки.

Для измерения сравнительно больших сопротивлений исследуемый резистор  $R$  включается последовательно МЭИМ (рисунок 1.3). При этом установка нуля шкалы омметра производится при коротком замыкании зажимов  $R$ , и нулем будет крайняя правая отметка шкалы, т.к. ток через МЭИМ при этом максимален.

При измерении малых сопротивлений используется параллельная схема (рисунок 1.4), в которой резистор  $R_0$  служит для установки бесконечности шкалы при разомкнутых зажимах  $R$ . Нулевому значению  $R$  соответствует нулевой



ток через МЭИМ, а следовательно, нуль омметра находится на крайней левой отметке.

Уравнения шкал для последовательной и параллельной схем соответственно будут

$$\alpha_{\text{посл}} = S_I \cdot \frac{U_{\text{ИП}}}{R + R_0 + R_{\text{ИМ}}}; \quad \alpha_{\text{пар}} = S_I \cdot \frac{U_{\text{ИП}}}{R \cdot R_{\text{ИМ}} / (R + R_{\text{ИМ}}) + R_0}. \quad (1.11)$$

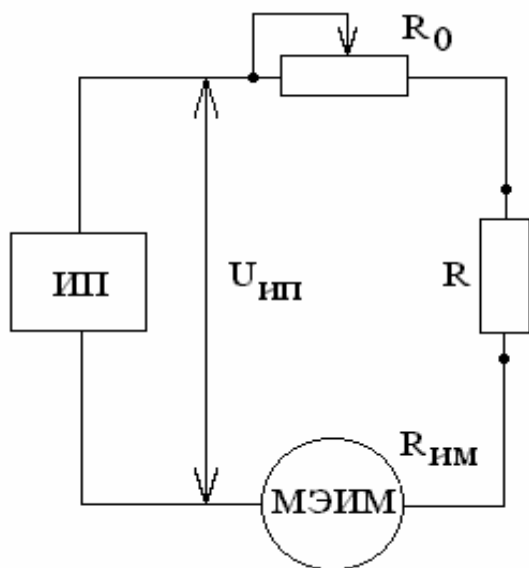


Рисунок 1.3

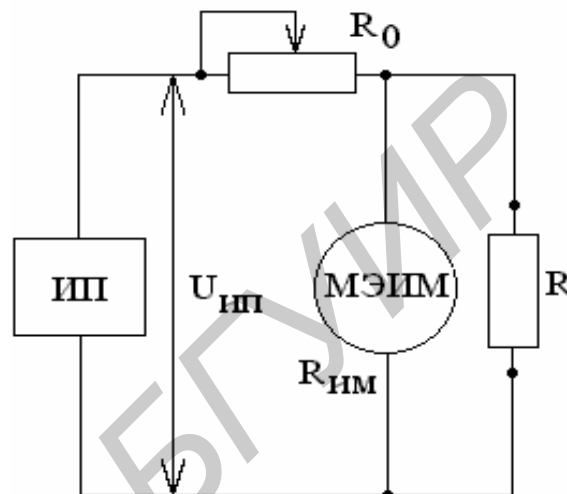


Рисунок 1.4

Отсюда следует, что шкалы МЭ омметров будут неравномерны, а градуировка их будет зависеть от напряжения  $U_{\text{ИП}}$ , что потребует обязательной калибровки перед измерением, осуществляемой с помощью  $R_0$ .

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

При измерении силы тока амперметр с сопротивлением  $R_a$  включается последовательно с участком исследуемой цепи  $R_H$  (рисунок 1.5).

При этом увеличивается сопротивление участка цепи, и измеряемый ток уменьшается от значения  $I = U_{\text{ИП}}/R_H$  до значения  $I_{\text{И}} = U_{\text{ИП}}/(R_a + R_H)$ . В результате возникает методическая погрешность измерения силы тока

$$\delta_{\text{М}} = \frac{I_{\text{И}} - I}{I} \cdot 100\% = -\frac{100\%}{1 + R_H/R_a}. \quad (1.12)$$

Эта погрешность носит систематический характер и может быть исключена из результата измерения введением поправки  $q_I = (-\delta_{\text{М}}) \cdot I_{\text{И}} / (100 + \delta_{\text{М}})$ . Тогда за исправленный результат измерения принимают величину

$$I = I_{\text{И}} + q_I. \quad (1.13)$$

При измерении напряжения вольтметр с входным сопротивлением  $R_V$  подключается параллельно исследуемому участку цепи с сопротивлением  $R_H$  (рисунок 1.6). Вся остальная электрическая цепь при этом может быть представлена в виде эквивалентной ЭДС  $E$  с внутренним сопротивлением  $R_0$ . Падение на-

пряжения на исследуемом участке вследствие уменьшения сопротивления этого участка уменьшится от значения  $U = E/(1 + R_0/R_H)$  до значения  $U_{И} = E/(1+R_0/R_V + R_0/R_H)$ .

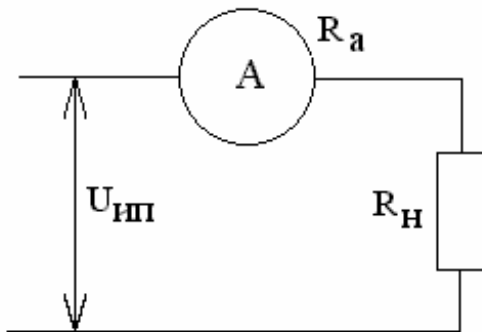


Рисунок 1.5

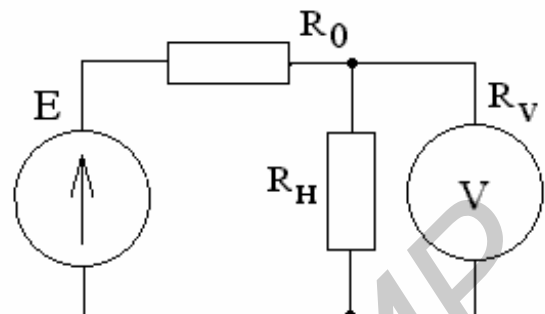


Рисунок 1.6

Методическая погрешность измерения напряжения в этом случае равна

$$\delta_{MU} = \frac{U_{И} - U}{U} \cdot 100\% = - \frac{100\%}{1 + R_V/R_H + R_V/R_0}. \quad (1.14)$$

Данная погрешность также является систематической и может быть исключена из рассмотрения введением поправки

$$q_U = (-\delta_{MU}) \cdot U_{И} / (100 + \delta_{MU}); \quad U = U_{И} + q_U. \quad (1.15)$$

При измерении тока, напряжения и сопротивления все большее применение находят цифровые измерительные приборы (ЦИП).

Под ЦИП понимают прибор, автоматически вырабатывающий дискретные сигналы измерительной информации, показания которого представлены в цифровой форме.

ЦИП по сравнению с аналоговыми имеют существенные преимущества:

- увеличивается скорость измерений при высокой точности;
- возможна запись и хранение полученной информации;
- повышается объективность измерений (исключаются субъективные погрешности);
- обеспечивается непрерывный контроль работы радиоэлектронной аппаратуры с дистанционной передачей данных без снижения точности измерений;
- многофункциональность.

Основными элементами ЦИП являются преобразователи аналогового сигнала в цифровую форму, счетчики импульсов и цифровые указатели (индикаторы).

### 1.3 Приборы и оборудование, используемые при выполнении работы

#### 1.3.1 Магазин сопротивлений МСР-63.

#### 1.3.2 Прибор электроизмерительный комбинированный Ц4353.

#### 1.3.3 Цифровой комбинированный прибор М92А.

#### 1.3.4 Лабораторный макет.

### 1.4 Описание лабораторного макета

Лабораторный макет (рисунок 1.7) содержит источник питания универсальный (УИП), 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. В лабораторный макет входят цифровой комбинированный прибор М92А, прибор электроизмерительный комбинированный Ц4353 и магазин сопротивлений МСР-63.

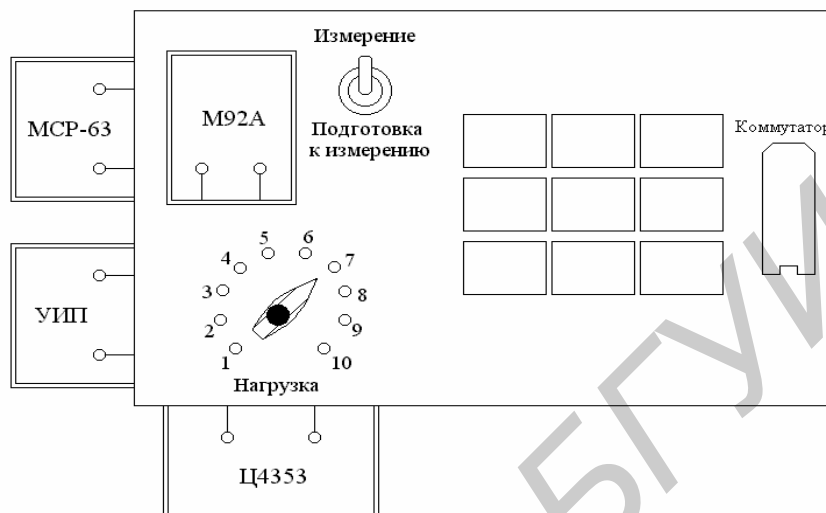


Рисунок 1.7

Использование девяти контактных колодок позволяет реализовать девять режимов измерения. При включении колодки загорается светодиод, индицирующий соответствующий обозначению колодки режим измерения (рисунки 1.2–1.10). В лабораторном макете используется тумблер на два положения: «Подготовка к измерениям» и «Измерение». В положении тумблера «Подготовка к измерениям» приборы Ц4353, М92А, МСР-63 отключены от измерительных схем. Данное состояние используется для подготовки к измерениям. В положении тумблера «Измерение» производится отсчет результатов измерений на шкале или на табло приборов.

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	0,98	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

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 <sub>a</sub> , кОм	1,133	0,285	0,060	0,016	0,004
	Предел U, В	1,5	3	12	30	
	R <sub>v</sub> , кОм	30	60	240	600	
M92A	Предел I, мА	0,2	2	20	200	
	R <sub>a</sub> , кОм	1,01	0,104	0,015	0,006	
	Предел U, В	0,2	2	20	200	
	R <sub>v</sub> , кОм	10 000 на всех пределах измерения				

Выходное сопротивление источника питания универсального R<sub>0</sub> в режиме измерения сопротивления составляет 110 кОм.

### 1.5 Подготовка к выполнению работы

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

1.5.2 По приложениям к настоящим методическим указаниям изучить приборы, применяемые при выполнении лабораторной работы, проведение измерений с их помощью, оценку полученных результатов.

1.5.3 Ответить на контрольные вопросы.

1.5.4 Сделать заготовку отчета (одну на бригаду) по лабораторной работе в соответствии с требованиями настоящих методических указаний.

### 1.6 Лабораторное задание

1.6.1 Измерить силу постоянных токов, протекающих через нагрузки, с помощью приборов Ц4353 и M92A. Оценить инструментальную и методическую погрешности измерения тока.

1.6.2 Измерить падения напряжения постоянного тока на нагрузках с помощью приборов Ц4353 и M92A. Оценить инструментальную и методическую погрешности измерения напряжения.

1.6.3 Отградуировать шкалу омметра с помощью магазина сопротивлений МСР-63.

1.6.4 Провести многократное прямое измерение напряжения постоянного тока с помощью прибора M92A и обработать результаты наблюдений.

### 1.7 Порядок выполнения

**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 1.7.**

**В ходе выполнения лабораторного задания никаких дополнительных коммутаций соединительных проводов не допускается.**

**Все переключения режимов работы прибора M92A (установка зон A, V, Ω) выполнять при положении тумблера лабораторного макета «Подготовка к измерению».**

1.7.1 Выполнить измерения в соответствии с п.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 п.Д.3. Подготовить приборы Ц4353 и М92А к измерению тока в соответствии с пп.Б.4.1 и В.3.1.1.

1.7.1.2 Включить колодку СХЕМА 1.  $I_{И}$  – Ц4353 в разъем лабораторного макета. При этом загорается светодиод, индицирующий собранную схему (см. рисунок 1.7).

1.7.1.3 Тумблер лабораторного макета установить в положение «Измерение». Выставить на источнике питания универсальном напряжение  $U_{ИП1}$ , заданное в таблице 1.3, согласно п.Д.4. Установить переключатель «Нагрузка» в положение  $N_1$ , заданное в таблице 1.3. Измерить ток  $I_{И}$  с помощью Ц4353 согласно п. Б.4.2.1-Б.4.2.3 Выставить напряжение  $U_{ИП2}$ , установив переключатель «Нагрузка» в положение  $N_2$ , заданное в таблице 1.3, и измерить ток  $I_{И}$ . Результаты измерений и пределы, на которых они выполнены, занести в таблицу 1.4. Тумблер лабораторного макета установить в положение «Подготовка к измерению». Ручку ПЛАВНО УСТАН. НАПРЯЖ. источника питания универсального повернуть влево до упора.

1.7.1.4 Рассчитать инструментальную относительную  $\delta_i$ , методическую  $\delta_{Мi}$  погрешности измерения силы тока с помощью прибора Ц4353, поправку  $q_i$ , действительное значение тока  $I$ , используя формулы (1.12), (1.13), А.4 и данные таблиц 1.1, 1.2, Б.1. Результаты расчетов занести в таблицу 1.4.

Таблица 1.3

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
n		5	7	8	9	10	11	13	14	15	17
$R_d$		0,95	0,95	0,99	0,95	0,99	0,99	0,95	0,99	0,99	0,95

1.7.1.5 Включить колодку СХЕМА 2.  $I_{И}$  – М92А в разъем лабораторного макета (см. рисунок 1.7).

1.7.1.6 Тумблер лабораторного макета установить в положение «Измерение»

и измерить ток  $I_{и}$  прибором М92А при тех же значениях  $U_{ип1}$ ,  $U_{ип2}$  и положениях переключателя «Нагрузка», что и в п. 1.7.1.3, согласно п. В.3.1. Результаты измерений и пределы, на которых они выполнены, занести в таблицу 1.4.

1.7.1.7 Рассчитать инструментальную абсолютную  $\Delta_i$ , методическую  $\delta_{M_i}$  погрешности измерений тока с помощью прибора М92А, поправку  $q_i$  и действительные значения тока  $I$ , используя формулы (1.12), (1.13) и данные таблиц 1.1, 1.2, В.1.

Таблица 1.4

Ц4353	Номер нагрузки	Предел измерения	$I_{и}$ , мА	$\delta_i$ , %	$\delta_{M_i}$ , %	$q_i$ , мА	$I$ , мА
М92А	Номер нагрузки	Предел измерения	$I_{и}$ , мА	$\Delta_i$ , %	$\delta_{M_i}$ , %	$q_i$ , мА	$I$ , мА

1.7.2 Выполнить измерения в соответствии с п.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 М92А к измерению напряжения согласно пп.Б.4.1, Б.4.3.1–4.3.2 и В.3.2.

1.7.2.2 Включить колодку СХЕМА 4.  $U_{и}$  — Ц4353 в разъем лабораторного макета (см. рисунок 1.7).

1.7.2.3 Тумблер лабораторного макета установить в положение «Измерение». Выставить на источнике питания универсальном напряжение  $U_{ип3}$ , заданное в таблице 1.3. Установить переключатель «Нагрузка» в положение N2, заданное в таблице 1.3. Измерить напряжение  $U_{и}$  с помощью прибора Ц4353 согласно п.Б.4.3.3. Выставить напряжение  $U_{ип4}$ , установить переключатель «Нагрузка» в положение N1, заданное в таблице 1.3, и измерить напряжение  $U_{и}$ . Результаты измерений и пределы, на которых они выполнены, занести в таблицу 1.5. 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  $\delta_{u}$ , методическую  $\delta_{M_u}$  погрешности измерения напряжения с помощью прибора Ц4353, поправку  $q_u$  и действительное значение напряжения  $U$ , используя формулы (1.14), (1.15), (А.4), данные таблиц 1.1, 1.2, Б.1. Результаты расчетов занести в таблицу 1.5.

1.7.2.5 Включить колодку СХЕМА 5.  $U_{и}$  – М92А в разъем лабораторного макета (см. рисунок 1.7).

1.7.2.6 Тумблер лабораторного макета установить в положение «Измерение» и измерить напряжение  $U_{и}$  прибором М92А при тех же значениях  $U_{ип3}$ ,  $U_{ип4}$  и положениях переключателя «Нагрузка», что и в п.1.7.2.3, согласно п.В.3.2.2. Результаты измерений занести в таблицу 1.5.

1.7.2.7 Рассчитать инструментальную абсолютную  $\Delta_{и}$  погрешность измерения напряжения с помощью прибора М92А, используя данные таблицы В.1.

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

Таблица 1.5

Ц4353	Номер нагрузки	Предел измерения	$U_{и}$ , В	$\delta_{и}$ , %	$\delta_{м_{и}}$ , %	$q_{и}$ , В	$U$ , В
М92А	Номер нагрузки	Предел измерения	$U_{и}$ , В			$\Delta_{и}$ , В	

1.7.3.1 Тумблер лабораторного макета установить в положение «Подготовка к измерению». Подготовить прибор Ц4353 к измерению сопротивлений согласно пп.Б.4.1, Б.4.4.1.

1.7.3.2 Включить колодку СХЕМА 7.  $R_U$  – Ц4353 в разъем лабораторного макета (см. рисунок 1.7).

1.7.3.3 Тумблер лабораторного макета установить в положение «Измерение». Произвести установку нуля омметра. Для этого на магазине сопротивлений МСР-63 воспроизвести сопротивление 0 Ом (это соответствует короткому замыканию зажимов «\*» и «V, mA,  $\Omega$ ,  $r_x$ ») и стрелку прибора установить на отметку «30» верхней шкалы прибора Ц4353 ручкой « $r_x$  nF». Это положение будет соответствовать 0 омметра. Далее с помощью магазина сопротивлений МСР-63 установить последовательно стрелку прибора Ц4353 на оцифрованные отметки верхней шкалы и зафиксировать значения положений декадных переключателей магазина. Результаты измерений занести в таблицу 1.6.

Таблица 1.6

Деления	30	25	20	15	10	5	0
R, Ом							

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

1.7.4.1 Тумблер лабораторного макета установить в положение «Подготовка к измерению». Ручку ПЛАВНО УСТАН. НАПРЯЖ. источника питания уни-

версального повернуть влево до упора. Подготовить прибор М92А к измерению напряжения.

1.7.4.2 Включить колодку СХЕМА 5.  $U_{и}$  М92А в разъем лабораторного макета. Тумблер лабораторного макета установить в положение «Измерение». Установить переключатель «Нагрузка» в положение 1.

1.7.4.3 Выставить на источнике питания универсальном напряжение  $U_{ипз}$ , заданное в таблице 1.3. Измерить напряжение  $U_{и}$  с помощью прибора М92А и результат занести в таблицу 1.7. Ручку ПЛАВНО УСТАН. НАПРЯЖ. источника питания универсального повернуть влево до упора.

1.7.4.4 Повторить операции п.1.7.4.3.  $n_1$  раз ( $n_1$  приведено в таблице 1.3).

1.7.4.5 Обработать результаты многократных измерений напряжения в соответствии с рекомендациями, приведенными в [1, 5, 6]. Алгоритм обработки привести в отчете по лабораторной работе. Доверительная вероятность  $P_{д}$  выбирается из таблицы 1.3. Результат измерений представить в форме, соответствующей требованиям ГОСТ 8.207-76 или М1317-86, и занести в таблицу 1.7.

Таблица 1.7

Номер измерения	1	2	...	i	...	$n_1-1$	$n_1$
$U_{и}, В$							
Результат измерения	$U_{и} = \dots ; P_{д} = \dots$						

## 1.8 Контрольные вопросы

- 1 Поясните принцип действия приборов прямого преобразования.
- 2 Поясните конструкцию, принцип действия, достоинства и недостатки МЭИМ.
- 3 Поясните способы расширения пределов измерения амперметра.
- 4 Поясните способы расширения пределов измерения вольтметра.
- 5 Поясните принцип действия омметров, выполненных на базе МЭИМ по последовательной и параллельной схемам.
- 6 Что понимают под чувствительностью измерительного механизма?
- 7 Что собой представляет уравнение шкалы МЭИМ?
- 8 Поясните причину возникновения методической погрешности при измерении силы тока и напряжения.
- 9 Что такое абсолютная, относительная и приведенная погрешности приборов?
- 10 Как приведенная погрешность определяется для разных видов шкал?
- 11 Приведите алгоритм обработки результатов наблюдений при прямом измерении напряжения.



## 2 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА Э.2М «ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВУХПОЛЮСНИКОВ»

### 2.1 Цель работы

2.1.1 Изучение методов измерения параметров двухполюсников.

2.1.2 Измерение активного сопротивления, емкости, индуктивности, тангенса угла потерь и добротности двухполюсников.

2.1.3 Приобретение практических навыков оценки погрешностей полученных результатов измерений.

### 2.2 Краткие сведения из теории

Основными параметрами, подлежащими измерению в цепях с сосредоточенными постоянными, являются активное сопротивление  $R$ , емкость  $C$  и индуктивность  $L$ . Кроме того, для колебательных цепей и катушек индуктивности непосредственно измеряется важный вторичный параметр — добротность  $Q$ , а для конденсаторов — тангенс угла потерь  $\operatorname{tg}\delta$ .

Измерение перечисленных параметров осуществляется, как правило, методом сравнения, при котором измеряемый параметр сравнивается с образцовой мерой (образцовым резистором, конденсатором или катушкой индуктивности).

Наибольшее распространение получили мостовой и резонансный методы измерения.

Значения параметров цепей могут изменяться в широких пределах при изменении частоты приложенного напряжения, в зависимости от протекающих токов и внешних условий (температуры, влажности, давления). Поэтому при измерении параметров цепей всегда стремятся проводить измерения на той частоте и в тех условиях, в которых данная деталь будет работать в аппаратуре.

2.2.1 Мостовой метод измерения параметров цепей. Измерительные мосты

Мостовой метод является одной из разновидностей метода сравнения. Приборы, основанные на мостовом методе, называются мостами постоянного и переменного тока, в зависимости от характера напряжения питания.

Мостовая измерительная цепь (МИЦ) в общем случае состоит из четырех сопротивлений  $z_1$ – $z_4$ , имеющих в общем случае комплексный характер и образующих две параллельные ветви к источнику питания ИП (рисунок 2.1). В диагональ «аб» включен индикатор равновесия И (гальванометр), и эта диагональ называется индикаторной диагональю.

Как известно, схема моста находится в равновесии (балансе), если ток в индикаторной диагонали отсутствует. При этом показания индикатора равны нулю. В данном случае МИЦ реализует одну из основных модификаций метода сравнения — нулевой метод.

Моменту равновесия МИЦ соответствует равенство потенциалов точек «а» и «б», что возможно только тогда, когда падения напряжений в плечах  $z_1$  и  $z_4$ ,  $z_2$  и  $z_3$  будут равны между собой, т.е.  $I_1 \cdot z_1 = I_2 \cdot z_4$ ;  $I_1 \cdot z_2 = I_2 \cdot z_3$  при  $I_{\text{И}} = 0$ . Отсюда следует условие равновесия (баланса) МИЦ:

$$z_1 \cdot z_3 = z_2 \cdot z_4. \quad (2.1)$$

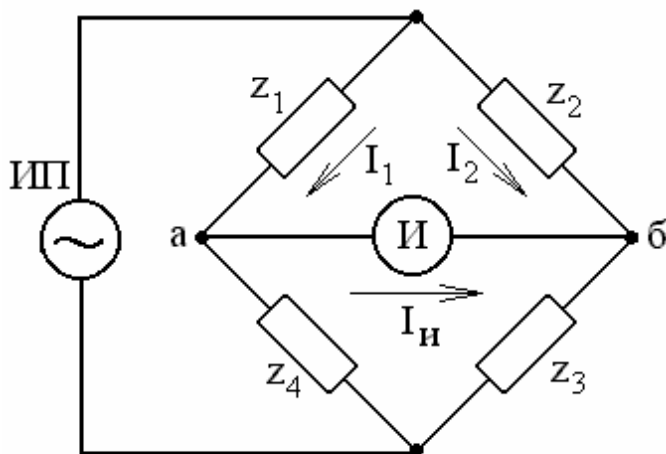


Рисунок 2.1

Учитывая, что  $z_1 \dots z_4$  величины комплексные, условие (2.1) распадается на два:

$$|z_1| \cdot |z_3| = |z_2| \cdot |z_4|, \quad (2.2)$$

т.е. произведения модулей сопротивлений противоположных плеч равны между собой;

$$\varphi_1 + \varphi_3 = \varphi_2 + \varphi_4, \quad (2.3)$$

т.е. суммы фазовых углов между токами и напряжениями в противоположных плечах равны между собой.

Следовательно, для уравнивания моста необходимо произвести две настройки: подобрать модули сопротивлений и фазы.

Обычно для этой цели изменяют в одном из плеч реактивную и активную составляющие сопротивления. Очевидно, что при изменении одной из них происходит одновременное изменение как модуля, так и фазы. Поэтому равновесие моста может быть достигнуто лишь методом последовательных приближений. Это требует наличия не менее двух регулируемых элементов. Кроме того, условие (2.3) предопределяет лишь ограниченное число комбинаций сопротивлений плеч по характеру активного и реактивного сопротивления, при которых возможно уравнивание. Это и определяет правила построения МИЦ. Например, если в двух смежных плечах могут быть включены активные сопротивления, то в двух других плечах могут быть включены катушки индуктивности или конденсаторы. Если же активные сопротивления включены в противоположные плечи, то в одно из двух противоположных плеч может включаться катушка индуктивности, а в другое — конденсатор.

Если одно из сопротивлений плеч, например  $z_1$ , неизвестно, то, уравнив мост, можно найти значение этого сопротивления из общего условия равновесия моста:

$$z_x = z_1 = \frac{z_2 \cdot z_4}{z_3}. \quad (2.4)$$

Представляя комплексное сопротивление в виде параллельного или последовательного соединения активной и реактивной составляющих (параллельной или последовательной схемы замещения), можно определить соответствующие значения их сопротивлений.

В качестве источников питания в мостах переменного тока применяется сеть 220 В, 50 Гц или генераторы звуковой и высокой частоты. Напряжение источника питания моста должно быть чисто синусоидальным. Индикаторами нуля служат гальванометры, а также электронные вольтметры.

Погрешности мостового метода измерения определяются в первую очередь чувствительностью моста, под которой понимают различимое изменение показаний индикатора  $\Delta\alpha$ , отнесенное к вызвавшему его изменению параметра (в

данном случае сопротивления одного из плеч  $\Delta z$ ):

$$S_M = \frac{\Delta\alpha}{\Delta z} = \frac{\Delta\alpha}{\Delta I_{И}} \cdot \frac{\Delta I_{И}}{\Delta z} = S_I \cdot S_{МИЦ}, \quad (2.5)$$

где  $\Delta I_{И}$  — изменение тока через индикатор, пропорциональное  $\Delta\alpha$ ;

$S_I$  — чувствительность индикатора по току;

$S_{МИЦ}$  — чувствительность МИЦ, которая максимальна для равноплечих МИЦ (когда  $z_1 = z_2 = z_3 = z_4$ ).

Другой характеристикой моста является сходимость, т.е. способность моста приходиться к состоянию равновесия путем большего или меньшего числа последовательных регулировок его элементов. Хотя это число, согласно условиям (2.2) и (2.3), в принципе может быть равно двум, на практике оно больше, так как изменение сопротивления любого элемента моста одновременно влияет и на баланс амплитуд, и на баланс фаз. Необходимы, таким образом, поочередные переходы от регулировки одного элемента к регулировке другого.

Кроме того, в суммарную погрешность измерения входят погрешности калибровки и градуировки сопротивлений в плечах моста. Дополнительные погрешности определяются паразитными связями элементов моста, источника питания и индикатора друг с другом и с окружающими предметами.

Для уменьшения влияния паразитных связей применяются тщательное экранирование, симметрирование плеч и рациональный выбор точек заземления. Суммарная погрешность измерения с помощью мостов переменного тока лежит в пределах  $\pm(1-3)\%$ .

Измерительные мосты классифицируются по целому ряду признаков. По типу источников питания мосты подразделяются на мосты постоянного и переменного тока. В зависимости от количества плеч различают четырехплечие и многоплечие мосты. В зависимости от структуры двухполюсников, образующих плечи МИЦ, выделяют мосты типов МЕ (для измерения емкости  $C$ ), МИ (для измерения индуктивности  $L$ ), МИЕ (для измерения  $C$  и  $L$ ), МЕП (для измерения  $C$  и  $\text{tg}\delta$ ), МИП (для измерения  $L$  и  $Q$ ) и МИЕП (универсальные).

### **Измерительные мосты постоянного тока**

Область применения мостов постоянного тока ограничивается измерением активного сопротивления  $R_X$ , и они дополняют омметры, являясь по сравнению с ними не только более сложными, но и значительно более точными приборами.

Простейшая схема одинарного моста постоянного тока является частным случаем схемы, изображенной на рисунке 2.1, на которой  $z_1 = R_X$ ,  $z_2 = R_2$ ,  $z_3 = R_3$ ,  $z_4 = R_4$ . Общее условие равновесия моста постоянного тока тогда будет иметь вид  $R_X \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4$ , откуда и находится неизвестное сопротивление  $R_X$ . Отсюда следует, что в практических схемах мостов уравнивание МИЦ может осуществляться двумя способами:

изменением  $R_2$  при  $R_4/R_3 = \text{const}$  — магазинные мосты;

изменением  $R_4/R_3$  при  $R_2 = \text{const}$  — линейные мосты.

Наибольшее распространение получили магазинные мосты, т.к.  $R_2$  можно конструктивно выполнить в виде высокоточного магазина сопротивлений, а для

расширения пределов  $R_x$  можно изменять ступенями, кратными 10.

Если в качестве индикатора для моста применяется высокочувствительный магнитоэлектрический микроамперметр или гальванометр, то диапазон измерения  $R_x$  будет  $1 \dots 10^5$  Ом.

### Измерительные мосты переменного тока

Существует много разнообразных схем мостов, предназначенных для измерения емкости и индуктивности.

Схема для измерения емкости  $C_x$  представлена на рисунке 2.2.

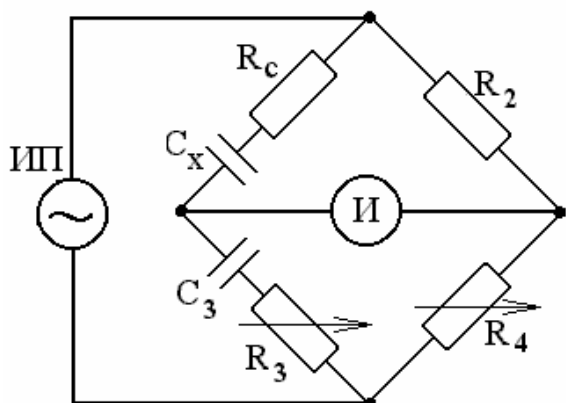


Рисунок 2.2

На основании формулы (2.1) условие равновесия моста можно записать в следующем виде:

$$R_2 \left( R_3 - \frac{1}{j\omega C_3} \right) = R_4 \left( R_C - \frac{1}{j\omega C_x} \right),$$

где  $R_C$  – сопротивление, эквивалентное потерям в конденсаторе.

Разделяя действительные и мнимые части, имеем

$$C_x = C_3 \frac{R_4}{R_2}, \quad R_C = R_3 \frac{R_2}{R_4}. \quad (2.6)$$

На практике качество конденсаторов характеризуется не величиной активного сопротивления  $R_C$ , а тангенсом угла потерь

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{R_C}{1/\omega C_x} = \omega \cdot C_3 \cdot R_3. \quad (2.7)$$

Отсюда видно, что для равновесия моста достаточно изменять активные сопротивления, имея емкость  $C_3$  постоянной. Обычно для балансировки используется переменный резистор  $R_4$ , градуированный в значениях  $\operatorname{tg} \delta$ . Изменением сопротивления  $R_2$  достигается расширение пределов измерения  $C_x$ .

Данная схема соответствует малым потерям в конденсаторе (малым значениям  $\operatorname{tg} \delta$ ).

Аналогично можно изобразить схему моста при параллельном замещении реального конденсатора, которая соответствует большим потерям в конденсаторе.

Из выражения (2.6) видно, что схема рисунка 2.2, равно как и схема с параллельной схемой замещения реального конденсатора, при измерении  $C_x$  оказывается частотно-независимой. Это является важным достоинством мостов типа МЭП и позволяет применять их для измерения  $C_x$  на рабочей частоте.

Схема для измерения индуктивности при  $Q_{LX} < 30$  представлена на рисунке 2.3. В качестве образцовой меры по-прежнему применяется конденсатор.

В данном случае используется параллельная схема замещения образцового конденсатора. Условием баланса будет

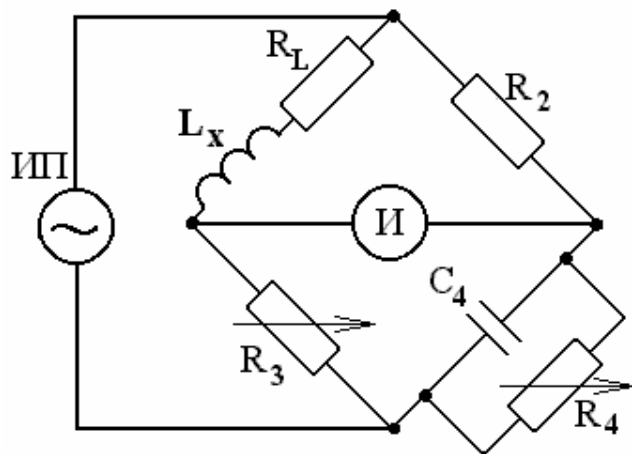


Рисунок 2.3

$$(R_L + j\omega L_x) \cdot \left( \frac{R_4}{j\omega C_4 R_4 - 1} \right) = R_2 R_3$$

где  $R_L$  — активное сопротивление катушки. В итоге получим

$$L_x = C_4 R_2 R_3, \quad R_L = \frac{-R_2 R_3}{R_4}. \quad (2.8)$$

Добротность катушки будет

$$Q_L = \frac{\omega L_x}{R_L} = \omega C_4 R_4.$$

В данном случае балансировка моста достигается с помощью двух переменных резисторов:  $R_3$ , отградуированного в значениях  $L_x$ , и  $R_4$ , отградуированного в значениях  $Q_L$ . Расширение пределов измерения  $L_x$  осуществляется с помощью измерения сопротивления  $R_2$ .

При  $Q_x > 30$  мост строится по последовательной схеме замещения образцового конденсатора.

Как и мост типа МЭП, данный мост частотно-независим при измерении.

### 2.2.2 Резонансный метод измерения параметров цепей

Резонансный метод измерения параметров цепей основан на использовании резонансных свойств колебательных систем, в частности, контуров с сосредоточенными параметрами. Основным достоинством резонансного метода является возможность измерения параметров на рабочей частоте.

Относительно просто резонансным методом измеряются емкость и индуктивность. Для этого достаточно составить контур (рисунок 2.4, а,б) из образцовой индуктивности (или емкости) и измеряемой емкости (соответственно индуктивности).

Контур связывается с генератором, причем связь должна быть слабой. Настроив контур в резонанс с частотой генератора (изменением частоты на рисунке 2.4,а или образцовой емкости  $C_0$  на рисунке 2.4,б), можно вычислить измеряемую емкость или индуктивность по формуле

$$C_x = \frac{1}{4\pi^2 f_p^2 L_0} \quad (2.9)$$

или

$$L_x = \frac{1}{4\pi^2 f_p^2 C_{0p}}, \quad (2.10)$$

где  $f_p$  и  $C_{0p}$  — значения частоты и емкости при резонансе.

Индикатор резонанса ИП обычно включается в дополнительный контур с тем, чтобы не уменьшать добротность контура  $L_0 C_x$  (или  $L_x C_0$ ), а следовательно, и точность измерений.

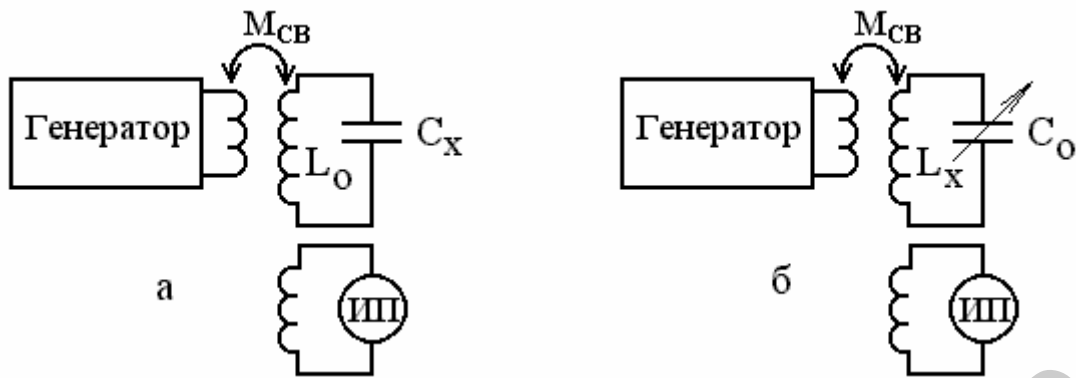


Рисунок 2.4

В описанном способе измерения  $L_X$  и  $C_X$  не учитывается емкость монтажа и собственная емкость катушки. Фактически в этом случае  $C_{OP} = (C + C_L)$  в выражении (2.10) будет являться емкостью всего контура, представляющей собой сумму емкостей конденсатора и собственной емкости катушки  $C_L$ , а не емкостью конденсатора, и значение  $L_X$  будет определено неточно. Для определения истинного значения индуктивности необходимо определить значение собственной емкости катушки  $C_L$ . С этой целью необходимо проделать следующее.

Настроить контур в резонанс на двух различных частотах:

$$f_{P1} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_X(C_1 + C_L)}};$$

$$f_{P2} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_X(C_2 + C_L)}}.$$

Затем, решив полученную систему уравнений относительно  $C_L$ , рассчитать ее значение.

Для повышения точности измерения объединяют резонансный метод с методом замещения. Суть метода замещения состоит в следующем: сначала настраивают контур в резонанс с некоторой образцовой емкостью  $C_0$ , затем замещают  $C_0$  искомой емкостью  $C_X$  и вновь настраивают контур в резонанс.

Для измерения малых емкостей методом замещения составляется схема, изображенная на рисунке 2.5,а.

При отключенной  $C_X$  контур настраивается в резонанс измерением  $C_0$  и в момент резонанса отсчитывается  $C_0$ . Затем подключают  $C_X$  и изменением  $C_0$  вновь настраивают контур в резонанс. Отсчитывается  $C_0''$ . Тогда  $C_X = C_0' - C_0''$ , и паразитные емкости не влияют на результат измерения.

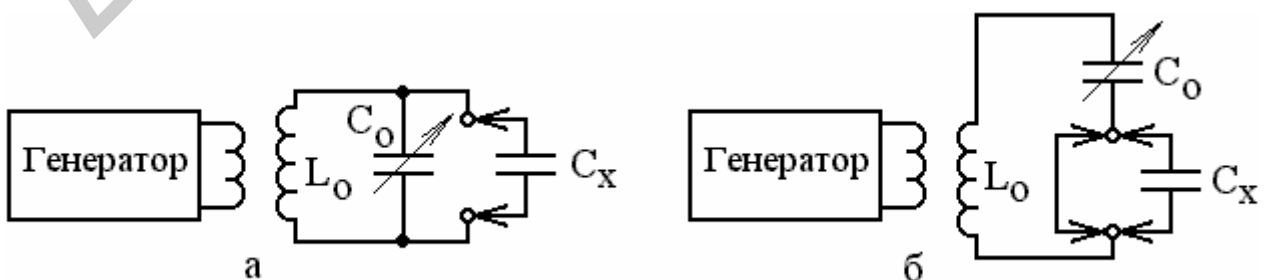


Рисунок 2.5

Для измерения больших емкостей применяется последовательное включение исследуемого конденсатора с образцовым (см. рисунок 2.5,б). Если контур без измеряемого конденсатора настраивается в резонанс при значении емкости образцового конденсатора  $C_0'$ , а при включении измеряемого конденсатора емкость образцового конденсатора должна быть увеличена до  $C_0''$ , то значение емкости измеряемого конденсатора определяется из выражения  $C_x = C_0' \cdot C_0'' / (C_0'' - C_0')$ . Аналогичные схемы могут применяться и при измерении индуктивности. При этом погрешность измерения возрастает из-за паразитной связи между измеряемой катушкой и катушкой контура.

### 2.3 Приборы, используемые при выполнении работы

#### 2.3.1 Измеритель иммитанса Е7-14.

#### 2.3.2 Измеритель добротности Е4-7.

### 2.4 Описание лабораторного макета

Лабораторный макет (рисунок 2.6) представляет собой набор объектов измерения (резисторов, конденсаторов и катушек индуктивности). Конкретный набор элементов выбирается переключателем ВАРИАНТ. В пределах каждого варианта для измерений предлагаются по 2 элемента каждого вида. Номер элемента выбирается переключателем НОМЕРА ТОЧЕК. Причем для измерения параметров резисторов подключают прибор к клеммам СОПРОТИВЛЕНИЯ, конденсаторов — к клеммам ЕМКОСТИ, катушек индуктивности — к клеммам ИНДУКТИВНОСТИ.

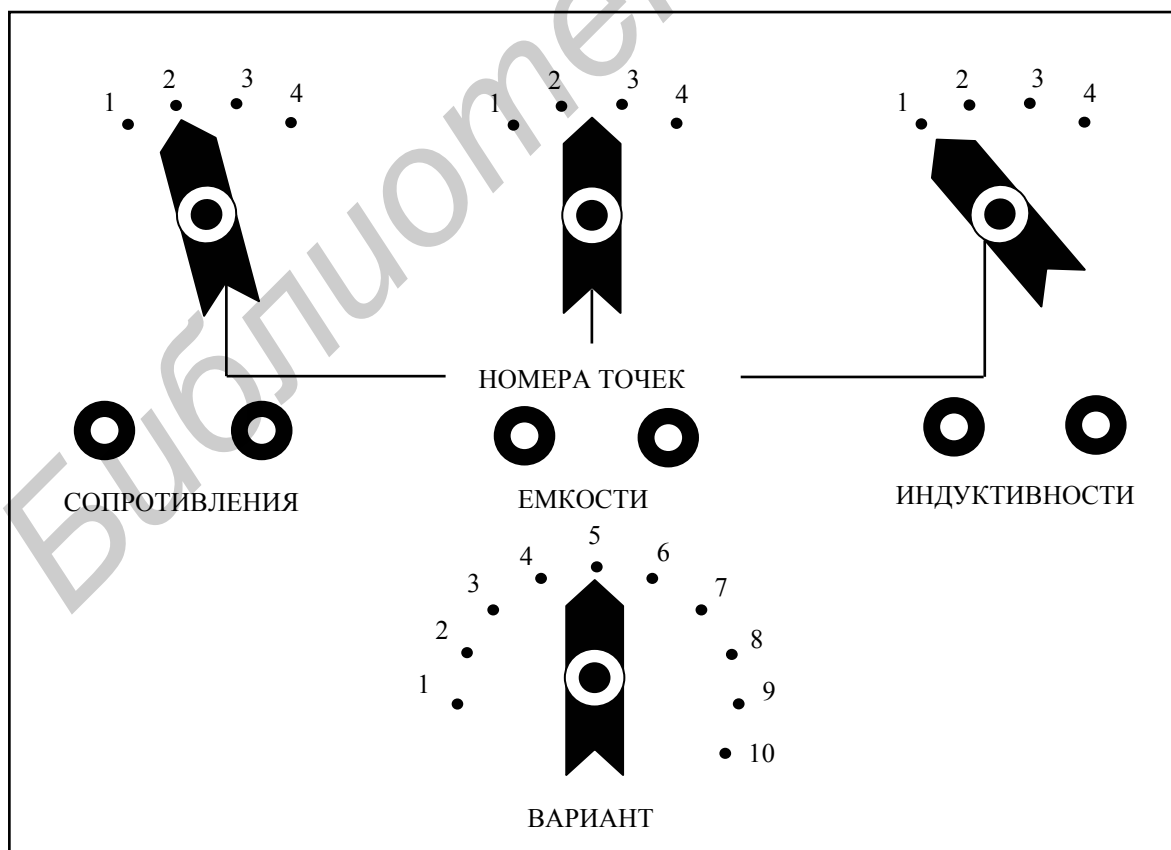


Рисунок 2.6

## 2.5 Подготовка к выполнению работы

2.5.1 По рекомендуемой литературе изучить методы измерения параметров ДП и принцип работы мостовых и резонансных измерителей этих параметров.

2.5.2 По Приложениям к настоящим методическим указаниям изучить устройство, принцип действия и характеристики приборов Е7-14, Е4-7, а также методики проведения измерений с их помощью.

2.5.3 Ответить на контрольные вопросы.

2.5.4 Сделать заготовку отчета (одну на бригаду) по лабораторной работе в соответствии с требованиями настоящих методических указаний.

## 2.6 Лабораторное задание

2.6.1 Измерить параметры заданных ДП с помощью измерителя иммитанса Е7-14.

2.6.2 Измерить параметры заданных ДП резонансным методом.

2.6.3 Измерить параметры заданных ДП методом замещения.

## 2.7 Порядок выполнения работы

2.7.1 Выполнить измерения в соответствии с п.6.1 лабораторного задания.

2.7.1.1 Подготовить прибор Е7-14 к проведению измерений согласно п.Е.4.

2.7.1.2 Переключателем ВАРИАНТ установить номер варианта в соответствии с номером бригады согласно таблице 2.1.

Таблица 2.1

Номер бригады	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номера исследуемых ДП (номера точек)	1,2	2,3	3,1	4,3	2,4	4,1	1,2	3,1	1,4	2,3
Номер катушки индуктивности	2	3	4	5	6	7	8	9	5	2

2.7.1.3 Руководствуясь методикой, изложенной в п.Е.5, измерить параметры резисторов, катушек индуктивности и конденсаторов, номера которых указаны в таблице 2.1. Результаты измерений занести в таблицу 2.2.

Таблица 2.2

№ ДП	Схема замещ. $L_x$	$L_x$ , мГн	Q	$\delta_{L_x}$ , %	Схема замещ. $C_x$	$C_x$ , мкФ	$\text{tg } \delta$	$\delta_{C_x}$ , %	$R_x$ , Ом	$\delta_{R_x}$ , %

2.7.1.4 Пользуясь техническими характеристиками прибора Е7-14, определить относительные инструментальные погрешности измерения емкости ( $\delta_{C_x}$ ), индуктивности ( $\delta_{L_x}$ ) и сопротивления ( $\delta_{R_x}$ ) и занести их в таблицу 2.2.

2.7.2 Выполнить измерения в соответствии с п.2.6.2 лабораторного задания. Измерения проводить в следующей последовательности.



2.7.2.1 Подготовить прибор Е4-7 к проведению измерений согласно п.Ж.4.

2.7.2.2 Выбрать из комплекта к прибору катушку индуктивности, номер которой задан в таблице 2.1 согласно варианту, и подключить ее к клеммам  $L_X$  прибора Е4-7.

2.7.2.3 Выполнить измерения и необходимые расчеты, для чего:

— установить ручкой ПРЕДЕЛЫ  $Q$  наименьший предел;

— установить ручкой ЕМКОСТЬ  $pF$  минимальное значение емкости образцового конденсатора ( $C_0 = 30 pF$ );

— изменяя частоту генератора ручкой ЧАСТОТА  $\frac{kHz}{MHz}$  и переключателем

поддиапазонов частоты, добиться резонанса (максимального отклонения стрелки прибора);

— отсчитать по шкале генератора значение частоты резонанса  $f_B$ , занеся его в таблицу 2.3. При зашкаливании стрелки увеличить предел измерения  $Q$ ;

Таблица 2.3

№ катушки	$f_B$ , кГц	$f_H$	$f_{ИЗМ}$ , кГц	$C_0$ , пФ	$L_{ХД}$ , мГн	$\delta L_{ХД}$ , %	$C_L$ , пФ	$L_X$ , мГн	$\delta L_X$ , %

— установить максимальное значение емкости образцового конденсатора прибора Е4-7, аналогичным образом определить значение частоты  $f_H$  и занести его в таблицу 2.3;

— выбрать и установить в диапазоне ( $f_B - f_H$ ) значение частоты  $f_{ИЗМ}$  и откалибровать прибор Е4-7 согласно п.Ж.5;

— изменением значения емкости образцового конденсатора настроить контур в резонанс;

— отсчитать полученное значение емкости образцового конденсатора  $C_0$ , частоты резонанса  $f_{ИЗМ}$  и рассчитать значение индуктивности  $L_{ХД}$  по формуле

$$L_{ХД} = \frac{1}{(2\pi f_{ИЗМ})^2 C_0};$$

— по техническим характеристикам прибора Е4-7 определить относительную инструментальную погрешность измерения  $L_{ХД}$  ( $\delta L_{ХД}$ );

— определить собственную емкость катушки  $C_L$  и рассчитать истинное значение индуктивности  $L_X$  по формуле

$$L_X = \frac{1}{(2\pi f_{ИЗМ})^2 (C_0 + C_L)};$$

— результаты всех измерений и расчетов занести в таблицу 2.3;

— определить и занести в таблицу 2.3 относительную погрешность измерения  $\delta L_X$ , т.е. процентное отличие  $L_{ХД}$  от  $L_X$ .

2.7.2.4 Измерить  $C_X$  резонансным методом.

Для этого необходимо проделать следующее:

— выбрать из комплекта катушек прибора Е4-7 катушку индуктивности, номер которой указан в таблице 2.1 в соответствии с номером бригады, и подключить ее к клеммам  $L_X$  прибора Е4-7;

— определить частоту  $f_{\text{ИЗМ}}$ , на которой будет проводиться измерение, согласно п.2.7.2.3;

— рассчитать истинное значение индуктивности  $L_X$ , как это делалось в п.2.7.2.3;

— подключить измеряемую емкость  $C_X$  к клеммам  $C_X$ ;

— установить минимальное значение емкости образцового конденсатора  $C_{\text{min}}$ ;

— изменяя частоту генератора прибора Е4-7, настроить контур в резонанс;

— отсчитав по шкале значение резонансной частоты  $f_p$  и зная истинное значение индуктивности  $L_X$ , определить емкость контура по формуле

$$C_X = \frac{1}{(2\pi f_p)^2 L_X};$$

— определить искомое значение емкости  $C_{\text{ХР}}$  как разность  $C_K$  и начальной емкости  $C_{\text{min}}$ :

$$C_{\text{ХР}} = C_K - C_{\text{min}};$$

— результаты измерений и расчетов занести в таблицу 2.4.

Таблица 2.4

№ ДП	$f_p$ , кГц	$C_{\text{ХР}}$ , пФ	$C_{01}$ , пФ	$C_{02}$ , пФ	$C_{\text{ХЗ}}$ , пФ	$\delta_K$ , %

2.7.3 Выполнить измерения в соответствии с п.2.6.3 лабораторного задания.

2.7.3.1 Для этого необходимо выполнить следующее:

— подключить заданную катушку индуктивности из комплекта катушек к клеммам  $L_X$  прибора Е4-7;

— установить максимальное значение емкости образцового конденсатора  $C_{10БР}$  и изменением частоты его генератора настроить образцовый контур в резонанс;

— подключить к клеммам  $C_X$  прибора Е4-7 заданный конденсатор и восстановить резонанс изменением емкости образцового конденсатора;

— отсчитать значение емкости  $C_{20БР}$  и определить искомую емкость  $C_{\text{ХЗ}}$  по формуле  $C_{\text{ХЗ}} = C_{10БР} - C_{20БР}$ .

2.7.3.2 Определить относительную погрешность  $\delta_K$  измерения емкости резонансным методом из-за наличия паразитных параметров контура, приняв за действительное значение емкости  $C_{\text{ХЗ}}$ .

2.7.3.3 Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 2.4.

2.7.4 Провести анализ полученных результатов, сравнив значения параметров двухполюсников, измеренных различными методами, и сделать выводы и рекомендации.

## 2.8 Контрольные вопросы

- 1 Назовите основные виды двухполюсников и их характеристики.
- 2 Перечислите методы измерения параметров двухполюсников.
- 3 Поясните сущность мостового метода измерения параметров двухполюсников.
- 4 Поясните сущность резонансного метода измерения параметров двухполюсников.
- 5 Приведите схему, принцип работы, особенности и источники погрешностей моста постоянного тока.
- 6 Поясните правила построения мостов.
- 7 Запишите обобщенное условие равновесия мостов.
- 8 Поясните назначение и принцип работы моста типа МЕР.
- 9 Поясните назначение и принцип работы моста типа МИП.
- 10 Поясните назначение и принцип работы моста типа МИЕР.
- 11 Что такое сходимост моста?
- 12 Что такое чувствительность моста?
- 13 Поясните источники погрешностей, возникающие при измерении резонансным методом.
- 14 Что такое собственная емкость катушки индуктивности, на что она влияет и как определяется?
- 15 Как определяется истинное значение индуктивности катушки?

### 3 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА Э.3М «ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННЫХ ВОЛЬТМЕТРОВ»

#### 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 Определение класса точности электронного вольтметра.

3.1.5 Изучение методики оценки погрешности при многократном косвенном измерении коэффициента передачи четырехполюсника.

#### 3.2 Краткие сведения из теории

Особенности измерения напряжений 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. Для измерения напряжений применяют приборы подгруппы В, в которых наиболее широко применяются следующие виды:

В2 — вольтметры постоянного тока;

В3 — вольтметры переменного тока;

В4 — импульсные вольтметры;

В7 — универсальные вольтметры.

Структурная схема вольтметра постоянного тока (тип В2) приведена на рисунке 3.1.

Входное устройство ВУ предназначено для согласования входного сигнала с элементами измерительного прибора, выполняет также функции переключателя пределов измерения.

Усилитель постоянного тока УПТ предназначен для усиления сигнала и, кроме того, осуществляет согласование ВУ с измерительным механизмом ИМ.

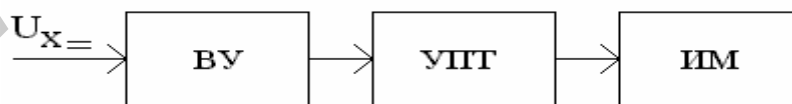


Рисунок 3.1

Структурная схема вольтметра переменного тока представлена на рисунке 3.2,а,б. В таком вольтметре сигнал переменного тока в детекторе Д преобразуется в сигнал постоянного тока, который затем измеряется.

Усиление измеряемого сигнала может производиться двумя способами. В схеме с детектором на входе (см. рисунок 3.2,а) в усилителе постоянного тока УПТ усиливается уже продетектированный сигнал.

В схеме с детектором на выходе (см. рисунок 3.2,б) усиление сигнала осуществляется в усилителе переменного тока УПрТ, и только затем переменное напряжение преобразуется в постоянное в детекторе Д. Практически все вольтметры строятся по одной из схем рисунка 3.2 или путем их комбинации.

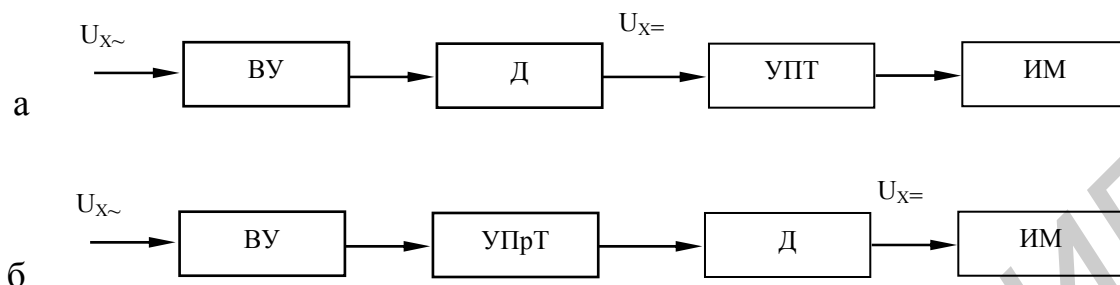


Рисунок 3.2

Сравнение типовых схем позволяет сделать выводы об их характеристиках:

1) схема с детектором на входе имеет более широкий диапазон частот, который ограничивается величиной входной емкости и частотными свойствами детектора. К недостаткам данной схемы относятся меньшая чувствительность и необходимость «установки нуля» УПТ, обусловленная температурными и временными дрейфами «нуля» и связанным с ними появлением дополнительных погрешностей;

2) схема с детектором на выходе имеет более высокую чувствительность, ограниченную в основном собственными шумами УПрТ. Частотный диапазон здесь ограничивается полосой пропускания УПрТ, которую технически сложно получить шире нескольких десятков мегагерц.

К числу основных параметров вольтметров относится входное сопротивление, которое является источником методической погрешности измерения [1,2]. На переменном токе, в отличие от постоянного, учет этой погрешности возможен, если известна не только активная, но и реактивная составляющая входного сопротивления вольтметра  $Z_V = R_V + X_{C_V}$ . В технических описаниях вольтметров переменного тока обычно приводятся значения входного сопротивления  $R_V$  и входной емкости  $C_V$ . Их можно определить экспериментально, используя схему рисунка 3.3.

Измерения проводят следующим образом. В положении 1 переключателя П вольтметр подключается ко входу источника питания и позволяет измерить его выходное напряжение  $U_{\Gamma}$  на требуемой частоте. В положении 2 переключателя П последовательно с вольтметром включается активное сопротивление  $R_0$ , сравнимое по значению с  $R_V$ . Для измерений выбирается достаточно низкая частота  $f_H$ , чтобы можно было пренебречь влиянием  $C_V$ , т.е.  $X_{C_V} \gg R_V$ . В этом случае образуется резистивный делитель. Вольтметр при этом покажет напряжение  $U_{R_V}$ , и активная составляющая входного сопротивления будет

$$R_V = \frac{R_0}{U_{\Gamma H} / U_{R_V} - 1}. \quad (3.1)$$

На высокой частоте  $f_B$  можно пренебречь влиянием  $R_V$ , т.е.  $R_V \gg X_{C_V}$ . В положении 3 переключателя П получается емкостный делитель. После отсчета показаний вольтметра  $U_{C_V}$  можно определить входную емкость

$$C_V = C_0 \cdot (U_{ГВ} / U_{C_V} - 1). \quad (3.2)$$

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  $\overline{R_V}$  и  $\overline{C_V}$  находится в этом случае как среднее арифметическое.

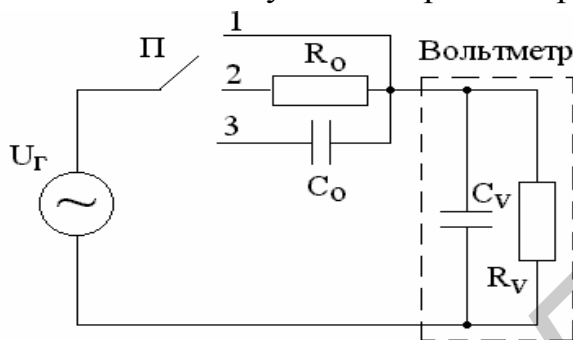


Рисунок 3.3

### 3.3 Приборы, используемые при выполнении работы

3.3.1 Генератор сигналов низкочастотный Г4-117.

3.3.2 Вольтметр универсальный цифровой В7-28.

3.3.3 Лабораторный макет М1.

### 3.4 Описание лабораторного макета

В состав макета (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.

### 3.5 Подготовка к выполнению работы

3.5.1 По рекомендуемой литературе изучить методы измерения напряжений электронными вольтметрами.

3.5.2 По приложениям к настоящим методическим указаниям 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 (одну на бригаду) по лабораторной работе в соответствии с требованиями настоящих методических указаний.

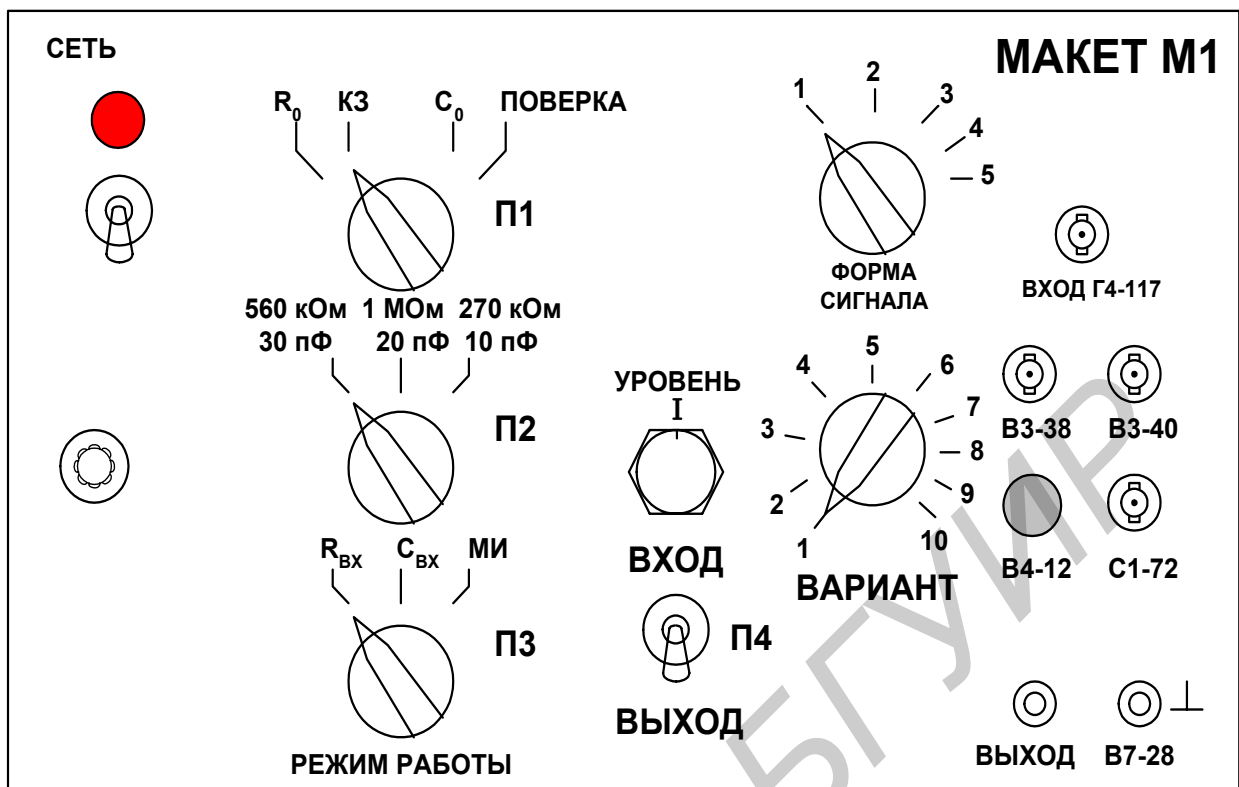


Рисунок 3.4

### 3.6 Лабораторное задание

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

### 3.7 Порядок выполнения

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

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

3.7.1.1 Подготовить к работе генератор Г4-117 и вольтметр В7-28 согласно пп. И.4 и К.4. 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 Нх и Lху вольтметра В7-28 соединить с зажимами ВЫХОД В7-28.

3.7.1.3 Согласно п.И.5 установить на генераторе Г4-117 первые значения частоты  $f$  и напряжения  $U$ , заданные в таблице 3.1. Измерить с помощью вольтметра В7-28 напряжение  $U_V$  в режиме ручного выбора пределов согласно п.К.5.

Значения  $f$ ,  $U$ ,  $U_V$ , а также предел  $U_{пр}$  вольтметра В7-28, на котором проводилось измерение, занести в таблицу 3.2.

3.7.1.4 Повторить операции, приведенные в п.3.7.1.3, для остальных трех частот  $f$  и напряжений  $U$ , заданных в таблице 3.1.

Таблица 3.1

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
$U_G$ , В	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
$f_H$ , Гц	20	25	30	35	40	40	30	35	25	20
$f_B$ , кГц	40	45	40	55	60	60	55	40	45	50
$f_M$ , кГц	20	60	30	10	40	30	50	40	60	10
$n$	23	21	19	17	15	15	17	19	21	23
$P_d$	0,95	0,99	0,95	0,99	0,95	0,99	0,95	0,99	0,95	0,99

3.7.1.5 Используя формулы (А.1)–(А.4), рассчитать пределы инструментальных относительных  $\delta_u$  и абсолютных  $\Delta_u$  погрешностей измерения напряжений. Результаты расчетов занести в таблицу 3.2.

Таблица 3.2

№ п/п	$f$ , кГц	$U$ , В	$U_{пр}$ , В	$U_V$ , В	$\delta_u$ %	$\Delta_u$ %
1						
2						
3						
4						

3.7.2 Выполнить измерения в соответствии с п.3.6.2 лабораторного задания.

3.7.2.1 Тумблер включения макета М1 установить в выключенное положение, переключатель ПЗ — в положение « $R_{вх}$ ,  $C_{вх}$ », переключатель П1 — в положение «К3».

3.7.2.2 Установить на генераторе Г4-117 частоту  $f_H$  и напряжение  $U_G$ , заданные в таблице 3.1. Значения  $U_G$  и  $f_H$  занести в таблицу 3.3. Измерить напряжение  $U_{ГН}$  с помощью вольтметра В7-28 в режиме автоматического выбора пределов согласно п.И.5. Результат измерения  $U_{ГН}$  занести в таблицу 3.3.



Таблица 3.3

$U_{Г,В}$	$f_{Н, ГЦ}$	$U_{ГН, В}$	$R_0,$ кОм	$U_{RV, В}$	$R_V,$ кОм	$\bar{R}_V,$ кОм	$f_{В, ГЦ}$	$U_{ГВ, В}$	$C_0,$ пФ	$U_{CV, В}$	$C_V,$ пФ	$\bar{C}_V,$ 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  $U_{RV}$  с помощью вольтметра В7-28 в режиме автоматического выбора пределов. Результат измерения  $U_{RV}$  занести в таблицу 3.3.

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

3.7.2.5 Используя значения  $U_{ГН}$ ,  $U_{RV}$ ,  $R_0$  и формулу (3.1), рассчитать значения  $R_V$  для трех различных значений  $R_0$  (560 кОм, 1 МОм, 270 кОм) и усредненное значение  $R_V$ . Результаты расчетов занести в таблицу 3.3.

3.7.2.6 Установить на генераторе Г4-117 частоту  $f_{В}$  и напряжение  $U_{Г}$ , заданные в таблице 3.1. Значение  $f_{В}$  занести в таблицу 3.3. На макете М1 переключатель П1 установить в положение «К3» и измерить напряжение  $U_{ГВ}$  с помощью вольтметра В7-28 в режиме автоматического выбора пределов. Результат измерения  $U_{ГВ}$  занести в таблицу 3.3.

3.7.2.7 На макете М1 переключатель П1 установить в положение « $C_0$ », переключатель П2 — в положение «30 пФ». Измерить напряжение  $U_{CV}$  с помощью вольтметра В7-28 в режиме автоматического выбора пределов. Результат измерения  $U_{CV}$  занести в таблицу 3.3.

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

3.7.2.9 Используя значения  $U_{ГВ}$ ,  $U_{CV}$ ,  $C_0$  и формулу (3.2), рассчитать значения  $C_V$  для трех различных значений  $C_0$  (30 пФ, 20 пФ, 10 пФ) и усредненное значение  $C_V$ . Результаты расчетов занести в таблицу 3.3.

3.7.2.10 На основании сравнения с пределами допустимых значений входных сопротивления и емкости вольтметра В7-28, приведенными в техническом описании (п.К.2.5), сделать вывод о соответствии измеренных характеристик ( $\bar{R}_V$ ,  $\bar{C}_V$ ) приведенным в техническом описании.

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

3.7.3.1. Подготовить к работе милливольтметр В7-28 согласно п.К.4.

3.7.3.2 Тумблер включения макета М1 установить в выключенное положение, переключатель П3 — в положение «МИ», переключатель ВХОД-ВЫХОД установить в положение «Вход».

3.7.3.3 Установить на генераторе Г4-117 частоту  $f_M$  и напряжение  $U_G$ , заданные в таблице 3.1.

3.7.3.4 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 пределов. Перевести ручку УРОВЕНЬ в положение «0». Переключатель ВХОД-ВЫХОД переключить в положение «Выход». Перевести ручку УРОВЕНЬ в положение «1». Отсчитать показание вольтметра В7-28  $U_{ВЫХ}$  в режиме автоматического выбора пределов. Значения  $U_{ВХ}$  и  $U_{ВЫХ}$  занести в таблицу 3.4. Переключатель ВХОД-ВЫХОД установить в положение «Вход».

3.7.3.5 Повторить операции п.3.7.3  $n$  раз; значение  $n$  приведено в таблице 3.1.

3.7.3.6 Обработать результаты косвенных многократных наблюдений и определить коэффициент передачи четырехполюсника ( $K_{П} = U_{ВЫХ}/U_{ВХ}$ ) в соответствии с рекомендациями, приведенными в [1]. Результат измерений представить в форме, соответствующей требованиям ГОСТ 8.201-76 или МИ 1317-76, и занести в таблицу 3.4.

Таблица 3.4

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

3.7.3.7 Выключить приборы Г4-117 и В7-28.

3.8 Контрольные вопросы

1 Классификация электронных вольтметров.

2 Структурная схема электронных вольтметров постоянного тока, их характеристика.

3 Структурные схемы электронных вольтметров переменного тока, их характеристика.

4 Достоинства и недостатки вольтметров переменного тока с детектором на входе.

5 Достоинства и недостатки вольтметров переменного тока с детектором на выходе.

6 Входное сопротивление вольтметра и его влияние на точность измерения напряжения.

7 Входная емкость вольтметра и ее влияние на точность измерения напряжения.

8 Методика определения входной емкости и входного сопротивления вольтметра.

9 Абсолютная, относительная и приведенная погрешности приборов, методика их оценки.

## 4 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА Э.4М «УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОСЦИЛЛОГРАФ»

### 4.1 Цель работы

4.1.1 Изучение принципа действия универсального электронно-лучевого осциллографа.

4.1.2 Изучение основных методов осциллографических измерений.

4.1.3 Изучение измерительных приборов С1-117, Г4-117, Г5-54 и приобретение практических навыков работы с ними.

### 4.2 Краткие сведения из теории

Осциллографами называют приборы, предназначенные для наблюдения, записи или фотографирования электрических процессов, изменяющихся во времени. Современные осциллографы применяются не только как приборы для качественной оценки формы исследуемого процесса, но и как высокочувствительные измерительные устройства.

Наиболее широкое распространение получили электронные осциллографы (ЭО), в которых в качестве индикатора применяются электронно-лучевые трубки (ЭЛТ) с малой инерционностью сфокусированного луча.

По ширине полосы пропускания ЭО можно разделить на узкополосные (для исследования сигналов с частотой, не превышающей 1–5 МГц), широкополосные (0–60 МГц), стробоскопические (для исследования импульсов с фронтом порядка нескольких пикосекунд).

Принцип работы ЭО основан на взаимодействии электронного потока с электрическим или магнитным полем, создаваемым исследуемым процессом.

Исследуемый сигнал отображается на экране ЭО в виде осциллограммы, представляющей собой функциональную зависимость двух или трех величин:  $y = f_1(t)$ , или  $y = f_2(t, x)$ . Поэтому универсальный ЭО в общем случае имеет, как правило, три канала.

Для получения осциллограммы необходимо по вертикали экрана обеспечить отклонение светящейся точки пропорционально мгновенному значению сигнала, а по горизонтали — перемещение этой точки с постоянной скоростью. Наличие третьего канала позволяет управлять яркостью светящейся точки.

Обобщенная структурная схема универсального ЭО представлена на рисунке 4.1.

Схема ЭО состоит из ЭЛТ, канала вертикального отклонения  $Y$ , канала горизонтального отклонения  $X$ , канала яркости  $Z$ , калибраторов амплитуды и длительности, блока питания.

В современных осциллографах применяются ЭЛТ с электростатическим управлением лучом, имеющие достаточную широкополосность. На экране ЭЛТ воспроизводится изображение исследуемого процесса. Для этой цели необходимо, чтобы луч отклонялся по горизонтальной оси пропорционально времени, а по вертикальной оси — пропорционально исследуемому напряжению. Следовательно, ЭЛТ в основном влияет на такие важные технические характеристики ЭО, как погрешность измерения амплитудных и временных параметров, воз-

возможность наблюдения импульсов различной длительности, яркость свечения и продолжительность изображения на экране. Важными электрическими параметрами ЭЛТ являются чувствительность по вертикали и горизонтали, полоса пропускания и другие. К световым параметрам относятся ширина линии, скорость записи отдельных сигналов, яркость свечения экрана и время послесвечения.

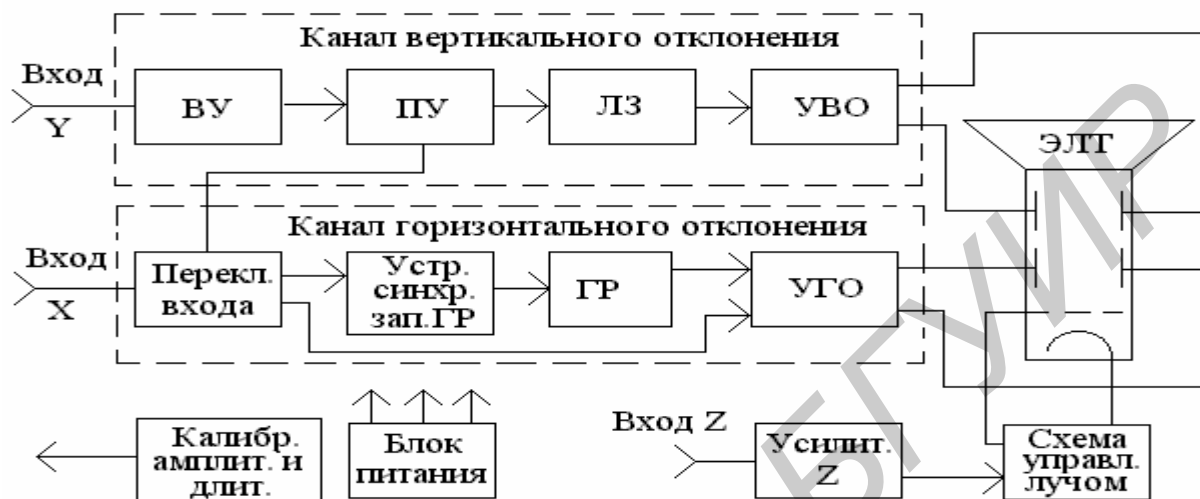


Рисунок 4.1

Для отсчета измеряемых величин перед экраном помещается сетка (шкала), которая наносится на прозрачный материал. Эта шкала имеет подсветку с использованием эффекта полного внутреннего отражения в толще материала. В некоторых ЭЛТ шкала наносится непосредственно на внутреннюю поверхность экрана, что позволяет уменьшить ошибки отсчета из-за параллакса. Площадь, ограниченная шкалой, определяет рабочую площадь экрана, в пределах которой гарантируются соответствующие технические характеристики ЭО.

Канал вертикального отклонения  $Y$  (канал сигнала) предназначен для согласования входа ЭО с исследуемым устройством, усиления исследуемых сигналов и преобразования их в два противофазных напряжения, которые подаются на вертикально отклоняющие пластины ЭЛТ. Канал состоит из входного устройства (ВУ), предварительного усилителя (ПУ), линии задержки (ЛЗ) и окончательного усилителя вертикального отклонения (УВО). ВУ предназначено для согласования входного сопротивления канала с исследуемым устройством и ослабления исследуемого сигнала для предотвращения перегрузки усилителя при больших значениях входного напряжения. В ПУ сосредоточены основные регулировки канала: плавная и ступенчатая регулировка усиления, балансировка усилителя постоянного тока и др. ЛЗ обеспечивает подачу исследуемого сигнала на вертикально отклоняющие пластины с задержкой относительно начала развертки, что дает возможность наблюдать фронт импульса и исключить нелинейность начального участка развертки. УВО необходим для получения осциллограммы слабых сигналов, т.е. для повышения чувствительности осциллографа.

Канал горизонтального отклонения X (канал развертки и синхронизации) предназначен для создания напряжения развертки по горизонтали, усиления сигналов синхронизации и преобразования импульсов синхронизации (в импульсных осциллографах) любой полярности в импульсы определенной полярности, необходимые для запуска развертки. Канал содержит устройство синхронизации и запуска развертки, генератор развертки (ГР), усилитель горизонтального отклонения (УГО) и переключатель. Устройство запуска развертки служит для усиления и регулировки амплитуды, а также для изменения полярности синхронизирующих напряжений. С помощью ГР обеспечивается получение напряжения развертки. В общем случае ГР вырабатывает напряжение пилообразной формы (линейная непрерывная развертка). Это напряжение характеризуется длительностями прямого хода  $T_{\Pi}$ , обратного хода  $T_{\text{ОБР}}$  и блокировки  $T_{\text{БЛ}}$  (рисунок 4.2):

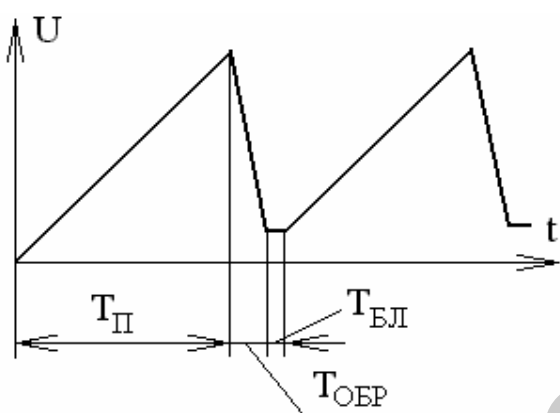


Рисунок 4.2

$$T_P = T_{\Pi} + T_{\text{ОБР}} + T_{\text{БЛ}}$$

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

$$U_X = \frac{U_m}{T_{\Pi}} \cdot t, \quad 0 < t < T_{\Pi}, \quad (4.1)$$

где  $U_m$  — амплитуда напряжения развертки;  $t$  — текущее время.

В течение  $T_{\Pi}$  луч будет описывать на экране такую же функциональную зависимость, какую имеет исследуемый сигнал во времени. В течение времени обратного хода и блокировки ГР формирует импульс, поступающий в канал управления яркостью и гасящий луч ЭЛТ на время  $T_0 + T_{\text{БЛ}}$ .

Чтобы получить на экране ЭЛТ хотя бы один полный период исследуемого напряжения, период напряжения развертки  $T_P$  должен быть кратным периоду исследуемого напряжения  $T_C$ , т.е. должно выполняться **условие синхронизации**:

$$T_P = n \cdot T_C, \quad (4.2)$$

где  $n = 2, 3, \dots$  — целые числа.

На практике  $n > 3$  брать нецелесообразно, т.к. ухудшается детальность наблюдения сигнала. Если условие синхронизации не выполняется ( $n$  — дробное число), то на экране ЭЛТ получается неустойчивое бегущее изображение.

Для соблюдения данного условия и непрерывного поддержания устойчивого изображения необходимо синхронизировать развертку с исследуемым напряжением. Сущность синхронизации состоит в том, что вместе с изменением периода исследуемых колебаний  $T$  автоматически (синхронно) в осциллографе изменяется на такую же величину период развертки  $T_P$ . При этом начало периода развертки совпадает с началом периода сигнала.

Существенным недостатком непрерывной развертки является то, что она не обеспечивает наблюдения однократных импульсов малой длительности, а при исследовании процессов с большой скважностью этот режим неэффективен.

вен. Поэтому при исследовании указанных процессов используются другие виды разверток (задержанная, задерживающая, ждущая, однократная). Выбор вида развертки зависит от характера исследуемого сигнала.

Назначение усилителя горизонтального отклонения УГО аналогично УВО.

Канал управления яркостью луча  $Z$  используется при измерении временных параметров периодических процессов.

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

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 двухканального ЭО изображена на рисунке 4.3.

Как видно из рисунка 4.3, с помощью электронного коммутатора (ЭК) осуществляется поочередная или одновременная подача сигналов с входов  $Y1$  и  $Y2$  на пластины  $Y$  ЭЛТ, чем и достигается эффект многоканальности.

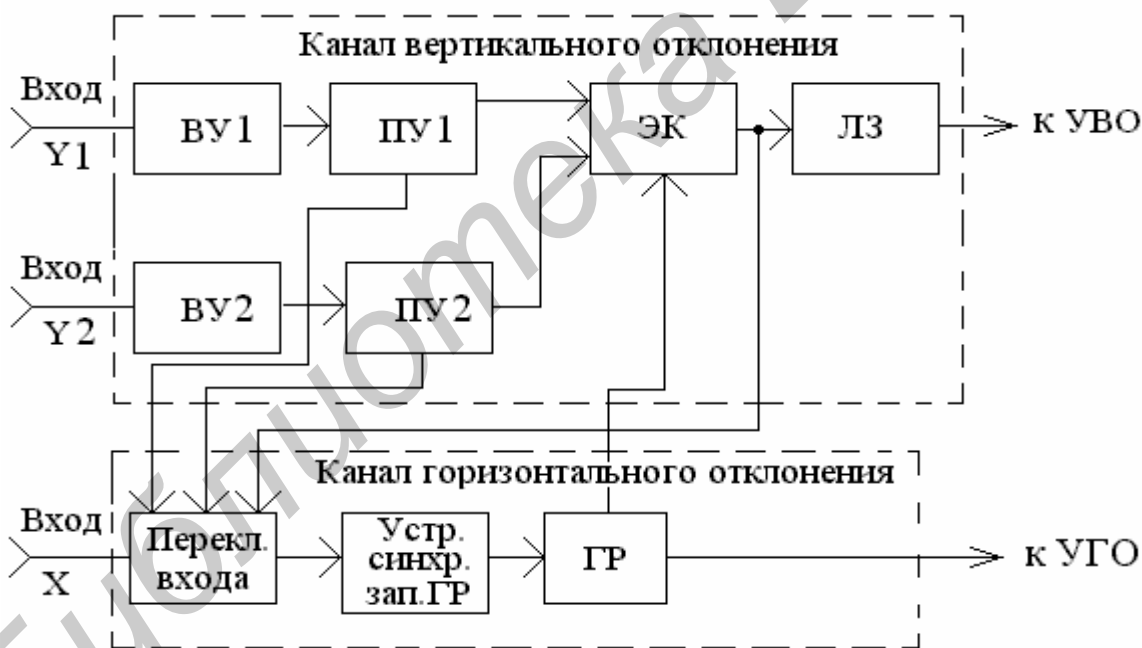


Рисунок 4.3

При использовании осциллографа параметры сигналов определяются по их осциллограммам. Достоверность результатов измерений зависит от точности воспроизведения осциллограмм. Погрешности измерений зависят от правильного выбора осциллографа, установки оптимальных размеров осциллограммы, выбора вида синхронизации и других факторов. При этом погрешность воспроизведения осциллограммы зависит от линейных (частотных) и нелинейных искажений сигналов.

С помощью ЭО можно измерять как постоянное напряжение, так и мгновенное, максимальное, минимальное значения и размеры сигнала.

Напряжение может быть измерено методом прямого преобразования (или методом калиброванного отклонения). При использовании этого метода с помощью калибратора амплитуды устанавливается изображение исследуемого сигнала в пределах рабочей части экрана. При этом калибруется требуемый коэффициент отклонения  $K_A$ , который является ценой деления шкалы, нанесенной на экран. Если в процессе измерений усиление в канале  $Y$  будет оставаться постоянным, то значение напряжения  $U_X$  можно определить по формуле

$$U_X = K_A \cdot h, \quad (4.3)$$

где  $h$  — отклонение луча на экране ЭЛТ, соответствующее измеряемому значению сигнала.

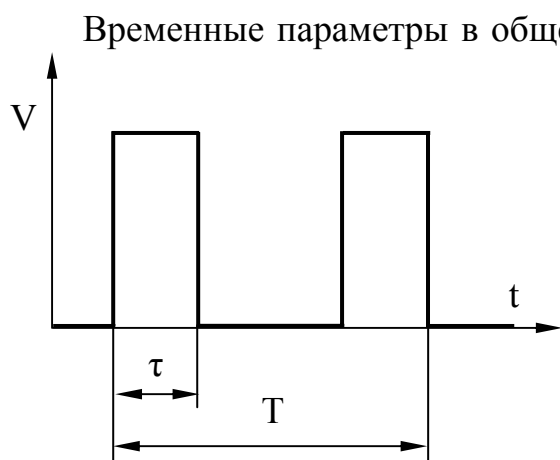


Рисунок 4.4

Временные параметры в общем случае характеризуют расстояние по оси времени (оси  $X$  ЭЛТ) между двумя характерными точками исследуемого сигнала. Это может быть длительность импульса  $\tau$ , период следования  $T$  и т.д. (рисунок 4.4). Временные интервалы так же, как и напряжения, могут быть измерены методом прямого преобразования. В этом случае перед измерением калибруется длительность прямого хода развертки  $T_{\Pi}$ , т.е. устанавливается необходимое значение коэффициента развертки  $K_P$  с помощью калибратора

длительности. Измеренный интервал времени  $t$  определяется по формуле

$$t = K_P \cdot l, \quad (4.4)$$

где  $l$  — размеры исследуемого участка осциллограммы по горизонтали. Эти размеры должны быть возможно большими в пределах шкалы, что обеспечивается соответствующим выбором длительности развертки.

Более подробно ЭО и методики осциллографических измерений рассмотрены в [1, 3, 4].

#### 4.3 Приборы, используемые при выполнении работы

4.3.1 Осциллограф универсальный двухканальный С1-117.

4.3.2 Генератор сигналов высокочастотный Г4-117.

4.3.3 Генератор импульсов Г5-54.

4.3.4 Лабораторный макет.

#### 4.4 Описание лабораторного макета

Основой лабораторного макета является упрощенная структурная схема двухканального универсального осциллографа (см. рисунок 4.3).

Лабораторный макет (рисунок 4.5) 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 ге-

нератора Г4-117 и Г5-54 соответственно. Выходы А, Б и синхронизации предназначены для подключения к осциллографу С1-117. Переключатель и потенциометр «Период развертки» позволяют грубо и плавно изменять период развертки внутреннего генератора. Коммутатор осуществляет последовательное переключение входных сигналов после каждого прямого хода развертки. 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 с его помощью параметров сигналов.

4.5.2 По приложениям И, К, Л, М настоящих методических указаний изучить устройство и принцип действия измерительных приборов, применяемых при выполнении лабораторной работы, проведение измерений с их помощью, оценку погрешностей полученных результатов.

4.5.3 Сделать заготовку отчета по лабораторной работе (одну на бригаду).

4.5.4 Ответить на контрольные вопросы.

#### 4.6 Лабораторное задание

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

4.6.2 Произвести визуальное наблюдение и цифровые измерения амплитудных и временных параметров непрерывных сигналов.

4.6.3 Произвести измерение фазового сдвига методом наложения.

#### 4.7 Порядок выполнения

Все необходимые соединения между измерительными приборами и лабораторным макетом уже выполнены: выход генератора Г4-117 «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 «30 В» генератора Г4-117 — со входом внешнего запуска генератора Г5-54. Нажмите кнопку « $\sim$ ┐» внешнего запуска генератора Г5-54.

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

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

4.7.1.1 Подготовить к работе приборы С1-117, Г4-117 и Г5-54 согласно пп.И.4, Л.5, М.4.

4.7.1.2 Установить частоту и выходное напряжение генераторов Г4-117 и Г5-54 в соответствии с таблицей 4.1. Включить макет.



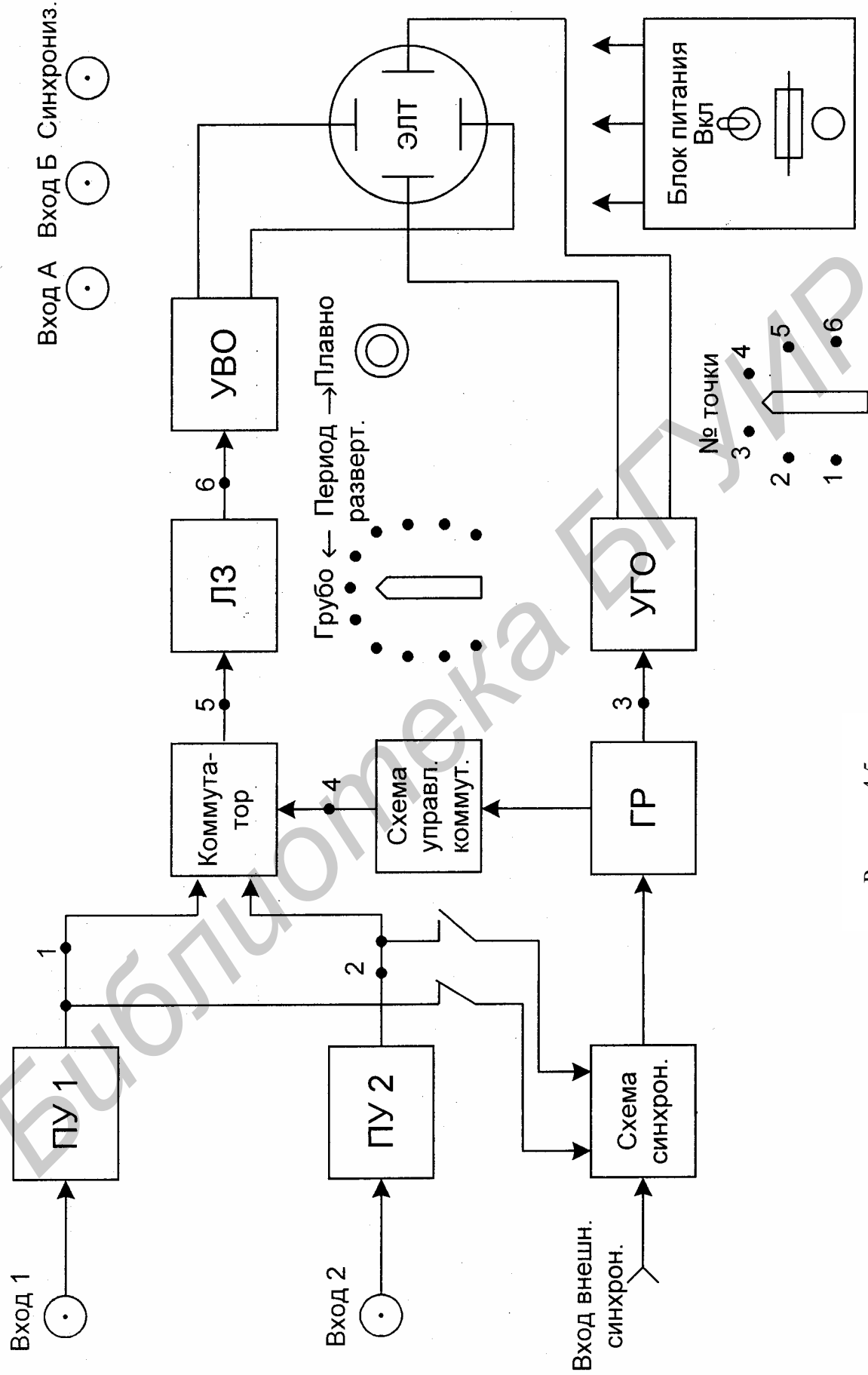


Рисунок 4.5

Таблица 4.1

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 <sub>(Г4-117)</sub> , В	0,5	0,4	0,1	0,3	0,2	0,15	0,45	0,25	0,55	0,35	0,5
U <sub>(Г5-54)</sub> , В	0,6	1,0	0,8	0,64	0,7	0,5	0,9	1,2	0,9	0,84	1,4
Длительность импульса (Г5-54), мкс	7,0	5,2	10,0	6,2	13,0	16,0	27,0	8,0	6,0	12,0	7,2

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 занимало возможно 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 возможно 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 п.Л.6.2.1. Результаты измерения занесите в таблицу 4.2. Рассчитайте коэффициент усиления предварительного усилителя K'<sub>y</sub> по формуле

$$K'_y = \frac{U_{\text{ВЫХ}}, \text{В}}{U_{\text{ВХ}}, \text{В}}. \quad (4.5)$$

Результат вычисления занесите в таблицу 4.2.

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 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 (см. п.Л.2). Произведите осциллографические измерения параметров импульсного сигнала амплитуды U, периода T, длительности  $\tau$ .

Результаты измерений занесите в таблицу 4.2. Рассчитайте коэффициент усиления предварительного усилителя ПУ2 (K''<sub>y</sub>) по формуле (4.5).

Таблица 4.2

№ точки	Вид осциллограммы	Результаты измерений осциллографические	Погрешность измерения	Результаты вычислений
1		U = , В T = , мкс		K'y =
2		U = , В T = , мкс $\tau =$ , мкс		K''y =
		Цифровые		
		U = , В T = , мкс $\tau =$ , мкс	$\delta_A =$ $\delta_T =$ $\delta_\tau =$	
6		$l_T =$ $l_\tau =$	$\Delta\varphi_x =$	$\varphi =$

4.7.2 Выполнить измерения в соответствии с п.4.6.2 задания к лабораторной работе.

4.7.2.1 Произвести цифровые измерения параметров импульсного сигнала в соответствии с методикой, изложенной в пп.Л.4.6.2.3, Л.4.6.2.4.

4.7.2.2 Рассчитать инструментальную погрешность цифрового измерения амплитудных и временных параметров сигнала по формулам, приведенным в пп.Л.2.8–Л.2.10. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 4.2.

4.7.3 Выполнить измерения в соответствии с п.4.6.3 лабораторного задания.

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 один период сигнала. Зарисовать осциллограмму и измерить методом наложения величину задержки измерительного сигнала  $l_\tau$ , период  $l_T$  и рассчитать соответствующий фазовый сдвиг  $\varphi$ , руководствуясь методикой п.Л.7. Результаты измерений, вычислений и осциллограммы занести в таблицу 4.2.

#### 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 Что такое синхронизация? Ее назначение в ЭО?
- 5 Каково условие синхронизации?

6 Каким образом в двухканальном осциллографе обеспечивается возможность наблюдения двух сигналов?

7 Какова методика измерения амплитудных параметров с помощью ЭО?

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

9 Какова методика измерения сдвига фаз с помощью ЭО?

10 Каковы источники погрешности измерения с помощью ЭО?

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

Библиотека БГУИР

## 5 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТОВ

Отчеты по лабораторным работам оформляются на стандартных листах бумаги. Тексты отчетов должны содержать цель работы, лабораторное задание, всю необходимую информацию о проделанной работе, выводы. Результаты расчетов сводятся в таблицы, которые должны соответствовать приведенным в методических указаниях. Отчеты должны содержать алгоритмы и расчетные формулы, в соответствии с которыми осуществлялась обработка результатов наблюдений.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Елизаров А.С. Электрорадиоизмерения: Учебник для вузов по спец. «Радиотехника». — Мн.: Выш. шк., 1986. — 320 с.

2 Основы метрологии и электрические измерения / Б.Я. Андреев, Е.М. Антонюк и др.; Под ред. Е.М. Душина. — Л.: Энергоатомиздат, 1987. — 480 с.

3 Мирский Г.П. Радиоэлектронные измерения. — М.: Энергия, 1985. — 186 с.

4 Измерения в электронике: Справочник / В.А. Кузнецов, В.А. Долгих и др.; Под ред. В.А. Кузнецова. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 512 с.

5 Архипенко А.Г., Кострикин А.М., Реуцкий В.С. Методические указания по применению вычислительной техники для обработки результатов измерений. — Мн.: МРТИ, 1989. — 23 с.

6 Основы метрологии и стандартизации: Учебно-методическое пособие для индивидуальной работы студентов / Под общ. ред. С.В. Лялькова. — Мн.: БГУИР, 1995. — 81 с.

**ПРИЛОЖЕНИЯ**

Библиотека БГУИР

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Формы выражения погрешностей средств измерений

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

$$\Delta = X_{И} - Q; \quad (\text{A.1})$$

$$\delta = \frac{\Delta}{Q} \cdot 100\%; \quad (\text{A.2})$$

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} \cdot 100\%, \quad (\text{A.3})$$

где  $X_{И}$  — показание прибора;  $Q$  — истинное значение измеряемой величины;  $X_N$  — нормирующее значение, правила выбора которого регламентируются ГОСТ 8.401-80 ГСИ «Классы точности средств измерений. Общие требования».

Из формул (A.2) и (A.3) можно вывести соотношение между относительной и приведенной погрешностями:

$$\delta = \gamma \cdot \frac{X_N}{Q}. \quad (\text{A.4})$$

Согласно ГОСТ 8.401-80, если прибор имеет практически равномерную шкалу, значение  $X_N$  выбирают равным пределу измерения при нахождении нулевой отметки на краю диапазона измерений, сумме модулей пределов измерений при нахождении нулевой отметки внутри диапазона измерений и разности верхнего и нижнего пределов измерений, если нулевая отметка находится за пределами диапазона. Если прибор имеет существенно неравномерную шкалу, значение  $X_N$  принимают равным длине шкалы или ее части, соответствующей диапазону измерений. При этом и абсолютную погрешность  $\Delta$  необходимо привести к единицам длины.

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

$$\delta = \pm q; \quad \gamma = \pm p, \quad (\text{A.5})$$

где  $q$  и  $p$  — положительные числа, выбираемые из ряда (1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 4,0; 5,0; 6,0)·10<sup>n</sup>, где  $n = 1, 0, -1, -2, \dots$ , то классы точности обозначаются числами, которые равны этим пределам (в процентах) и соответствуют данному ряду. Если же пределы допускаемых погрешностей выражаются значением  $\delta$  по формуле

$$\delta = \pm \left[ c + d \left( \frac{X_K}{X_{И}} - 1 \right) \right], \quad (\text{A.6})$$

где  $X_K$  — больший (по модулю) из пределов измерений,  $c$  и  $d$  — положительные числа, не зависящие от величины  $X_{И}$ , то классы точности обозначаются числами  $c$  и  $d$ , разделенными косой чертой.

Для повышения точности измерений используются многократные прямые или косвенные измерения величин. Алгоритмы обработки приведены в [1, 6].

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Прибор электроизмерительный комбинированный Ц4353

#### Б.1 НАЗНАЧЕНИЕ

Прибор электроизмерительный комбинированный Ц4353 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.

#### Б.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 Б.1 приведены технические и метрологические характеристики именно для этих режимов измерения.

Таблица Б.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 ∨	$\pm 1,5$

При этом основная погрешность прибора ( $\gamma$ ) выражается в процентах в виде приведенной погрешности по формуле (А.3), где  $\Delta$  — значение абсолютной погрешности, выраженное в единицах измеряемой величины или в единицах длины шкалы;  $X_N$  — нормирующее значение (конечные значения диапазонов измерений силы тока, напряжения постоянного тока или минимальные значения длин шкал диапазонов измерения сопротивления постоянному току).



Значения длин шкал  $l_{\text{пр}}$  на «Ω» — не менее 62 мм, на «КΩ, МΩ» — не менее 58 мм. Основная погрешность в режиме измерения сопротивления находится из формулы

$$\delta = \gamma \cdot \frac{l_{\text{пр}}}{l_{\text{и}}}, \quad (\text{Б.1})$$

где  $l_{\text{и}}$  — длина участка шкалы между нулевым значением и местом установления показания прибора на «Ω» и «КΩ, МΩ».

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


### Б.3 УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ

В приборе применен измерительный механизм магнитоэлектрической системы на растяжках с внутрирамочным 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.

### Б.4 МЕТОДИКА РАБОТЫ С ПРИБОРОМ

Б.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 .

#### Б.4.2 Измерение силы постоянного тока

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

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

Б.4.2.3 Клеммы прибора «\*» и «V, mA, Ω, r<sub>x</sub>» 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 →».

#### Б.4.3 Измерение напряжения постоянного тока

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

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

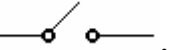
Б.4.3.3 Клеммы прибора должны быть подключены к «\*» и «V, mA, Ω, r<sub>x</sub>» параллельно исследуемой цепи с соблюдением полярности. При отклонении стрелки влево от нуля изменить полярность. Выбрать предел измерения, обеспечивающий минимальную погрешность, и определить цену деления шкалы. Отсчитать измеренное значение как произведение цены деления на количество делений, указанное стрелкой по шкале «V, mA →».

#### Б.4.4 Измерение сопротивления постоянному току

Б.4.4.1 Установить переключатель пределов в положение «Ω; kΩ x 1» и нажать обе кнопки «kΩ, MΩ» и «←» переключателя режимов (при измерении сопротивления менее 300 Ом) или установить переключатель пределов в положения «Ω; kΩ x 1» или «kΩ x 10», или «x100», или «MΩ» и нажать кнопку «kΩ, MΩ» переключателя режимов (при измерении сопротивления более 300 Ом). В данной лабораторной работе используется только режим измерения сопротивлений более 300 Ом.

Б.4.4.2 Провести установку тока полного отклонения. Алгоритм выполнения этой операции при выполнении данной лабораторной работы приведен в п. 1.7.3.3. В общем случае установить стрелку прибора на ∞ по шкале «Ω» (при измерении сопротивления менее 300 Ом) или на 0 по шкале «kΩ, MΩ, nF» при закороченных зажимах «\*» и «V, mA, Ω, r<sub>x</sub>» (при измерении сопротивления более 300 Ом) ручкой «r<sub>x</sub> ↔ nF».

Б.4.4.3 При измерении сопротивлений менее 300 Ом измеряемый резистор подключен к клеммам «\*» и «V, mA, Ω, r<sub>x</sub>» и отсчитывается значение сопротивления по шкале «Ω». При измерении сопротивлений более 300 Ом измеряемый резистор подключается к клеммам «\*» и «V, mA, Ω, r<sub>x</sub>» и отсчитывается значение сопротивления по шкале «kΩ, MΩ» при умножении результата на x1, x10 или x100 в зависимости от положения переключателя пределов. При установке стрелки за пределами рабочей части шкалы выбирают более удобный предел, обеспечивающий наибольшую точность отсчета. По окончании измерения сопротивления необходимо перевести переключатель пределов в любое положение, кроме «Ω, kΩ x 1», «kΩ x 10», «MΩ», а переключатель режимов работы — в положение «~» или «←».

Б.4.5 По окончании работы с прибором отключить защиту нажатием кнопки .

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Цифровой комбинированный прибор М92А

#### В.1 НАЗНАЧЕНИЕ

Цифровой комбинированный прибор М92А (Япония) предназначен для измерения силы и напряжения постоянного тока, силы и напряжения переменного тока, сопротивления постоянному току, параметров диодов и транзисторов.

#### В.2 ТЕХНИЧЕСКИЕ И МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

В данной лабораторной работе прибор М92А используется только для измерения силы и напряжения постоянного тока, а также сопротивления постоянному току. Поэтому в таблице В.1 приведены технические и метрологические характеристики именно для этих режимов измерения. В таблице В.1  $I_{и}$ ,  $U_{и}$ ,  $R_{и}$  — показания прибора в режимах измерения тока, напряжения и сопротивления соответственно.

#### В.3 МЕТОДИКА РАБОТЫ С ПРИБОРОМ

##### В.3.1 Измерение силы постоянного тока

В.3.1.1 Установить переключатель на предел измерения силы постоянного тока (зона А  $\equiv$  ), соответствующий измеряемому значению тока, а при неизвестном значении — максимальный предел 200 мА.

В.3.1.2 Клеммы прибора «ОМ» и «А» 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 более высокий предел. Полярность тока отображается на индикаторе относительно потенциала клеммы «ОМ».

Таблица В.1

Измеряемая величина	Диапазон измерений	Абсолютная погрешность ( $\Delta$ )	Цена единицы младшего разряда
Сила постоянного тока	0...200 мкА	$\pm (0,008 \cdot I_{и} + 1 \text{ед.мл.разр.})$	0,1 мкА
	0...2 мА		1 мкА
	0...20 мА		10 мкА
	0...200 мА	$\pm (0,012 \cdot I_{и} + 1 \text{ед.мл.разр.})$	100 мкА
	0...20 А		10 мА

Окончание таблицы В.1

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

### В.3.2 Измерение напряжения постоянного тока

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

В.3.2.2 Клеммы прибора «ОМ» 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».

### В.3.3 Измерение сопротивления постоянному току

В.3.3.1 Установить переключатель на предел измерения сопротивления постоянному току (зона Ω), соответствующий измеряемому значению сопротивления, а при неизвестном значении — максимальный предел 20 МОм.

В.3.3.2 Клеммы прибора «СОМ» и «V/Ω» 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.

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

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

### Магазин сопротивлений МСР-63

#### Г.1 НАЗНАЧЕНИЕ

Магазин сопротивлений МСР-63 предназначен для воспроизведения сопротивления постоянному току.

#### Г.2 ТЕХНИЧЕСКИЕ И МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Магазин воспроизводит сопротивление в диапазоне 0...99999,99 Ом. Класс точности — 0,05/4-10<sup>-6</sup>. В соответствии с классом точности основная относительная погрешность воспроизведения сопротивления находится из формулы

$$\delta_{\text{ГМС}} = \pm \left[ 0,05 + 4 \cdot 10^{-6} \left( \frac{R_{\text{КМС}}}{R_{\text{МС}}} - 1 \right) \right] \%, \quad (\text{Г.1})$$

где  $R_{\text{КМС}} = 99999,99$  Ом — наибольшее значение воспроизводимого сопротивления;  $R_{\text{МС}}$  — значение воспроизводимого сопротивления.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

### Источник питания универсальный

#### Д.1 НАЗНАЧЕНИЕ

Источник питания универсальный 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 двухступенчатый: 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 установить в нижнее положение.

Д.3.2 Тумблером 0-15V, 15-30V УСТАН. НАПРЯЖ. установить требуемый поддиапазон (в лабораторной работе используется поддиапазон 0... 15V).

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

Д.3.4 Тумблер СЕТЬ 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.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

### Измеритель иммитанса Е7-14

#### Е.1 НАЗНАЧЕНИЕ

Измеритель иммитанса Е7-14 предназначен для измерения параметров резисторов, конденсаторов, катушек индуктивности:

- сопротивления R;
- емкости C;
- индуктивности L;
- добротности Q;
- фактора потерь D.

#### Е.2 ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Е.2.1 Рабочая частота 0,1; 1,0 и 10,0 кГц с погрешностью установки не более 0,01 %.

Е.2.2 Прибор обеспечивает автоматический или ручной выбор пределов измерения.

Е.2.3 Пределы допускаемого значения основной погрешности измерения на частоте 1 кГц приведены в таблице Е.1.

Таблица Е.1

Параметры	Предел измерения	Диапазоны	Погрешность измерения
С	1	0,01 – 160,00 pF	$10^{-3}(1+D)C+2,5 \cdot 10^{-4}C'$
	2	0,1 – 1600,00 pF	$10^{-3}(1+D)C+2 \cdot 10^{-4}C'$
	3	0,001 – 16,000 nF	- “ -
	4	0,01 – 160,00 nF	- “ -
	5	0,1 – 1600,0 nF	- “ -
	6	1,6000 – 16,00 μF	$[10^{-3}(1+D)C+2 \cdot 10^{-3}C/C']C$
	7	16,000 – 160,0 μF	- “ -
	8	160,00 – 1600 μF	- “ -
L	1	160,00 – 1600 H	$[10^{-3}(1+Q)+2,5 \cdot 10^{-3}L/L']L$
	2	16,000 – 160,0 H	$[10^{-3}(1+Q)+2 \cdot 10^{-3}L/L']L$
	3	1,6000 – 16,00 H	- “ -
	4	160,00 – 1600 mH	- “ -
	5	16,000 – 160,0 mH	- “ -
	6	0,001 – 16,000 mH	$10^{-3}(1+Q)L+2 \cdot 10^{-4}L'$
	7	0,1 – 16000 μH	- “ -
	8	0,01 – 160,000 μH	$10^{-3}(1+Q)L+2,5 \cdot 10^{-4}L'$

Окончание таблицы Е.1

Параметры	Предел измерения	Диапазоны	Погрешность измерения
R	1	1,000–10,00 МΩ	$[10^{-3}(1+Q)+2,5 \cdot 10^{-3}R/R']R$
	2	100,00–1000 КΩ	$[10^{-3}(1+Q)+2 \cdot 10^{-3}R/R']R$
	3	10,00–100,0 КΩ	– “ –
	4	1,000–10,00 КΩ	– “ –
	5	100,00–1000 Ω	– “ –
	6	0,01–100,0 Ω	$10^{-3}(1+Q)R+2 \cdot 10^{-4}R'$
	7	0,001–10,000 Ω	– “ –
	8	0,1–1000,0 мΩ	$10^{-3}(1+Q)R+2,5 \cdot 10^{-4}R'$
D	1	На 1 пределе измерения C	$10^{-3}(1+D^2)+2,5 \cdot 10^{-4}(1+D)C'/C$
	2–5	На 2–5 пределах изм. C	$10^{-3}(1+D^2)+2 \cdot 10^{-4}(1+D)C'/C$
	6,7	На 6,7 пределах изм. C	$10^{-3}(1+D^2)+2 \cdot 10^{-3}(1+D)C'/C'$
	8	На 8 пределе измерения C	$10^{-3}(1+D^2)+2,5 \cdot 10^{-3}(1+D)C'/C'$
Q	1	На 1 пределе измерения L	$10^{-3}(1+Q^2)+2,5 \cdot 10^{-3}Q(1+Q)L/L'$
	2–5	На 2–5 пределах изм. L	$10^{-3}(1+Q^2)+2 \cdot 10^{-3}Q(1+Q)L/L'$
	6,7	На 6,7 пределах изм. L	$10^{-3}(1+Q^2)+2 \cdot 10^{-4}Q(1+Q)L'/L$
	8	На 8 пределе измерения L	$10^{-3}(1+Q^2)+2,5 \cdot 10^{-4}Q(1+Q)L'/L$

Примечания:

1 Измерение параметров производится на частоте 1 кГц.

2  $C'$ ,  $L'$ ,  $R'$  — максимальные значения величин, измеряемых на каждом из пределов.

3  $C$ ,  $L$ ,  $R$ ,  $D$  и  $Q$  — измеренные значения параметров.

4 В формулу погрешности измерения сопротивления на 1-м пределе подставлять  $R' = 10 \text{ МΩ}$ .

### Е.3 ПРИНЦИП РАБОТЫ ПРИБОРА

Е.3.1 В основу работы прибора положен интегрирующий метод измерения со вспомогательным опорным напряжением.

Е.3.2 Напряжение рабочей частоты с генератора подается на измеряемый объект, подключаемый к преобразователю  $Y_X \rightarrow U_T, U_H$ . Преобразователь формирует два напряжения, одно из которых ( $U_T$ ) пропорционально току, протекающему через измеряемый объект, другое ( $U_H$ ) — напряжению на нем. Отношение этих напряжений равно полной проводимости ( $Y_X$ ) объекта или полному сопротивлению ( $Z_X$ ).



Е.3.3 Измерение отношения напряжения проводится аппаратно-программным логометром.



## Е.4 ПОДГОТОВКА ПРИБОРА К РАБОТЕ

Е.4.1 Установить переключатель СЕТЬ в положение «Вкл». При этом все цифровые индикаторы и светодиоды должны периодически зажигаться и гаснуть в течение нескольких секунд (идет самодиагностика).



Е.4.2 После окончания самодиагностики загораются светодиоды на следующих кнопках:

частота		1 кГц
уровень сигнала		2V
смещение		ВНУТРЕННЕЕ
параметр		С и R/G
эквивалентная схема		(автоматический выбор)
предел измерения		(автоматический выбор)

## Е.5 ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

**ВНИМАНИЕ!** Все переключения производить СТРОГО в указанной последовательности. В противном случае придется повторять операции п.Е.4!

Е.5.1 При измерении сопротивления необходимо:

- нажать кнопку ТЕСТ;
- нажать кнопку R;
- нажать кнопку ТЕСТ;
- нажать кнопку ЗАПУСК  или 


На цифровом индикаторе высвечивается значение измеряемого сопротивления.

Е.5.2 При измерении емкости конденсатора и фактора потерь необходимо:

- нажать кнопку ТЕСТ;
- нажать кнопку С;
- нажать кнопку ТЕСТ;
- нажать кнопку ЗАПУСК  или 

На цифровом индикаторе высвечивается значение измеряемых емкости и фактора потерь конденсатора.

Е.5.3 При измерении индуктивности и добротности необходимо:

- нажать кнопку ТЕСТ;
- нажать кнопку L;
- нажать кнопку ТЕСТ;
- нажать кнопку ЗАПУСК  или 

На цифровом индикаторе высвечивается значение измеряемых индуктивности и добротности катушки.

Е.5.4 После окончания измерений отключить объект измерений, тумблер СЕТЬ перевести в положение «Выкл».

## ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

### Измеритель добротности Е4-7

#### Ж.1 НАЗНАЧЕНИЕ

Прибор Е4-7 предназначен для измерения эффективной добротности объектов индуктивного характера, а также собственной емкости этих объектов и резонансной частоты контуров. С помощью прибора путем косвенных измерений можно определить индуктивность измеряемых объектов, емкость и тангенс угла потерь конденсаторов, полное сопротивление двухполюсников и т.д.

#### Ж.2 ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Ж.2.1 Диапазон частот генератора прибора 50 кГц – 35 МГц с непосредственным отсчетом частоты имеет восемь поддиапазонов:

1	50–110 кГц	4	560-1300 кГц	7	7,0-16 МГц
2	110–240 кГц	5	1,3-3,0 МГц	8	16-35 МГц
3	240–560 кГц	6	3,0-7,0 МГц		

Ж.2.2 Основная погрешность градуировки шкал генератора по частоте не более  $\pm 1\%$ .

Ж.2.3 Пределы непосредственного отсчета добротности от 5 до 1000 единиц. Отсчет производится по четырем шкалам:

1) 0 – 30;      2) 0 – 100;      3) 0 – 300;      4) 0 – 1000.

Ж.2.4 Основная погрешность измерения добротности в процентах от измеряемого значения не превышает значений, указанных в таблице Ж.1.

Таблица Ж.1

Пределы измеряемой добротности	Частота измерения, МГц	
	от 0,05 до 25	свыше 25 до 35
10–30; 30–100; 100–300	$\pm(3 + Q_{\text{кон}}/Q)\%$	$\pm(6 + Q_{\text{кон}}/Q)\%$
300–1000	$\pm(6 + Q_{\text{кон}}/Q)\%$	$\pm(6 + Q_{\text{кон}}/Q)\%$

Здесь:  $Q_{\text{кон}}$  — конечное значение рабочей части шкалы, по которой производится отсчет добротности;  $Q$  — измеренное значение добротности.

Ж.2.5 Пределы непосредственного отсчета емкости измерительного (образцового конденсатора) комбинированного блока от 30 до 450 пФ.

Ж.2.6 Основная погрешность градуировки шкалы измерительного конденсатора на частоте 1000 Гц не превышает  $\pm 1$  пФ при емкости до 100 пФ и не более  $\pm 1\%$  при емкости свыше 100 пФ.

Ж.2.7 Предел нониусной шкалы измерительного конденсатора 10 пФ, градуировка шкалы через 0,1 пФ.

Ж.2.8 Напряжение, вводимое в контур, на всех частотных поддиапазонах прибора 20 мВ  $\pm 15\%$ .

Ж.2.9 Прибор обеспечивает измерение индуктивности по результатам измерения емкости и частоты резонансным методом в пределах от  $5 \cdot 10^{-8}$  Гн до 0,4 Гн с погрешностью не более  $\pm(0,006 \cdot L + 2,5 \cdot 10^{-9} \text{ Гн})$  при емкостях до 100 пФ и

не более  $\pm(0,04 \cdot L + 2,5 \cdot 10^{-9} \Gamma \text{H})$  при емкостях более 100 пФ, где  $L$  — измеряемое значение индуктивности. Прибор имеет на верхней крышке шкалу перевода значений емкости измерительного конденсатора в эквивалентные значения индуктивности для частот 79,5 кГц; 252,5 кГц; 795 кГц; 2,525 МГц; 7,95 МГц; 25,25 МГц, отмеченных на шкалах генератора особыми рисками.

### Ж.3 ПРИНЦИП РАБОТЫ ПРИБОРА

Структурная схема прибора, поясняющая принцип его работы, приведена на рисунке Ж.1, а его внешний вид — на рисунке Ж.2.

Генераторный блок, предназначенный для получения синусоидальных колебаний в диапазоне частот от 50 кГц до 35 МГц, имеет восемь поддиапазонов. С помощью блока АРВ (автоматическая регулировка выходного напряжения) обеспечивается стабилизация выходного напряжения генераторного блока.

Комбинированный блок обеспечивает согласование выхода генератора с измерительным конденсатором, который находится в комбинированном блоке. К клеммам комбинированного блока подключается исследуемый объект. С помощью катодного повторителя обеспечивается большое входное сопротивление широкополосного усилителя, необходимого для усиления малых сигналов с выхода комбинированного блока. После усиления и детектирования сигнал подается на индикаторный прибор ИП, который фиксирует напряжение на измерительном конденсаторе. При измерении приращений добротности используется дополнительный усилитель  $\Delta Q$ .

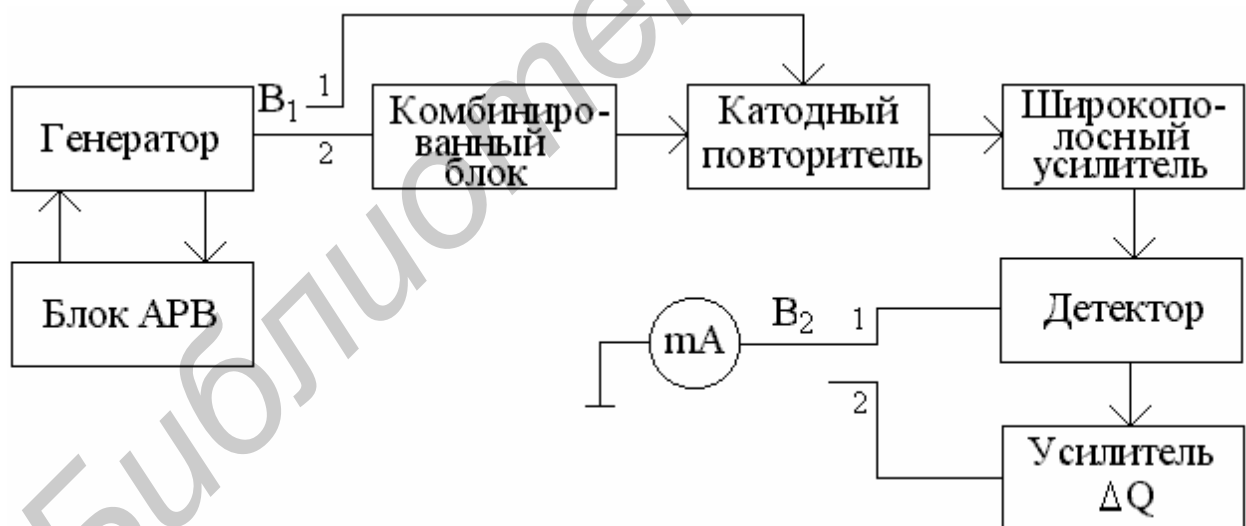


Рисунок Ж.1

В приборе предусмотрено два режима работы: калибровка и измерение.

В режиме «Калибровка» стабилизированный блоком АРВ синусоидальный сигнал из генераторного блока поступает через переключатель  $B1$  (положение «1»), катодный повторитель, регулируемый по коэффициенту усиления широкополосный усилитель, детектор и переключатель  $B2$  (положение «1») на измерительный прибор. На шкале измерительного прибора нанесена калибровочная отметка ▼.

В режиме «Измерение» сигнал с генераторного блока поступает через переключатель В1 (положение «2») на вход комбинированного блока, к которому подключается измеряемый объект. Дальнейший путь сигнала соответствует режиму «Калибровка». Шкала измерительного прибора в этом случае непосредственно проградуирована в единицах добротности.

#### Ж.4 ПОДГОТОВКА ПРИБОРА К РАБОТЕ

Ж.4.1 Перед началом измерений необходимо ознакомиться с принципом работы прибора и с назначением органов управления.

Ж.4.2 Установить органы управления в исходное положение:

— переключатель рода измерений  $\Delta Q-Q$  — в положение «Q», тумблер ИЗМЕРЕНИЕ-КАЛИБРОВКА  $Q_{\nabla}$  — в положение «Измерение  $Q_{\nabla}$ », тумблер СЕТЬ — в нижнее положение.

Ж.4.3 Включить вилку шнура питания в сеть и перевести тумблер СЕТЬ в положение «Сеть», при этом должна загореться сигнальная лампочка. Прогреть прибор в течение 30 минут.

Ж.4.4 Произвести подготовку прибора к измерениям, для чего:

— установить тумблер ИЗМЕРЕНИЕ-КАЛИБРОВКА  $Q_{\nabla}$  в положение «Калибровка  $Q_{\nabla}$ »;

— ручкой КАЛИБРОВКА  $Q_{\nabla}$  установить стрелку измерительного прибора на риску под знаком « $\nabla$ »;

— тумблер ИЗМЕРЕНИЕ-КАЛИБРОВКА  $Q_{\nabla}$  вернуть в положение «Измерение  $Q_{\nabla}$ ».

#### Ж.5 КАЛИБРОВКА ПРИБОРА

Для калибровки необходимо установить:

— переключатель ЧАСТОТА  $\frac{\text{kHz}}{\text{MHz}}$  на требуемый поддиапазон частоты;

— ручкой ЧАСТОТА  $\frac{\text{kHz}}{\text{MHz}}$  указатель шкалы — требуемую частоту;

— переключатель "ΔQ-Q" – в положение "Q";

— тумблер ИЗМЕРЕНИЕ-КАЛИБРОВКА  $Q_{\nabla}$  в положение «Калибровка  $Q_{\nabla}$ »;

— ручкой КАЛИБРОВКА  $Q_{\nabla}$  стрелку измерительного прибора точно на риску под знаком « $\nabla$ »;

— тумблер ИЗМЕРЕНИЕ-КАЛИБРОВКА  $Q_{\nabla}$  вернуть в положение «Измерение  $Q_{\nabla}$ ».

#### Ж.6 ИЗМЕРЕНИЕ ИНДУКТИВНОСТИ

Для измерения индуктивности L резонансным методом необходимо:

— подключить измеряемую катушку индуктивности к клеммам « $L_X$ »;

— установить частоту, на которой будет производиться измерение;

— изменением значения емкости образцового конденсатора настроить контур в резонанс, изменяя при зашкаливании стрелки индикатора его чувствительность переключателем ПРЕДЕЛЫ Q;

— отсчитать полученное значение емкости образцового конденсатора  $C_0$  и рассчитать измеренное значение индуктивности  $L$  по формуле

$$L = \frac{1}{(2\pi f)^2 C_0}.$$

## Ж.7 ИЗМЕРЕНИЕ ЕМКОСТИ

Ж.7.1 Для измерения емкости  $C_p$  резонансным методом необходимо:

— подключить заданную катушку индуктивности к клеммам  $L_x$ , а измеряемую емкость — к клеммам  $C_x$ ;

— установить минимальное значение емкости образцового конденсатора  $C_{\min}$  (30 pF);

— изменяя частоту генератора прибора Е4-7, настроить контур в резонанс;

— отсчитав по шкале значения резонансной частоты  $f$ , и, зная истинное значение индуктивности  $L$ , определить емкость контура по формуле

$$C_k = \frac{1}{(2\pi f)^2 \cdot L};$$

определить искомое значение емкости  $C_p$  как разность емкостей  $C_k$  и начальной емкости  $C_{\min}$ :

$$C_p = C_k - C_{\min}.$$

Ж.4.7.2 Для измерения  $C_3$  методом замещения необходимо:

— подключить к клеммам  $L_x$  прибора Е4-7 заданную катушку индуктивности (из комплекта прибора);

— установить максимальное значение емкости образцового конденсатора  $C_{\max}$  (450 pF) и изменением частоты его генератора настроить образованный контур в резонанс;

— подключить к клеммам  $C_x$  прибора Е4-7 измеряемый конденсатор и восстановить резонанс изменением емкости образцового конденсатора;

— отсчитать значение емкости образцового конденсатора куметра  $C_0$  и определить искомую емкость  $C_3$  по формуле

$$C_3 = C_{\min} - C_0.$$

## ПРИЛОЖЕНИЕ И

### Генератор сигналов высокочастотный Г4-117

#### И.1 НАЗНАЧЕНИЕ

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

#### И.2 ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

И.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  $\pm(0,02 f+4)$  Гц.

И.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 «3 В»); в пределах (3–30) В — в диапазоне частот до 2 МГц (первый — пятый поддиапазоны) и (3–20) В — в диапазоне частот (2–10) МГц (шестой поддиапазон) на выходе «30 В» только ручкой РЕГ.ВЫХ. Основная погрешность установки выходного напряжения по шкале стрелочного индикатора не превышает  $\pm 10\%$  от номинального конечного значения соответствующей шкалы.

#### И.3 ПРИНЦИП РАБОТЫ ГЕНЕРАТОРА

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

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

И.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».

И.3.4 Сигнал с усилителя ВЧ поступает через высоковольтный усилитель на выход «30 В» и через ступенчатый аттенюатор на выход «3 В». Уровень выходного сигнала измеряется вольтметром, который переключателем ВОЛЬТ-МЕТР включается на выход усилителя ВЧ (вход аттенюатора) или на выход высоковольтного усилителя (положение «1» или «2»).

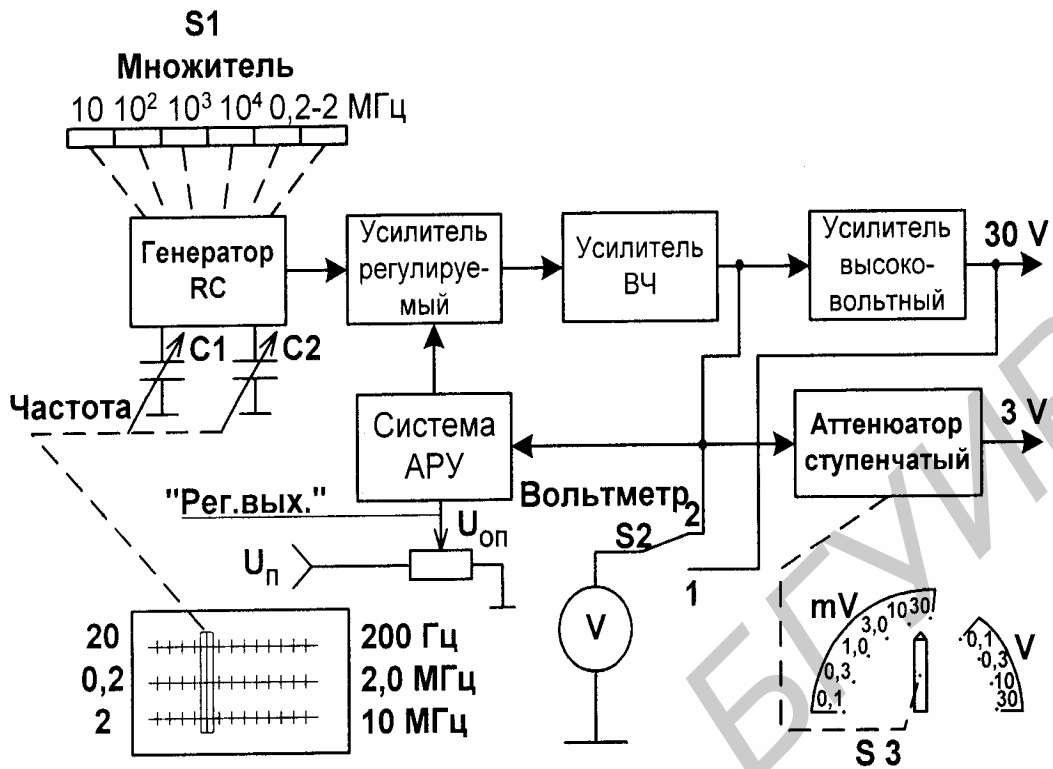


Рисунок И.1

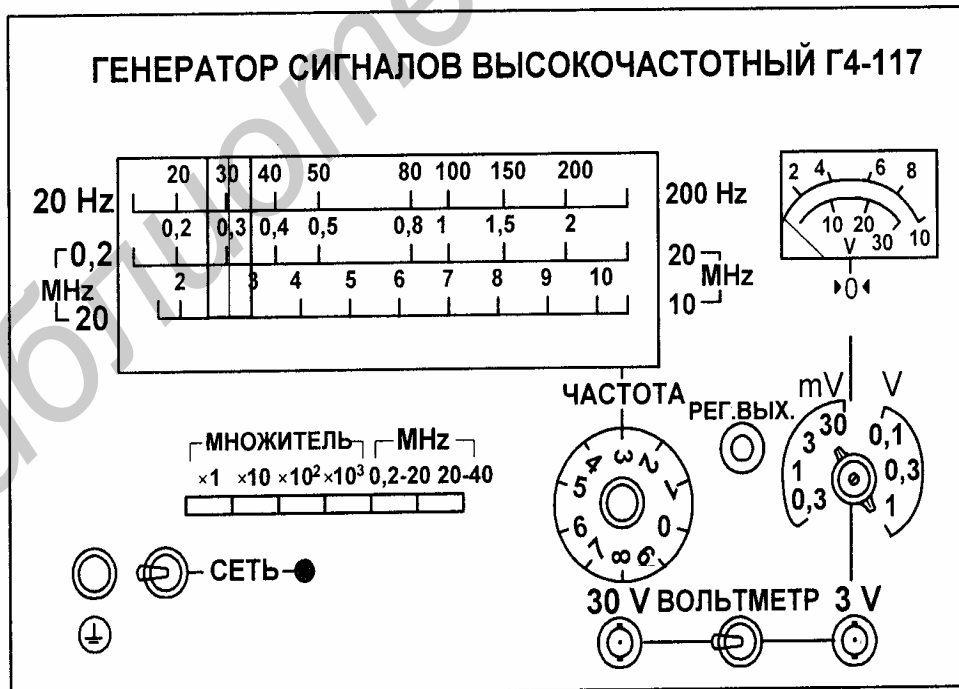


Рисунок И.2

#### И.4 ПОДГОТОВКА ПРИБОРА К РАБОТЕ

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

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

И.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 минут.

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

— нажать одну из кнопок переключателя МНОЖИТЕЛЬ — МНz;

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

## И.5 ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

И.5.1 Установить необходимое значение частоты включением одного из поддиапазонов переключателем МНОЖИТЕЛЬ-МНz и ручкой ЧАСТОТА. Отсчет значения частоты в области 20 Гц — 200 кГц (первый — четвертый поддиапазоны) осуществляется по верхней шкале с умножением на соответствующий множитель, а в области (0,2–2) МГц (пятый поддиапазон) и (2–10) МГц (шестой поддиапазон) — соответственно по средней и нижней частотным шкалам.

И.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 не более 3,0 В.

И.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 К

### Вольтметр универсальный цифровой В7-28

#### К.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.

#### К.2 ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

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

К.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.

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

Таблица К.1

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

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

$U_v$  — показание вольтметра, В.

К.2.4 Вольтметр имеет следующие режимы работы:

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

К.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 со входным кабелем — не превышает 120 пФ.

#### К.3 ПРИНЦИП РАБОТЫ

В основу принципа измерения постоянного напряжения положен метод двухтактного интегрирования. В основу принципа измерения сопротивления и переменного напряжения положен метод преобразования измеряемых величин в пропорциональное постоянное напряжение с дальнейшим измерением его по методу двухтактного интегрирования.

На рисунке К.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.

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 К.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 находится 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).

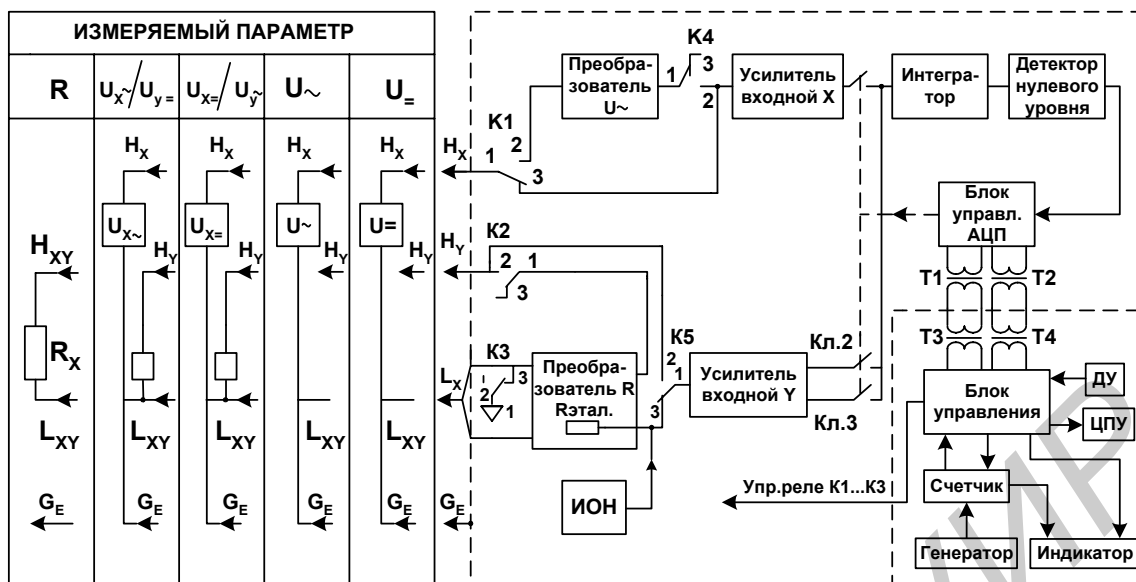


Рисунок К.1

Метод интегрирования описывается выражением

$$T_x = T_0 \cdot U/U_0,$$

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».

#### К.4 ПОДГОТОВКА ПРИБОРА К РАБОТЕ

К.4.1 Включите тумблер в сеть при помощи соединительного шнура и установите тумблер СЕТЬ в положение «Вкл». Прогреть прибор в течение 2–3 мин.

К.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.

## К.5 ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

К.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 установить в положение «Авт.»;
- присоедините зажим  $G_E$  входного кабеля к зажиму  $L_{xy}$ ;
- присоедините зажимы  $H_x$  и  $L_{xy}$  входного кабеля к измеряемому объекту;
- произведите считывание результата измерений по индикаторному табло.

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

Библиотека БГУИР

## ПРИЛОЖЕНИЕ Л

### Осциллограф универсальный С1-117

#### Л.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.

#### Л.2 ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Л.2.1 Диапазон частот исследуемых сигналов — до 10 МГц.

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

Л.2.3 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.

Л.2.4 Предел допускаемой основной погрешности коэффициентов отклонения не превышает  $\pm 4\%$ .

Дополнительная погрешность коэффициентов отклонения в рабочих условиях не превышает половины основной.

Л.2.5 Тракт горизонтального отклонения обеспечивает следующие режимы работы:

- автоколебательный;
- ждущий;
- однократный.

Л.2.6 Основная погрешность коэффициентов развертки не превышает  $\pm 4\%$ .

Л.2.7 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.

Л.2.8 Основная погрешность цифрового измерения амплитудных параметров сигнала при размере изображения сигнала не менее четырех делений шкалы ЭЛТ не превышает значений, определяемых по формуле

$$\delta_A = \left[ 2 + 0,15 \left( \frac{U_n}{U_x} - 1 \right) \right],$$

где  $\delta_A$  — основная погрешность измерения амплитудных параметров сигнала, %;

$U_n$  — значение предела измерения (поддиапазона), В, (0,04; 0,4; 4; 400);

$U_x$  — значение измеряемого напряжения, В.

Л.2.9 В приборе обеспечивается режим цифровых измерений временных параметров сигнала с помощью меток, задаваемых вручную в диапазоне от 100 нс до 100 мс.

Л.2.10 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

$$\delta_{T(r)} = \pm \left[ 2 + 0,2 \left( \frac{T_n}{T_x} - 1 \right) \right].$$

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

$$\delta_{T(r)} = \pm \left[ 1 + 0,2 \left( \frac{T_n}{T_x} - 1 \right) \right],$$

где  $\delta_T$  — основная погрешность цифровых измерений временных интервалов, %;

$T_n$  — 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.

Л.2.11 Осциллограф обеспечивает свои технические характеристики в пределах норм, установленных ТУ, по истечении времени установления рабочего режима, равного 15 мин.

### Л.3 ПРИНЦИП РАБОТЫ ОСЦИЛЛОГРАФА

Л.3.1 Осциллограф, структурная схема которого приведена на рисунке Л.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.

Л.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.

Тракт горизонтального отклонения обеспечивает получение синхронного с исследуемым сигналом линейного развертывающего напряжения и его усиление для получения заданного размера изображения сигнала по горизонтали.

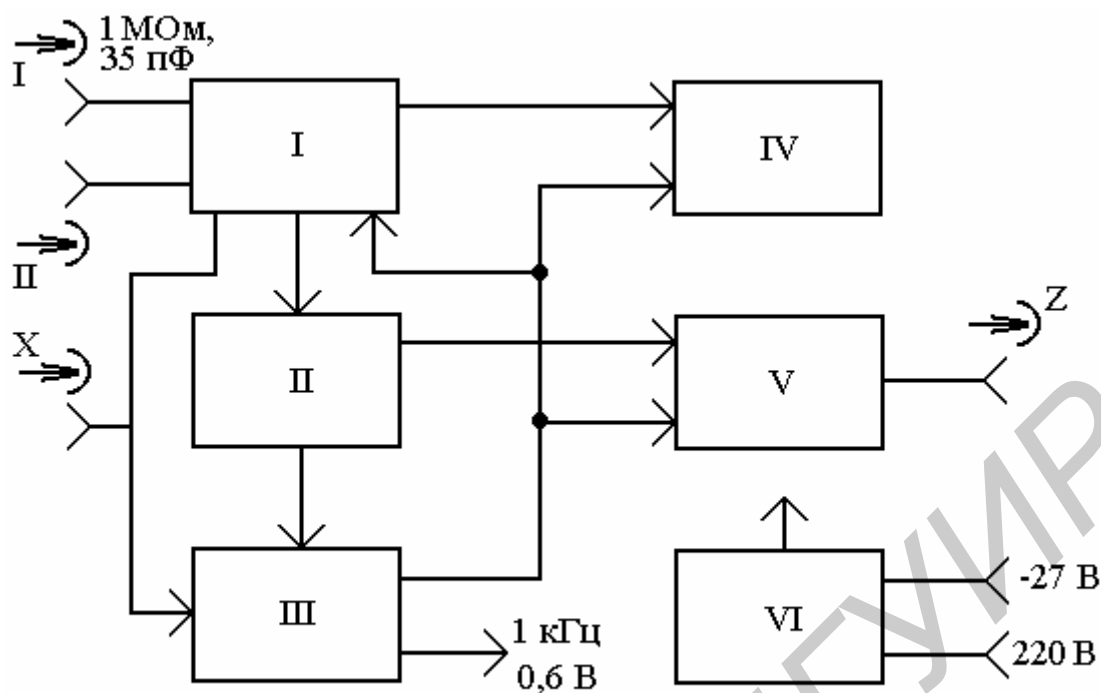


Рисунок Л.1

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.

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

Аттенуаторы, 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 аттенуатора 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.

Л.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.

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 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.



Л.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.

#### Л.4 УКАЗАНИЕ МЕР БЕЗОПАСНОСТИ

Л.4.1 По требованиям электробезопасности осциллограф соответствует классу 1.

Л.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.

Л.4.3 Все блоки осциллографа, находящиеся под высоким напряжением, имеют защитные экраны, маркированные знаком «⚡».





#### Л.5 ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Л.5.1 Расположение органов управления и их назначение.

Л.5.1.1 Органы управления, присоединения и индикации для удобства работы оператора сгруппированы по зонам.

Внешний вид осциллографа приведен на рисунке Л.2.

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

- ручка «» для регулировки астигматизма;
- ручка «» для фокусировки луча ЭЛТ;
- ручка «» для регулировки яркости луча ЭЛТ;
- ручка «» для регулировки яркости подсвета шкалы экрана ЭЛТ;
- ручка СЕТЬ для включения и отключения осциллографа.

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




— гнезда 1 МΩ, 35 pF каналов А и Б для подачи сигналов на вход осциллографа;

— выведенные под шлиц резисторы БАЛАНС для балансировки усилителей вертикального отклонения каналов А и Б;

— ручки переключателей V/ДЕЛ каналов А и Б для установки необходимого коэффициента отклонения;

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

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

— ручки «», «», «» для переключения входа трактов вертикального отклонения каналов А и Б;

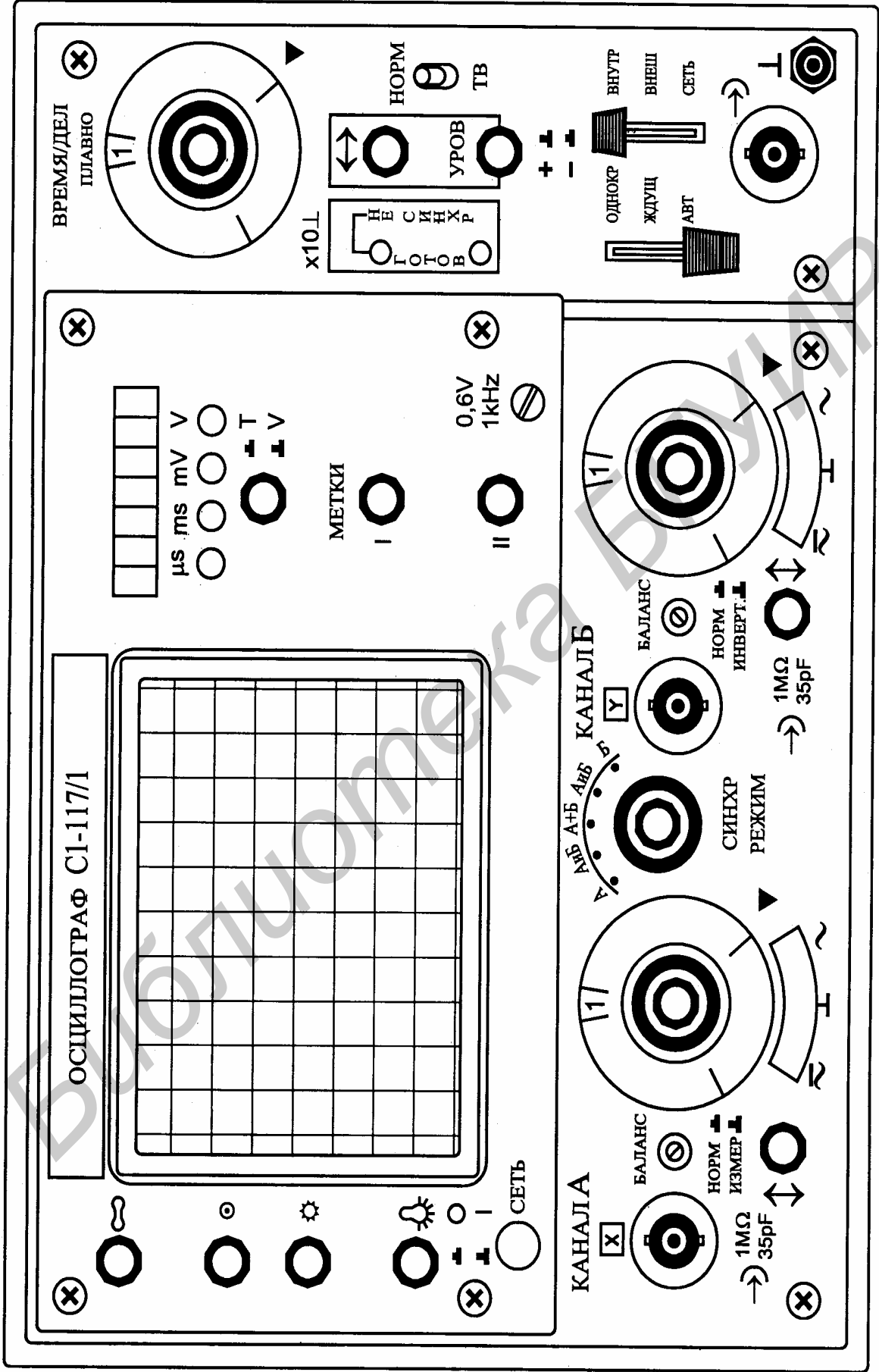


Рисунок Л.2

- ручка СИНХР РЕЖИМ переключателя режимов работы тракта вертикального отклонения для включения заданного режима работы;
- ручка НОРМ ИНВЕРТ для включения канала Б на инвертирование сигнала совмещена с ручкой ПЛАВНО;

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

Л.5.1.4 Справа от экрана ЭЛТ расположена зона измерений.

В зоне измерений сгруппированы следующие органы управления:

- ручка TV для режима временных измерений или амплитудных измерений. Ручка TV совмещена с ручкой УСТ 0;

- ручка УСТ 0 для установки нуля цифрового измерителя;

- ручка МЕТКИ «I» и «II» для перемещения меток при цифровых измерениях;

- гнездо 0,6V 1kHz (выход калибратора);

- четырехразрядный цифровой индикатор для индикации значений измеряемых параметров;

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

Л.5.1.5 В правой части передней панели осциллографа расположена зона развертки и синхронизации. В зоне развертки и синхронизации сгруппированы следующие органы управления и присоединения:

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

- ручка « $\times 10$ », находящаяся на одной оси с переключателем ВРЕМЯ/ДЕЛ, для включения «растяжки» развертки;

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

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

- индикатор и кнопка ГОТОВ для индикации готовности схемы для включения однократной развертки;


- переключатель ОДНОКР, ЖДУЩ, АВТ для включения необходимого режима работы развертки;

- переключатель ВНУТР, ВНЕШ, СЕТЬ для включения необходимого режима синхронизации;

- гнездо «» для подачи внешнего синхронизирующего сигнала;

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

Л.5.1.6 Ручка « $\leftrightarrow$ » для перемещения луча по горизонтали.





На правой стенке осциллографа расположено гнездо « Z» для подачи внешнего сигнала для модуляции яркости.

Л.5.1.7 На задней панели осциллографа расположены:

- розетка для присоединения кабелей питания;

- гнезда 1A, 3A для установки предохранителей.

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

- ручку «СЕТЬ» — нажать;
- ручку  — в среднее положение;
- ручку  — в среднее положение;
- ручку  — в среднее положение;
- ручку «НОРМ ИЗМ» — нажать;
- 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, ВНЕШ, СЕТЬ — в положение «Внутр»;
- ручки МЕТКИ I, II — в среднее положение.

Остальные органы управления могут быть в произвольных положениях.

## Л.6 ПОРЯДОК РАБОТЫ



Л.6.1 Включите осциллограф. Для этого вытяните ручку СЕТЬ на себя.

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.

Л.6.2 Проведение измерений.

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

- подайте исследуемый сигнал через кабель на вход А (Б);
- переключатель СИНХР РЕЖИМ установите в положение А (Б);
- переключатель режима развертки установите в положение «АВТ»;
- переключатель режима синхронизации установите в положение «Внутр»;
- переключатель V/ДЕЛ канала А (Б) и ручку  установите в положения, обеспечивающие получение удобного для наблюдения размера изображения на экране ЭЛТ;
- 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;
- определите визуально линейные размеры изображения заданных параметров сигнала в делениях шкалы экрана ЭЛТ;
- определите результаты измерения путем умножения коэффициентов отклонения и развертки на линейные размеры измеряемых параметров сигнала.

Л.6.2.2 При измерении временных интервалов менее 1 мкс ручку «×10» установите в отжатое положение и проводите измерения при коэффициентах развертки, уменьшенных в 10 раз.

Л.6.2.3 Цифровые измерения амплитудных параметров сигнала проводятся следующим образом:

- подайте на вход канала Б через кабель исследуемый сигнал;
- переключатель СИНХР РЕЖИМ установите в положение «Б»;
- переключатель режима развертки установите в положение «Авт»;
- переключатель режима синхронизации установите в положение «Внутр»;
- ручку «TV» установите в положение «V»;
- переключателями V/ДЕЛ, ВРЕМЯ/ДЕЛ, ручками «↑», «←→» и УРОВ установите на экране ЭЛТ удобный для измерения размер изображения сигнала;
- ручкой «↑» совместите одну из точек измеряемого по амплитуде участка изображения сигнала с горизонтальной линией шкалы ЭЛТ;
- ручкой УСТ 0 установите нуль (с точностью единицы последнего разряда) на цифровом индикаторе;
- ручкой «↑» совместите вторую точку измеряемого по амплитуде участка изображения сигнала с той же горизонтальной линией шкалы ЭЛТ;
- прочтите на цифровом индикаторе значение измеряемого амплитудного параметра сигнала.

Л.6.2.4 Цифровые измерения временных параметров сигнала производятся следующим образом:

- подайте исследуемый сигнал на вход канала Б;
- переключатель СИНХР РЕЖИМ установите в положение А и Б (синхронизация по каналу Б);
- переключатель режима развертки установите в положение «АВТ»;
- переключатель режима синхронизации ВНУТР; НОРМ ИЗМ установите в положение «Изм»;
- ручку TV установите в положение «Т»;
- переключателями V/ДЕЛ, ВРЕМЯ/ДЕЛ, ручками «↑», «←→» канала Б и УРОВ установите на экране ЭЛТ удобный для измерения размер изображения сигнала;
- переключателем V/ДЕЛ и ручкой «↑» канала А установите удобные размер и положение меток на экране ЭЛТ;
- ручками МЕТКИ I, II и «↑» канала А установите метки в граничных точках измеряемого временного интервала;
- прочитайте на цифровом индикаторе значение измеряемого временного интервала.

Примечание — При измерениях временных интервалов длительностью более 10 мкс метки ручкой «↑» канала А рекомендуется не выводить на экран ЭЛТ, а граничные точки измеряемого временного интервала устанавливать по подсвеченному участку сигнала ручками МЕТКИ I, II.

## Л.7 ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕННОГО СДВИГА И ФАЗОВОГО СДВИГА $\varphi_x$ МЕТОДОМ НАЛОЖЕНИЯ

Л.7.1 Для измерения временного сдвига используется двухканальный режим.

Л.7.1.1 После получения неподвижного изображения обоих сигналов установить калиброванный коэффициент развертки  $A$  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.

Л.7.1.2 Совместить точки, временной сдвиг между которыми измеряется, с горизонтальной осью в пределах 2–9 делений с помощью ручек « $\updownarrow$ » и « $\leftarrow\rightarrow$ ». Определить временной сдвиг как произведение интервала в делениях на калиброванный коэффициент развертки.

Л.7.1.3 При измерении фазового сдвига синусоидальных сигналов установить предварительно переключатели входов в положение « $\perp$ » и ручками « $\updownarrow$ » 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

$$\varphi_x^o = 360 \frac{l_\tau}{l_T},$$

где  $l_\tau$ ,  $l_T$  — временной сдвиг и период сигнала в делениях.

Абсолютная погрешность измерения фазового сдвига определяется по формуле

$$\Delta\varphi_x^o = \varphi_x^o \frac{\Delta l}{\sqrt{l_T^2 + l_\tau^2}},$$

где  $\Delta l$  — абсолютная погрешность отсчета по шкале ЭЛТ в делениях с учетом толщины луча ( $\pm 0,1$  деление).

## ПРИЛОЖЕНИЕ М

### Генератор импульсов Г5-54

#### М.1 НАЗНАЧЕНИЕ

Прибор Г5-54 предназначен для исследования, регулировки и настройки радиотехнических устройств различного назначения.

#### М.2 ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

М.2.1 Прибор выдает видеоимпульсы переключаемой полярности прямоугольной формы в диапазоне длительностей  $\tau_n$  от 0,1 до 1000 мкс с плавно ступенчатой (восемь поддиапазонов) регулировкой с погрешностью установки не более  $\pm(0,1\tau_n + 0,03)$  мкс.

М.2.2 Максимальная амплитуда импульсов  $U_m$  — не менее 50 В. Плавная регулировка от  $0,3U_m$  до  $1,0U_m$ . Ступенчатое ослабление амплитуды выходного сигнала осуществляется с коэффициентами  $\times 1$ ;  $\times 0,3$ ;  $\times 0,1$ ;  $\times 0,03$  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.

М.2.3 Временной сдвиг (задержка) импульса  $\tau_z$  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  $\tau_z < 0,2T$  не более  $\pm(0,1\tau_z + 0,03)$  мкс.

М.2.4 Частота повторения импульсов ( $f_{\text{СЛ}}$ ) при внутреннем запуске регулируется плавно-ступенчато от 0,01 до 100 кГц (восемь поддиапазонов). Погрешность установки — не более  $\pm f_{\text{СЛ}}$ .

М.2.5 Синхроимпульсы прибора имеют переключаемую полярность и максимальную амплитуду в пределах 10–15 В.

М.2.6 Время самопрогрева — 15 мин.

#### М.3 ПРИНЦИП РАБОТЫ ПРИБОРА

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 «» 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.

#### М.4 ПОДГОТОВКА ПРИБОРА К РАБОТЕ



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

М.4.2 Выполнить следующие операции:

— подключить внешнюю нагрузку 500 Ом к выходному гнезду «1:1»;

— нажать верхнюю кнопку переключателя ЗАПУСК, кнопку « $\times 10^4$ » ЧАСТОТА ПОВТОРЕНИЯ и установить по черной шкале частоту 100 кГц;

— нажать кнопку 0 переключателя ВРЕМЕННОЙ СДВИГ, кнопку « $\times 0,1$ » переключателя ДЛИТЕЛЬНОСТЬ и установить по белой шкале длительность 0,1 мкс;

— нажать кнопку « $\times 0,1$ » переключателя амплитуды выходного импульса, ручку АМПЛ повернуть влево до отказа, нажать кнопку «» или «» переключателя полярности.

— 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;




— соединить прибор через внешнюю нагрузку с макетом или осциллографом.

#### М.5 ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

М.5.1 Работа с прибором в режиме внутреннего запуска (нажата верхняя кнопка переключателя ЗАПУСК).

М.5.1.1 Установить соответствующими кнопками и шкальными устройствами ЧАСТОТА ПОВТОРЕНИЯ, ВРЕМЕННОЙ СДВИГ, ДЛИТЕЛЬНОСТЬ необходимые частоту повторения, задержку и длительность выходных импульсов.

М.5.1.2 Кнопками «», «» установить необходимую полярность, кнопками делителя амплитуды (« $\times 1$ ;  $\times 0,3$ ;  $\times 0,1$ ;  $\times 0,03$ ») 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 – « $\times 0,03$ ».

М.5.1.3 При необходимости синхронизации аппаратуры с генератором Г5-54 использовать импульсы с выхода « СИНХРОИМПУЛЬСЫ», выбрав необходимую полярность тумблером « — » и амплитуду (ручка «АМПЛ») синхроимпульсов.

М.5.2 Генератор может работать также в режиме разового запуска. Однако указанный режим в лабораторной работе Э.4М не используется.



Учебное издание

**Дерябина** Марина Юрьевна  
**Гусинский** Александр Владимирович  
**Гусынина** Юлия Анатольевна

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**  
по курсу «Метрология и измерения»  
для студентов радиотехнических специальностей БГУИР

Редактор Т.Н. Крюкова  
Корректор Е.Н. Батурчик

---

Подписано в печать 04.10.2002	Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать ризографическая. Гарнитура Times.	Усл.-печ. л. 4,88
Уч.-изд. л. 4,9. Тираж 300 экз.	Заказ 596

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»  
Лицензия ЛП № 156 от 05.02.2001.  
Лицензия ЛВ № 509 от 03.08.2001.  
220013, Минск, П. Бровка, 6.