

**МИНИСТЕРСТВО  
ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

---

---

**ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

---

---

621.317 (07)  
З-917



**П.А. Зубцов, А.В. Морозова**

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ**

**Учебное пособие  
к лабораторным работам**

---

---

**Челябинск  
1999**

---

---

УДК 621.317 (07)

Зубцов П.А., Морозова А.В. Электрические измерения: Учебное пособие к лабораторным работам. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 1999. – 79 с.

Лабораторные работы по электрическим измерениям для студентов приборостроительного, энергетического, автоматнo-механического, аэрокосмического, архитектурно-строительного и других факультетов составлены сотрудниками кафедры информационно-измерительной техники ЮУрГУ ( канд.техн.наук Зубцовым П.А.: работы № Э1, Э3, Э6, Э7, Э9; и доцентом А.В. Морозовой: работы № Э2, Э4, Э5, Э8, Э10, Э11, Э12).

Ил. 42, табл. 20.

Одобрено учебно-методической комиссией приборостроительного факультета.

*11/413193*

Рецензенты: к.т.н. А.А. Шахин, к.т.н. В.А. Буторин.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Правила оформления отчета о лабораторной работе.....	4
Работа № Э1. Поверка амперметров и вольтметров.....	8
Работа № Э2. Поверка вольтметров высоких классов точности .....	14
Работа № Э3. Измерение сопротивлений на постоянном токе .....	23
Работа № Э4. Измерения потенциометром постоянного тока .....	29
Работа № Э5. Измерения 3-контурным потенциометром постоянного тока.....	34
Работа № Э6. Измерение емкости и индуктивности мостами переменного тока.....	41
Работа № Э7. Измерения компенсатором переменного тока .....	46
Работа № Э8. Исследование диодных амплитудных детекторов электронных вольтметров .....	53
Работа № Э9. Измерение активной и реактивной мощности в трехфазных цепях .....	56
Работа № Э10. Поверка однофазного счетчика активной энергии .....	61
Работа № Э11. Универсальный электроннолучевой осциллограф.....	65
Работа № Э12. Измерения цифровым частотомером .....	73

## ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Лабораторная работа представляет собой небольшое, но вполне законченное учебное научное исследование. Отчет о лабораторной работе является документом, отражающим результаты выполненного исследования с максимальной полнотой и объективностью. В условиях непрерывно ускоряющегося научно-технического прогресса все большее значение приобретает своевременный и качественный обмен информацией. С этой целью к оформлению научно-технической документации предъявляются единые требования. В определенной мере этим требованиям должен удовлетворять и отчет о лабораторной работе.

### Требования к первичному документу – протоколу испытаний

Протокол испытаний (черновик) является основным документом при составлении отчета. От качества его ведения в значительной мере зависит и качество самого отчета. Главное требование к протоколу – аккуратность его заполнения. Протокол должен содержать наименование работы, основные схемы электрических соединений, заголовки разделов работы, таблицы с экспериментальными данными, значения постоянных, нерегулируемых параметров, устанавливаемых при каждом опыте, необходимые расчетные формулы и результаты предварительных расчетов, список средств измерений и их основные характеристики, а также параметры приборов, которые могут понадобиться при оформлении отчета. В отдельных случаях с целью контроля за ходом опыта желательно непосредственно во время эксперимента приближенно наносить график снимаемой зависимости.

Схемы соединений, таблицы желательно готовить заранее, во время подготовки к лабораторным занятиям.

Во избежание грубых ошибок при перерасчетах, особенно при частом переходе с одного предела измерения прибора на другой и с целью сокращения времени эксперимента, целесообразно отсчет показаний приборов и запись их в протокол производить в делениях шкалы, каждый раз указывая цену деления, где она меняется.

### Требования к оформлению отчета

Отчет должен выполняться на бумаге стандартного размера (формат А4). Поля оставляются по обеим сторонам текста. С целью экономии бумаги решается использовать обе стороны листа.

Форма титульного листа приведена ниже. На этом же листе размещают основные схемы соединений, используемые в работе. Если схем много, их можно располагать и на других страницах отчета.

Весь материал отчета должен иметь четкую рубрикацию. Каждый раздел снабжается заголовком. Если речь идет об экспериментальном определении

функциональной зависимости, то желательно после заголовка привести обобщенную формулу этой зависимости и параметры, которые при эксперименте поддерживаются неизменными. Например:

1. Определение вольтамперной характеристики фоторезистора при постоянной освещенности:

$$U=f(I) \text{ при } E=120 \text{ лк} = \text{const.}$$

Результаты измерений и расчетов в отчете приводят, как правило, в виде таблиц.

Рекомендуемые формы таблиц обычно имеются в описании каждой работы. При необходимости экспериментатор должен уметь самостоятельно составить простую и удобную форму таблицы, позволяющую легко уяснить ее содержание.

Все таблицы нумеруются. После таблицы должны быть приведены все формулы, по которым производились расчеты, пояснения принятых в таблицах, формулах и графиках обозначений физических величин и указаны номера графиков, относящихся к данному разделу.

Обозначение единиц физических величин должно соответствовать ГОСТ 8.417-81 «Единицы физических величин». В отчете могут быть использованы только русские или только международные обозначения.

Числовые значения результатов измерений и расчетов должны оканчиваться десятичным знаком того же разряда, что и значения их погрешностей. Большее число разрядов бесполезно, так как не увеличивает точности, а меньшее – снижает ее. Погрешность измерения принято выражать числом с одной или (при наиболее точных измерениях) с двумя значащими цифрами.

Для сокращения записи и удобства восприятия числовых значений надо умело пользоваться десятичными, дольными и кратными единицами. Последнее выбирают обычно такими, чтобы числовые значения величин находились в диапазоне от 0,001 до 1000. Десятичные кратные и дольные единицы рекомендуется подставить только в конечный результат, а в процессе вычислений во избежание грубых ошибок все величины следует выражать в единицах СИ, заменяя приставки степенями числа 10.

В необходимых случаях в соответствующих разделах отчета или в заключении приводятся основные выводы по результатам эксперимента, отвечающие цели поставленного эксперимента.

Все использованные в лабораторной работе средства измерений: измерительные приборы, образцовые меры, делители напряжения и т.п. – и их характеристики приводятся в заключительной части отчета в виде табл. 1.

В графе «Дополнительные параметры» могут быть приведены характеристики средств измерений, необходимые при обработке экспериментов или оценке

методических погрешностей, такие как внутренние сопротивления приборов и делителей напряжения, номинальные токи образцовых катушек сопротивления и др.

Пример титульного листа

Министерство общего и профессионального образования  
Российской Федерации

Южно-Уральский государственный университет

Приборостроительный факультет

Кафедра информационно-измерительной техники

Студент \_\_\_\_\_  
(ф.и.о.)

Группа \_\_\_\_\_

ОТЧЕТ О РАБОТЕ

\_\_\_\_\_  
(наименование работы)  
\_\_\_\_\_

СХЕМЫ СОЕДИНЕНИЙ

Работа  
выполнена «\_\_» \_\_\_\_\_ 199 г.

Работа  
принята «\_\_» \_\_\_\_\_ 199 г.

Таблица 1

## Перечень использованных средств измерений

Наименование	Тип	Пределы измерения	Класс точности	Дополн. параметры	Заводской номер

## Требования к выполнению графиков

Графики обладают большой информационной емкостью и наглядностью. Поэтому к их выполнению предъявляются весьма высокие требования, изложенные в СТ СЭВ 2824-

80.

При оформлении отчетов по лабораторным работам графики выполняют на отдельных стандартных листах миллиметровки формата А4. На одном листе можно размещать несколько графиков без перекрытия друг друга.

Графики строят, как правило, в прямоугольной системе координат, причем независимую переменную следует откладывать на горизонтальной оси.

Поскольку лабораторные работы носят учебный характер, то графики должны давать наглядное представление об основных зависимостях между исследуемыми физическими величинами и диапазонах их изменения. Поэтому для всех графиков, кроме специальных случаев, началу координат должен соответствовать нуль.

Значения переменных величин следует откладывать на осях координат в виде шкал в стандартных масштабах, которые могут быть разными для каждого направления координат. При изображении нескольких функций различных переменных допускается использовать в качестве шкал как координатные оси, так и линии координатной сетки, ограничивающие поле графика слева и справа и прямые, расположенные параллельно координатным осям (рис. 1). Рядом со штрихами, соответствующими концами шкал, должны быть указаны соответствующие им значения величин.

Числа у шкал следует размещать вне поля графика и располагать горизонтально. Многозначные числа предпочтительно выражать как кратные  $10^n$ .

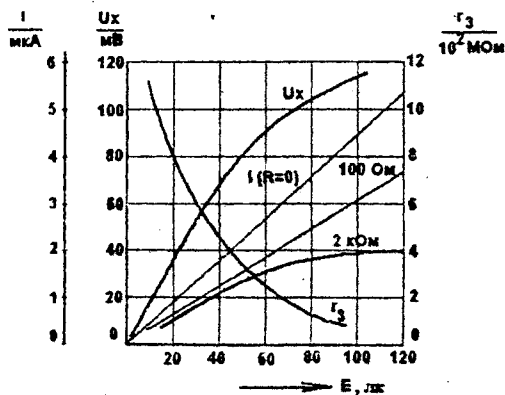


Рис. 1

Функциональная зависимость не обязательно должна проходить через все экспериментальные точки, но последние должны быть обозначены на графике.

Переменные величины указывают одним из способов:

- символом (например,  $U$ ,  $I$ ,  $R$  и т.д.),
- наименованием (например, температура,  $^{\circ}\text{C}$ ),
- математическим выражением (например,  $\frac{dM}{da}$ ).

Обозначения величин следует размещать у середины шкалы с ее внешней стороны или при объединении символа с обозначением единицы измерения в виде дроби - в конце шкалы после последнего числа (рис. 1).

Обозначения в виде символов (рис. 1) и математические выражения (рис. 2) располагают горизонтально, а обозначения в виде наименований - параллельно соответствующим осям (рис. 2).

Когда на общем графике изображают несколько функциональных зависимостей, у линий, их изображающих, допускается проставлять наименование или символы соответствующих величин, или порядковые номера. Символы и номера должны быть разъяснены в поясняющей части.

Размерность на шкалах наносится одним из следующих способов:

а) в конце шкалы между последним и предпоследним числами шкалы (рис. 1), если места недостаточно, можно не наносить предпоследнее число;

б) вместе с обозначением переменной величины после запятой (рис. 2);

в) в конце шкалы после последнего числа вместе с обозначением переменной величины в виде дроби, в числителе которой наносят символ переменной величины, а в знаменателе - размер физической величины (рис. 1).

Размер углов (градуса, минуты, секунды) допускается наносить у каждого числа шкалы.

График может иметь пояснительную часть (текст, чертеж и др.), которая размещается или после наименования графика, или на свободном месте поля графика.

Каждый график должен иметь номер и содержательную подпись.

Обращается особое внимание на качество выполнения графиков; небрежно, от руки выполненные графики не принимаются.

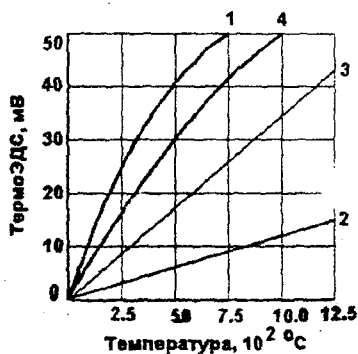


Рис. 2



## Работа № 31 ПОВЕРКА АМПЕРМЕТРОВ И ВОЛЬТМЕТРОВ

Поверка электроизмерительных приборов осуществляется с целью определения соответствия их основных метрологических характеристик установленным нормам. Перечень характеристик и их нормы регламентируются государственными стандартами на соответствующие приборы. Для амперметров и вольтметров таким документом является ГОСТ 8711-94 «Амперметры и вольтметры. Технические требования». Методики поверки также регламентированы. Они разрабатываются и утверждаются соответствующими метрологическими организациями.

В данной работе используются рекомендации ГОСТ 8.497-83 «Амперметры, вольтметры, ватметры. Методика поверки».

Цель работы - ознакомиться с методикой определения основной и некоторых дополнительных погрешностей амперметров и вольтметров и установить соответствие их требованиям ГОСТ 8711-94.

### Содержание работы

#### 1. Выбор образцовых приборов

В данной работе поверка приборов осуществляется методом сличения их с образцовыми.

Допускаемая погрешность образцового прибора должна быть в пять раз ниже предела допускаемой погрешности поверяемого прибора.

#### 2. Определение основной погрешности и вариации показаний прибора

Основная погрешность прибора имеет место при нормальных условиях эксплуатации. Поэтому опытное определение основной погрешности должно проводиться при нормальных значениях влияющих величин, таких, как частота тока, температура окружающей среды, напряженность магнитных и электрических полей и др.

Перед началом работы необходимо провести внешний осмотр прибора и убедиться в его исправности установить прибор в рабочее положение, установить с помощью корректора указатель на нуль и обеспечить нормальные условия при поверке. Схемы соединений при поверке показана на рис. 3. Перед поверкой необходимо убедиться в возможности плавной регулировки тока или напряжения в пределах всей шкалы поверяемого прибора. Погрешности поверяемого прибора на всех цифровых отметках шкалы определяют два раза:

а) при подводе указателя к каждой поверяемой отметке со стороны меньших значений;

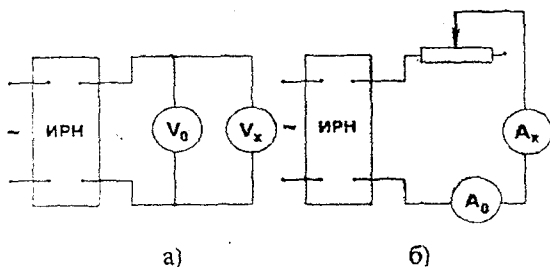


Рис. 3

б) при подводе указателя к тем же поверяемым отметкам со стороны больших значений.

Во время опыта нужно следить, чтобы указатель испытуемого прибора подходил к очередной отметке шкалы плавно и только с одной стороны. Если желаемая отметка шкалы случайно пройдена, то нужно вернуться к

исходному положению и снова подвести указатель к нужной отметке с той же стороны. При этом прибор не должен подвергаться сотрясениям.

Многодиапазонные приборы можно поверять на всех оцифрованных отметках лишь на одном пределе. На других диапазонах проверка проводится на конце шкалы и на той отметке, где в предыдущем опыте была получена наибольшая погрешность.

Для каждой поверяемой отметки  $A_x$  шкалы прибора необходимо вычислить:

а) абсолютную погрешность  $\Delta A = A_x - A_o$ .

где  $A_o$  — действительное значение измеряемой величины, равное показаниям  $A_{ov}$  и  $A_{oy}$  при подходе к заданной отметке со стороны меньших и больших значений;

б) среднее арифметическое показаний образцового прибора

$$A_o = \frac{1}{2}(A_{ov} + A_{oy});$$

в) вариацию показаний прибора как разность действительных значений измеряемой величины при одном и том же значении измеряемой величины в нормальных условиях.

$$\Delta_e = |A_{ov} - A_{oy}|.$$

Основную приведенную погрешность  $\gamma_o$  и приведенную погрешность от вариации  $\gamma_v$  для всех отметок шкалы вычисляют по формулам:

$$\gamma = \frac{|\Delta A_o|_{\max}}{A_n} \cdot 100\%; \quad \gamma = \frac{|A_{ov} - A_{oy}|}{A_n} \cdot 100\%,$$

где  $A_n$  — предел измерения измеряемого прибора.

Результаты опыта и расчетов представляют в виде табл. 2.

Таблица 2

Показания испытуемого прибора $A_x$	Показания об- разцового прибора			Абсолютная погрешность $\Delta A_0$		Основная приведенная погрешность $\gamma_0, \%$	Вариация показаний прибора	
	При увеличении показаний, $A_{0в}$	При уменьшении показаний, $A_{0у}$	Среднее $A_{0ср}$	При увеличении показаний	При уменьшении показаний		$\Delta_B$	$\gamma_B, \%$

Согласно ГОСТ 8711-94 основная приведенная погрешность в процентах на любой отметке не должна превышать численного значения класса точности прибора.

Вариация приборов, устойчивых к механическим воздействиям, и приборов классов 0,05 и 0,1 не должна превышать полуторакратного значения допускаемой основной погрешности. Вариация показаний остальных приборов не должна превышать абсолютного значения допускаемой основной погрешности.

### 3. Определение остаточного отклонения указателя прибора от нулевой отметки

Для определения данной характеристики следует отметить положение указателя  $\Delta_{см}$ , которое он займет после плавного уменьшения измеряемой величины от номинального значения до нуля.

Согласно ГОСТ 8711-94 для приборов, устойчивых к механическим воздействиям, приборов с углом шкалы более  $120^\circ$  и приборов с подвижной частью на растяжках смещение от нуля не должно превышать значения:

$$\Delta_g = 0,005 \cdot c \cdot \ell, \text{ мм},$$

где  $c$  — численное обозначение класса точности прибора;  $\ell$  — длина шкалы, мм.

Для всех остальных приборов смещение от нуля не должно превышать половины указанного значения.

#### 4. Определение времени успокоения прибора

Согласно ГОСТ 8711-94 определение времени успокоения должно производиться при включении измеряемой величины, обуславливающей отклонение указателя примерно на  $2/3$  длины шкалы.

Время успокоения определяется с момента включения измеряемой величины до момента, когда отличие показаний прибора от установившегося его значения не превысит  $\pm 1,5\%$  от длины шкалы.

Порядок определения времени успокоения:

а) включают прибор и устанавливают его указатель на отметку, близкую к  $2/3$  от длины шкалы;

б) оставляя неизменным состояние регулирующих органов, прибор выключают и после успокоения включают снова. Убедившись, что по окончании переходного процесса указатель точно устанавливается на выбранной отметке шкалы, прибор выключают;

в) снова включают прибор и одновременно пускают в ход секундомер, который останавливают в тот момент, когда колебания указателя относительно положения установившегося равновесия не превышают  $1,5\%$  от длины шкалы.

Допустимые границы отклонения указателя от положения равновесия должны быть отмечены заранее.

Для повышения точности измерения время успокоения определяют как среднее значение из трех-четырех опытов.

По ГОСТ 8711-94 время установления показаний прибора не должно превышать 4 с.

#### 5. Определение погрешности от наклона прибора

Если центр тяжести подвижной части прибора не совпадает с осью вращения, то вес подвижной части создает дополнительный момент, являющейся функцией угла поворота. Нормальное положение прибора указывается на его шкале. В этом положении влияние момента силы тяжести учтено при градуировке. При изменении положения прибора момент силы тяжести изменяется и в показаниях прибора возникает дополнительная погрешность.

В ГОСТ 8711-94 нормируется погрешность от наклона прибора на  $\pm 5^\circ$  в любом направлении.

Все дополнительные погрешности определяются для двух отметок шкалы, из которых одна находится приблизительно на геометрической середине, а другая – у конечного значения шкалы.

Чтобы вычислить дополнительную погрешность от наклона, испытуемый прибор с помощью специального приспособления наклоняют в какую-либо сторону – вперед, назад, влево или вправо – на угол  $5^\circ$ .

Плавным регулированием измеряемой величины указатель испытуемого прибора устанавливают на заданную отметку  $A_x$  дважды – при подходе со

стороны меньших и со стороны больших значений и фиксируют показания образцового прибора  $A^*_{OB}$  и  $A^*_{OY}$ .

Действительное значение измеряемой величины при данном положении прибора  $A^*_0$  принимается равным среднему арифметическому показаний образцового прибора  $A^*_{OB}$  и  $A^*_{OY}$ :

$$A_{Ocp}^* = \frac{1}{2}(A^*_{OB} + A^*_{OY}).$$

Для этой же отметки шкалы  $A_x$  должно быть измерено действительное значение измеряемой величины  $A_0$  при нормальном положении прибора:

$$A_{Ocp} = \frac{1}{2}(A_{OB} + A_{OY}).$$

При этом можно воспользоваться данными опыта п. 2.

Дополнительная погрешность от наклона прибора

$$\Delta A_\phi = A_{Ocp} - A^*_{Ocp}.$$

Действительно, при нормальном положении прибора:

$$A_x = A_{Ocp} + \Delta A_{Ocp},$$

где  $\Delta A_{Ocp}$  — основная погрешность испытываемого прибора на данной отметке шкалы.

При наклоне прибора для той же отметки шкалы

$$A_x = A^*_{Ocp} + \Delta A_{Ocp} + \Delta A_\phi,$$

где  $A^*_{Ocp}$  — действительное значение измеряемой величины при данном положении прибора.

Из двух последних уравнений можно получить приведенную выше формулу для расчета дополнительной погрешности.

Приведенная погрешность от наклона

$$\gamma_\phi = \pm \frac{\Delta A_\phi}{A_H} \cdot 100\%.$$

При опыте все другие влияющие величины (частота тока, температура и др.) должны быть равны их нормальным значениям.

Опыт проводится при наклоне прибора поочередно вперед, назад, влево и вправо. Результаты измерений и расчетов записываются в табл. 3.

Дополнительная погрешность, вызванная изменением положения прибора от нормального положения в любом направлении на угол в 5 град, по ГОСТ 8711-94 не должна превышать предела допускаемой основной погрешности.

#### 6. Определение сопротивления прибора

Выбор метода измерения сопротивления приборов зависит от допускаемой погрешности измерения.

Таблица 3

Положение испытываемого прибора	Показания испытываемого прибора	Показания образцового прибора			Погрешность от наклона	
		$A^*_{ов}$	$A^*_{оу}$	$A^*_{оср}$	$\Delta A_{\phi}$	$\gamma_{\phi}$
	$A_x$					

При изготовлении амперметров постоянного тока классов 0,05...0,5 допускается отклонение сопротивления от номинального на  $\pm 10\%$ . Для амперметров переменного тока этих же классов – активное сопротивление и индуктивность не должны превышать значений, указанных в технических условиях или на приборе. При измерении сопротивления амперметров допустимой считается погрешность  $\pm 1\%$ .

Измерение может быть осуществлено одинарным или двойным мостом.

Внутреннее сопротивление вольтметров классов 0,05...0,5 может отличаться от номинального не более чем на половину величины допускаемой основной погрешности. Допускаемая погрешность при измерении сопротивления вольтметра не должна превышать  $\pm 0,2c$  ( $c$  – число, обозначающее класс точности прибора). Средствами измерений здесь могут быть одинарные мосты или компенсационные установки соответствующего класса точности.

У амперметров и вольтметров, предназначенных для включения через измерительные трансформаторы, нормируется собственное потребление мощности при номинальных значениях входных величин (для амперметров 5 ВА, для вольтметров – 10 ВА).

Измерение этой мощности осуществляется при схеме соединений, позволяющей измерить ток через прибор и падение напряжения на зажимах прибора.

### 7. Результаты поверки

По результатам поверки составить табл. 4 и сделать выводы о соответствии поверяемого прибора присвоенному ему классу точности.

Таблица 4

Параметры	$\gamma_0, \%$	$\gamma_B, \%$	$\Delta_{см},$ мм	$t_y,$ с	$\gamma_{\phi}, \%$	R, P
Опытные значения						
Пределы допускаемых значения для класса точности						

## Работа № Э2

### ПОВЕРКА ВОЛЬТМЕТРОВ ВЫСОКИХ КЛАССОВ ТОЧНОСТИ

Задачей поверки измерительных приборов является установление соответствия их метрологических характеристик величинам, нормируемым государственными стандартами или техническими условиями.

В данной работе производится поверка вольтметров классов точности 0,2 или 0,5 на постоянном токе с помощью дифференциального вольтметра В1-12 в соответствии с ГОСТ 8.497-83 «Амперметры, вольтметры, ваттметры, варметры. Методика поверки».

Для поверки вольтметров высоких классов точности может использоваться метод прямых измерений напряжения образцовым прибором. Допускаемая погрешность образцового прибора должна быть в 5 раз меньше допускаемой погрешности поверяемого прибора.

При поверке должны быть нормальные условия работы приборов:

- температура окружающего воздуха  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  для классов точности 0,05...0,5;
- относительная влажность воздуха 30...80%;
- атмосферное давление  $(100 \pm 6)$  кПа.

#### Содержание работы

Операции, выполняемые при проведении периодических поверок.

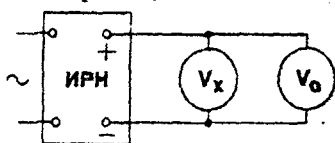


Рис. 4

На рис. 4 приведена схема соединений при поверке вольтметров.

ИРН – источник регулируемого напряжения;  
 $V_x$  – поверяемый вольтметр;  
 $V_o$  – образцовый вольтметр.

#### 1. Внешний осмотр прибора

При внешнем осмотре должны быть установлены:

- отсутствие внешних повреждений и повреждений покрытия шкалы;
- исправность корректора: в обесточенном состоянии и нормальном положении прибора указатель устанавливают на нулевую отметку шкалы.

Примечание: в дальнейшем при поверке повторная установка корректора на нулевую отметку не допускается.

#### 2. Проверка влияния наклона на нулевой отметке шкалы

Невключенный прибор отклоняют от его нормального положения в любую сторону на угол 5 град, при этом смещение указателя с нулевой отметки в % от длины шкалы не должна превосходить численного значения класса точности.

### 3. Опробование

При опробовании устанавливается надежное закрепление зажимов приборов, четкая фиксация переключателей.

Прибор включается под напряжение и проверяется плавность перемещения указателя в пределах всей шкалы прибора.

### 4. Определение основной погрешности и вариации показаний.

Основную погрешность и вариацию показаний приборов классов точности 0,05; 0,1 и 0,2 определяют на каждой числовой отметке шкалы.

Для приборов класса 0,5, а также для приборов с равномерной шкалой, у которых числовых отметок более 10, допускается определять основную погрешность и вариацию показаний лишь на 5 отметках шкалы, равномерно распределенных вдоль шкалы.

Многодиапазонные приборы допускается поверять на всех числовых отметках лишь на одном диапазоне измерений, на остальных диапазонах достаточно на двух отметках шкалы: соответствующей нормирующему значению и числовой отметке, на которой получена максимальная погрешность на полностью поверяемом диапазоне.

Для каждой поверяемой отметки основную погрешность определяют два раза: при подводе указателя со стороны меньших значений, а затем со стороны больших значений.

Во время опыта нужно следить, чтобы указатель поверяемого прибора подходил к поверяемой отметке плавно, только с одной стороны.

Основную погрешность для каждой поверяемой отметки шкалы вычисляют отдельно при увеличении и уменьшении показаний. Абсолютная погрешность

$$\Delta = A_{ИЗМ} - A_{Д},$$

где  $A_{ИЗМ}$  — значение измеряемой величины, определяемое по показаниям поверяемого прибора;

$A_{Д}$  — действительное значение измеряемой величины, определяемое по показаниям образцового прибора.

Приведенная погрешность

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_n} \cdot 100\%,$$

где  $A_n$  — нормирующее значение. Для приборов с равномерной шкалой верхний предел измерения.

Ни одно из значений приведенных погрешностей, полученных при двух измерениях на каждой поверяемой отметке шкалы, не должно превышать численного значения класса точности.

Вариацию показаний прибора определяют как абсолютное значение разности действительных значений измеряемой величины при плавном подходе



указателя к поверяемой отметке сначала при увеличении  $A_{ОВ}$ , а затем при уменьшении показаний  $A_{ОН}$  :

$$\Delta_B = |A_{ОВ} - A_{ОН}|.$$

Максимальное значение вариации из всех измерений в процентах от нормирующего значения :

$$\gamma_{B_{\max}} = \frac{\Delta_{B_{\max}}}{A_n} \cdot 100\%,$$

не должно превышать допустимой по классу точности прибора.

Данные опытов и расчетов представить в виде табл. 5.

Таблица 5

Поверяемый прибор			Показания образцового прибора, В		Абсолютная погрешность $\Delta, В$		Максимальная приведенная погрешность	Вариация	
Диапазон	Показания, Дел.	Показания, В	При увеличении показаний	При уменьшении показаний	При увеличении показаний	При уменьшении показаний	$\gamma_{\max}, \%$	$\Delta_B, В$	$\gamma_B, \%$

#### 5. Определение остаточного отклонения указателя прибора от нулевой отметки

Плавно уменьшают значение измеряемой величины от конечного значения до нуля и отмечают положение указателя –  $\Delta_{СМ}$ .

Смещение от нулевой отметки шкалы не должно превосходить значения

$$\Delta_{СМ} \leq 0,005c \cdot l \text{ мм},$$

где  $l$  – длина шкалы в мм;  $c$  – численное обозначение класса точности прибора.

#### 6. Проверка сопротивления изоляции

Измерение сопротивления изоляции производится мегомметром типа М4100.

Входные зажимы мегомметра «МΩ» присоединяются : один к закороченным входным зажимам вольтметра, второй – к корпусу вольтметра.

Сопротивление изоляции должно быть не менее 20 МОм.

### 7. Определение времени успокоения

Для приборов с односторонней шкалой время успокоения определяется при включении измеряемой величины, обуславливающей отклонение указателя приблизительно на  $2/3$  длины шкалы.

Порядок определения времени успокоения следующий:

а) регулируют измеряемую величину так, чтобы указатель установился на выбранной отметке шкалы;

б) оставляя неизменным положение регулировочного устройства, прибор отключают и после успокоения указателя вновь включают, наблюдая за характером движения указателя ( периодическое или аperiodическое).

в) убедившись , что указатель после успокоения останавливается на выбранной отметке шкалы, прибор отключают;

г) прибор включают одновременно с запуском секундомера для измерения времени успокоения.

Секундомер останавливают, когда отклонение указателя от установившегося положения равновесия будет не более 1% от длины шкалы.

За действительное время успокоения принимается среднее арифметическое из результатов трех его измерений.

Время успокоения должно быть не более 4 секунд.

Результаты поверки свести в табл. 6 и сделать выводы о соответствии данных поверки классу точности поверяемого прибора.

Таблица 6

Параметры	Опытное значение	Допускаемые значения Для класса
Основная погрешность $\gamma, \%$		
Вариация $\gamma_v, \%$		
Остаточное отклонение указателя $\Delta, \text{мм}$		
Погрешность от наклона $\gamma_n, \%$		
Время успокоения, с		

## Дополнительные испытания

### Определение влияния наклона на показания прибора.

Если центр тяжести подвижной части прибора не совпадает с осью, то появляется дополнительный момент, зависящий от положения прибора. В нормальном положении влияние этого момента учитывается при градуировке. При отклонении положения прибора от нормального появляется дополнительная погрешность от наклона. Эта погрешность определяется для числовой отметки шкалы, близкой к 50% от конечного значения.

Сначала для этой отметки шкалы в нормальном положении прибора определяется действительное значение измеряемой величины  $A_{Ocp}$  как среднее арифметическое из двух измерений: первого – при плавном увеличении напряжения от нуля до выбранной отметки шкалы  $A_{OB}$  и второго – при уменьшении от конечного значения до той же отметки –  $A_{OH}$ .

Затем с помощью специальной подставки наклоняют прибор в каждую из четырех сторон на 5 град и определяют действительное значение измеряемой величины  $A_{Hcp}$  также как и для нормального положения прибора.

Приведенная погрешность от наклона вычисляется по формуле

$$\gamma = \frac{A_{Ocp} - A_{Hcp}}{A_n} \cdot 100 \%,$$

где  $A_n$  – нормирующее значение.

Результаты измерений и расчетов представить в виде табл. 7.

Дополнительная погрешность от наклона в любом направлении на 5 град не должна превышать величины, равной численному обозначению класса точности прибора.

Таблица 7

Положение прибора	Показания поверяемого прибора		Показания образцового прибора, В			Приведенная погрешность наклона, %
	делен.	В				
Нормальное						
Вправо						
Влево						
Вперед						
Назад						

## Дифференциальный вольтметр В1-12

### ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ И ИНСТРУКЦИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ

#### Назначение

Дифференциальный вольтметр В1-12 может использоваться в следующих режимах:

- прямые измерения напряжений при поверке измерительной аппаратуры на постоянном токе – режим дифференциального вольтметра;
- источник регулируемых калиброванных напряжений;
- источник калиброванных токов.

Здесь приведены сведения только для режима дифференциального вольтметра. В этом режиме измеряемое напряжение компенсируется высокостабильным калиброванным регулируемым напряжением, создаваемым в схеме вольтметра. Нуль-органом в схеме вольтметра является цифровой вольтметр, снабженный трехразрядным цифровым табло, на котором индицируется разность измеряемого и компенсирующего напряжений с индикацией знака разности ( $U_x - U_k$ ).

#### Технические данные

1. Диапазон установки компенсирующих напряжений 0,1 мкВ ... 1000 В.
2. Регулирование компенсирующего напряжения ступенчатое с дискретностью  $10^{-6} U_n$  ( $U_n$  – значение напряжения верхней границы установленного поддиапазона).
3. Поддиапазоны, пределы допускаемой основной погрешности измерения напряжения приведены в табл. 8.

Таблица 8

1 В	1 мкВ ... 1В	$5 \cdot 10^{-5} U_x + 10 \text{ мкВ}$
10 В	10 мкВ ... 10 В	$5 \cdot 10^{-5} U_x + 30 \text{ мкВ}$
100 В	1000 мкВ ... 100 В	$5 \cdot 10^{-5} U_x + 300 \text{ мкВ}$
1000 В	1 мВ ... 1000 В	Для $U_x \leq 500 \text{ В}$ $6 \cdot 10^{-5} U_x + 3 \text{ мВ}$ Для $U_x > 500 \text{ В}$ $1 \cdot 10^{-4} U_x$

4. Входное сопротивление вольтметра не менее  $10^9$  Ом на всех поддиапазонах.

5. Пределы измерения разности измеряемого и компенсирующего напряжений нуль-органом в зависимости от выбранного поддиапазона и чувствительности нуль-органа приведены в табл. 9.

Таблица 9

Положение переключателя чувствительности	Положение переключателя поддиапазонов			
	1 V	10 V	100 V	1000 V
$10^{-6}$	0,999 мВ	9,99 мВ	99,9 мВ	999 мВ
$10^{-5}$	9,99 мВ	99,9 мВ	0,999 В	9,99 В
$10^{-4}$	99,9 мВ	999 мВ	9,99 В	99,9 В

6. Основная погрешность нуль-органа при измерении напряжения не превышает

$$\pm(5 \cdot 10^{-3}U_0 + 3 \cdot 10^{-3}U_{но}),$$

где  $U_{но}$  – максимальное напряжение установленного предела измерения нуль-органа,  $U_0$  – показание индикатора нуль-органа.

Примечание: нуль-орган имеет 15% -ое перекрытие предела измерения. Перегрузка индицируется индексом «П», совмещенным с индексом знака разности измеряемого и компенсирующего напряжений  $\#$  или  $\#$ .

7. Время самопрогрева прибора 1 час.

8. Время непрерывной работы прибора 8 часов.

#### Подготовка прибора к работе

Тумблер «СЕТЬ» установите в положение «выключено» (вниз).

Переключатели индикаторных декад для установки компенсирующего напряжения поставьте в нулевое (крайнее левое) положение. Переключатель поддиапазонов в положение «10 V».

Переключатель рода работы и чувствительности – в положение «V».

Замкните перемычками клеммы  $\ominus$  УПТ,  $\ominus$  U – (токовую с потенциальной),  $\ominus$  U + (токовую с потенциальной) и последнюю с клеммой  $\odot$  (Защитный экран для ослабления влияния помех). Нажмите кнопку «СБРОС» и присоедините сетевой кабель к прибору.

Включите прибор тумблером «СЕТЬ» и прогрейте его в течение 1 часа. Установите нуль-прибора, при этом:

- декадные переключатели – в нулевом положении;
- переключатель поддиапазонов – в положении «1 V»;

- переключатель чувствительности – в положение «10<sup>-6</sup>»;
- входные клеммы  $\rightarrow$  U замкните накоротко;
- выходные клеммы (потенциальные и токовые) замкнуты как при подготовке к работе и регулировкой отверткой (доступ через отверстие в верхней крышке прибора) установите нулевое показание на табло нуль-органа.

#### Работа прибора в режиме дифференциального вольтметра

При нажатой кнопке «СБРОС» снимите закорачивающую перемычку с зажимов  $\rightarrow$  U и подключите источник измеряемого напряжения с соблюдением полярности. Установите требуемый поддиапазон; переключатель чувствительности нуль-органа поставьте в положение «10<sup>-4</sup>».

Переключатель старшей индикаторной декады поставьте в положение, соответствующее значению старшего разряда измеряемого напряжения (в нулевом положении возможна перегрузка нуль-индикатора).

Нажмите кнопку «ПУСК» и декадными переключателями добейтесь нулевого показания нуль-органа.

Если измеряемое напряжение 10 В и более, достаточно работать с декадными переключателями первых 4-х разрядов.

При измерении напряжений менее 10 В для окончательного уравнивания используются и младшие 5 и 6 декады при чувствительности нуль-органа 10<sup>-5</sup> и 10<sup>-6</sup>.

В процессе уравнивания следите за знаком разности напряжений на табло нуль-органа: при знаке «+» увеличивайте отсчет, при знаке «-» – уменьшайте.

При индексации перегрузки нуль-органа  $\text{III}$  или  $\text{IV}$  устраните причину перегрузки декадными переключателями или понижением чувствительности нуль-органа (если она была 10<sup>-5</sup> или 10<sup>-6</sup>).

Отсчет значений измеряемого напряжения производится по индикаторам декадных переключателей при нулевом показании на табло нуль-органа

#### ВНИМАНИЕ!

- переключение поддиапазонов производите только при нажатой кнопке «СБРОС» (при этом отсутствует напряжение на выходных клеммах прибора);
- если длительно не использовался поддиапазон «1 V», при нажатой кнопке «СБРОС» поверните несколько раз до упора переключатель диапазонов, (этим уменьшается влияние переходного сопротивления переключателя на точность установки напряжения);
- при нажатой кнопке «СБРОС» горит индикатор «>>», при нажатой кнопке «ПУСК» гореть не должен.

# Работа № Э3

## ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ

Цель работы – изучить наиболее распространенные методы измерения сопротивлений и оценить их точность.

### Содержание работы

#### 1. Измерение сопротивлений методом амперметра и вольтметра

Возможные схемы включения амперметра и вольтметра при измерении сопротивлений представлены на рис. 5. Величина сопротивления определяется на основе закона Ома по измеренным значениям тока и падения напряжения на испытуемом сопротивлении. Для повышения точности пределы измерений амперметра и вольтметра выбирают так, чтобы отчеты показаний производились по второй половине шкалы. Ток в измеряемом сопротивлении не должен превосходить допустимого значения. Для большей надежности измерения следует производить при нескольких различных значениях тока.

В данной работе измерение каждого сопротивления необходимо произвести по обеим схемам рис. 5.

В отчет необходимо записать внутренние сопротивления амперметра  $R_A$  и вольтметра  $R_V$ .

По результатам измерений вычислить:

а) среднее значение измеренного сопротивления  $R_{cp}$  для каждой схемы включения;

б) действительные значения измеренных сопротивлений:  
для схемы рис. 5а –

$$R_x = \frac{R_{cp}}{1 - \frac{R_{cp}}{R_V}}$$

для схемы рис. 5б –

$$R_x = R_{cp} - R_A;$$

в) относительные методические погрешности:  
для схемы рис. 5а –

$$\delta_v = \frac{R_x}{R_V} \cdot 100\%;$$

для схемы рис. 5б –

$$\delta_A = \frac{R_A}{R_x} \cdot 100\%;$$

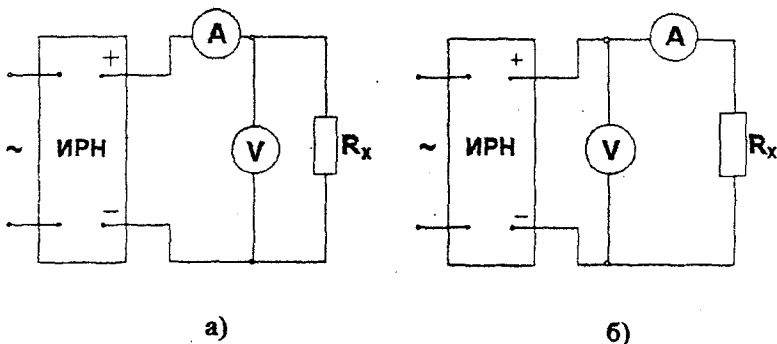


Рис. 5

г) относительные инструментальные погрешности

$$\delta_U = (\gamma_A \cdot K_A + \gamma_V \cdot K_V)\%,$$

где  $\gamma_A$  и  $\gamma_V$  – классы точности амперметра и вольтметра;

$K_A$  – отношение предела измерения амперметра к току при измерениях;

$K_V$  – то же для вольтметра.

Результаты измерений и расчетов представляют в виде табл. 10.

Таблица 10

	Схема «а»			Схема «б»		
V, В						
I, А						
R, Ом						
R <sub>ср</sub> , Ом						
R <sub>x</sub> , Ом						
$\delta_V, \delta_A, \%$						
$K_A$						
$K_V$						
$\delta_{и}, \%$						

## 2. Измерение сопротивлений с помощью четырехплечего моста постоянного тока

Мосты постоянного тока обеспечивают наравне с компенсаторами наибольшую точность измерения сопротивлений.

В соответствии с ГОСТ 7165-78 «Мосты постоянного тока измерительные» предел допускаемой погрешности мостов постоянного тока:



$$\delta = \pm \left[ c + d \left( \frac{R_k}{R} - 1 \right) \right] \% , \quad (1)$$

где  $c$  и  $d$  – постоянные, выбираемые из ряда 0,001; 0,002; 0,005; 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5, причем обычно  $0,01C < d < 0,1C$ ;  $R_k$  – наибольшее значение сопротивления в данном диапазоне измерения;  $R$  – значение измеряемого сопротивления.

Если  $d < 0,01C$ , предел допускаемой основной погрешности:

$$\delta = \pm c \% . \quad (2)$$

Класс точности моста определяется совокупностью коэффициентов  $c$  и  $d$ , если предел допускаемой основной погрешности определяется по формуле (1), или постоянной  $c$ , если предел допускаемой основной погрешности определяется по формуле (2).

Многодиапазонные мосты на разных диапазонах измерения могут иметь разные классы точности.

При выражении предела допускаемой основной погрешности моста формулой (1) класс точности обозначается числами  $c$  и  $d$ , разделенными косой чертой, например 0,005/0,001.

Если допускаемая основная погрешность нормируется по формуле (2), то класс точности обозначается числом  $c$ , помещенным в кружок, например, 0,1.

Схема четырехплечего моста показана на рис. 6. Первым плечом является измеряемое сопротивление  $R_x$ . Плечо сравнения  $R_4$  выполнено в виде многодекадного магазина, плечи отношения  $R_2$  и  $R_3$  – набор из 4 или 5 отдельных сопротивлений со штепсельными переключателями, в измерительную диагональ моста включен гальванометр с регулятором чувствительности. При равновесии моста

$$R_x = R_4 \frac{R_2}{R_3}$$

Обычно  $R_2$  и  $R_3$  выбирают равными  $10^n$ , где  $n$  – одно из чисел: 0, 1, 2, 3, 4. Тогда

$$\frac{R_2}{R_3} = 10^n$$

Здесь  $n$  – нуль и целые числа (положительные и отрицательные). Так, если  $R_2$  принимает значения 1; 10; 100; 1000; 10000 Ом, а  $R_3$  – соответственно 1; 10; 100; 1000; 10000 Ом, то  $n$  может иметь значения -4; -3; -2; -1; 0; +1; +2; +3; +4, т.е. обеспечивается 9 пределов измерения.

Плечо сравнения  $R_4$  обычно выполняется в виде пятидекадного магазина сопротивлений. Номинал сопротивлений младшей декады не менее 0,1 Ом (редко 0,01 Ом). Точность подгонки сопротивлений двух младших декад меньше, чем класс точности моста, поэтому при измерениях нужно использовать все декады сопротивления  $R_4$ .

### Выбор параметров моста

Для обеспечения точности измерений при выборе параметров моста необходимо руководствоваться следующими соображениями:

а) сопротивление  $R_4$  должно быть таким, чтобы использовались все знаки отсчета моста, т.е. все декады плеча сравнения;

б) при выборе сопротивлений  $R_2$  и  $R_3$  нужно с одной стороны, обеспечить требуемое отношение  $\frac{R_2}{R_3}$ , исходя из равенства

$$R_x = \frac{R_4 \cdot R_2}{R_3},$$

а с другой стороны, получить наибольшую чувствительность моста по мощности. Последнее требование удовлетворяется, если

$$\frac{R_{\min}}{R_x + R_2 + R_3 + R_4},$$

имеет наибольшее значение, где  $R_{\min}$  – наименьшее из сопротивлений плеч моста. Самым чувствительным является равноплечий мост, у которого это отношение равно 0,25;

в) напряжение питания моста  $U$  выбирается исходя из условия обеспечения наибольшей чувствительности моста и ограничения мощности, рассеиваемой на наиболее нагруженном плече. Рабочее напряжение моста указывается в документации или непосредственно на приборе.

### Порядок работы с мостом

Установив значения сопротивлений плеч и напряжение питания моста, замыкают ключ  $K_1$ . С помощью регулятора добиваются минимальной чувствительности гальванометра и только после этого замыкают ключ  $K_2$  и приступают к уравниванию моста. Переходить на более высокую ступень чувствительности можно лишь добившись минимального тока в измерительной диагонали. После изменения чувствительности гальванометра уравнивание моста должно продолжаться путем изменения сопротивления  $R_4$  в младших декадах. Если возникает потребность изменить состояние старших декад, чувствительность гальванометра должна быть обязательно предварительно уменьшена. В противном случае гальванометр может быть испорчен. Окончательное уравнивание моста осуществляется при наибольшей чувствительности гальванометра.

Необходимо строго следить за тем, чтобы при всех переключениях в схеме моста цепь гальванометра была разомкнута. Результаты измерений и расчетов должны быть представлены в виде таблицы.

### 3. Определение чувствительности моста

В данной работе следует определить чувствительность моста вместе с гальванометром. Для этого при самой высокой чувствительности гальванометра мост сначала уравнивают, а затем изменяют сопротивление плеча сравнения так, чтобы указатель гальванометра отклонился на целое число делений  $\Delta\alpha$  и записывают значение сопротивления  $R_4$ , его изменение  $\Delta R_4$  и отклонение указателя  $\Delta\alpha$ . Чувствительность к относительному изменению сопротивления вычисляют по формуле

$$S = \frac{\Delta\alpha}{\frac{\Delta R_4}{R_4}}$$

### 4. Измерение малых сопротивлений на двойном мосте

Образцовые катушки сопротивлением 1000 Ом и менее выполняют четырехзажимными (рис. 7). Крайние зажимы Т называются токовыми и служат для подвода тока к сопротивлению R. Для исключения влияния нестабильности переходных контактных сопротивлений токовых зажимов на разность потенциалов на образцовой катушке последнюю измеряют между потенциальными зажимами П.

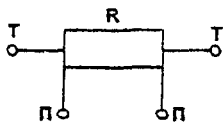


Рис. 7

Влияние переходных контактов особенно велико у малых сопротивлений. Поэтому их нельзя измерять четырехплечными мостами.

Для измерения малых сопротивлений ( $10^{+2} - 10^{-6}$ ), выполненных по четырехзажимной схеме, применяют двойные мосты. Принципиальная схема моста представлена на рис. 8. Условия равновесия моста

$$R_x = R_1 \frac{R_N}{R_2} + d,$$

где  $d = \frac{r}{R_3 + R_4 + r} \left( \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{R_2} \right)$  — добавочный член, включающий в себя

нестабильные сопротивления переходных контактов и соединительного провода ( $r$ ).

Для исключения  $d$  выполняют условие  $R_1 R_3 = R_2 R_4$ , причем  $R_1 = R_4$ ,  $R_2 = R_3$ .

В двойных мостах сопротивления  $R_2$  и  $R_3$  — штепсельные магазины с катушками, имеющими значения 10; 100; 1000; 10000 Ом. При работе эти два сопротивления устанавливают всегда равными между собой. Сопротивления  $R_1$  и  $R_4$  — два рычажных пятидекадных магазина сопротивлений 100; 10; 1; 0,1; 0,01 Ом, причем рукоятки их однозначных декад попарно соединены механически, так что постоянно соблюдается равенство  $R_1 = R_4$ . Поэтому уравнение равновесия двойного моста принимает вид:

$$R_x = R_1 \frac{R_N}{R_2} \quad (3)$$

Пренебрежение добавочным членом  $d$  влечет за собой некоторую погрешность  $\delta_d$  вследствие ограниченной точности подгонки сопротивлений  $R_1, R_2, R_3, R_4$ :

$$\delta_d = \frac{r}{R_x} \cdot \frac{K}{1 + K \cdot \sum_{i=1}^4 \delta_i},$$

где  $K = \frac{R_x}{R_N} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3}$ ;  $\delta_i$  - предельные погрешности подгонки сопротивлений плеч моста.

Отсюда видно, что для уменьшения погрешности  $\delta_d$  следует стремиться работать при больших значениях образцового сопротивления  $R_N$ , а следовательно, и  $R_2$  и  $R_3$ , что соответствует малым значениям  $K$ .

Выбор параметров двойного моста:

- а) сопротивление  $R_x$  примерно известно;
- б) сопротивление  $R_1$  выбирается так, чтобы использовались все знаки отсчета;

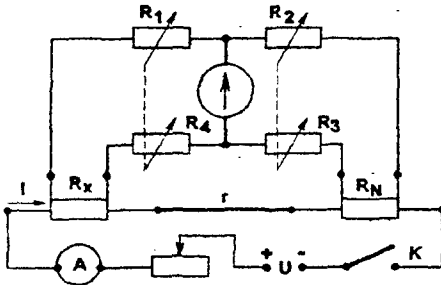


Рис. 8

- в) сопротивления  $R_N$  и  $R_2$  должны выбираться наибольшими из возможных, удовлетворяющих условию (3);

г) ток  $I$  ограничивается допустимой мощностью  $P_{доп}$ , рассеиваемой на сопротивлении  $R_N$  (или  $R_x$ , если последнее больше).

Порядок работы с двойным мостом такой же, как и с одинарным.

С помощью двойного моста необходимо измерить несколько сопротивлений по указанию преподавателя. Чтобы устранить влияние термо-э.д.с. на результаты измерения, уравновешивание моста вторично производят при другой полярности тока.

5. По данным п.п. 2,3 в отчете привести:

- а) выбор параметров мостов;
- б) результаты измерений;
- в) относительные погрешности измерений сопротивлений определяемые по классу точности моста.

## Работа № 94

### ИЗМЕРЕНИЯ ПОТЕНЦИОМЕТРОМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Потенциометры постоянного тока позволяют осуществить измерения с наивысшей точностью. Цель работы – ознакомиться с конструктивным выполнением, способами нормирования погрешности потенциометров и методикой выполнения измерений с их помощью.

Упрощенная схема потенциометра постоянного тока с ручным уравновешиванием показана на рис. 9.

На схеме обозначены: Б – батарея для питания рабочей цепи потенциометра;  $R_y$  – сопротивление для установки рабочего тока  $I_p$ ;  $R_t$  – сопротивление температурной декады для установки рабочего тока при температуре среды, отличной от 20 °С; R – сопротивление компенсационной измерительной цепи; П – переключатель для включения гальванометра либо в цепь объекта измерения (положение X) либо нормального элемента (положение НЭ).

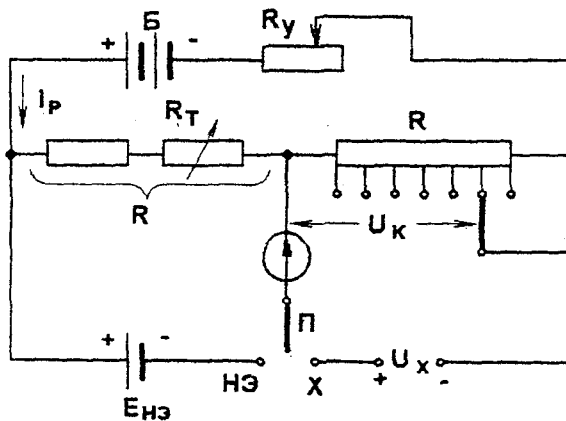


Рис. 9

У всех потенциометров декады сопротивлений  $R_y$ ,  $R_N$ , R и переключатель П находятся внутри корпуса прибора, ручки рычажных переключателей декад  $R_t$ ,  $R_y$  и R располагаются на панели прибора. Батарея Б, нормальный элемент, нулевой прибор могут быть и встроенными и подключаться снаружи к соответствующим зажимам. Для удобства работы при измерении нескольких напряжений потенциометры могут иметь две-три пары входных зажимов и переключатель для поочередного подключения измеряемых напряжений к компенсационной цепи потенциометра.

В соответствии с требованиями ГОСТ 9245-79 «Потенциометры постоянного тока измерительные» предел допускаемой основной погрешности потенциометров  $\delta$  определяется по формулам:

- для потенциометров с постоянной  $c = 0,0001 \dots 0,05$ :

$$\delta = \frac{\Delta U}{U} 100 = \pm \left[ c + d \left( \frac{U_H}{U} - 1 \right) \right] \% , \quad (4)$$

где  $d = 40 \frac{U_{мин}}{U_H}$ , если  $c = 0,0001 \dots 0,02$ ;

$$d = 50 \frac{U_{мин}}{U_H}, \text{ если } c = 0,05;$$

- для потенциометров с постоянной  $c = 0,1$ :

$$\delta = \frac{\Delta U}{U} 100 = \pm c \% . \quad (5)$$

Обозначения в формулах:  $U_H$  - верхний предел измерения (для каждого диапазона многодиапазонных потенциометров), В;  $U$  - показание потенциометра;  $U_{мин}$  - цена ступени младшей декады.

Значение постоянной  $c$  выбирается из ряда: 0,0001; 0,0002; 0,0005; 0,001; 0,002; 0,005; 0,01; 0,05; 0,1.

Класс точности потенциометров определяется совокупностью постоянных  $c$  и  $d$ , если предел допускаемой основной погрешности определяется по формуле (4), или постоянной  $c$ , если предел допускаемой основной погрешности определяется по формуле (5). В первом случае класс точности обозначается двумя числами, разделенными косой чертой, причем первое из этих чисел представляет собой значение  $c$ , а второе -  $d$  например 0,02/0,01. Во втором случае - 0,1, если ( $c=0,1$ ). Пределы измерения потенциометров невелики: до 100 мВ у низкоомных и до 2,1 В у высокоомных. Для расширения пределов измерения потенциометров применяются делители напряжения. У выходных зажимов делителей указываются либо коэффициенты деления (например, 1:10; 1:100), либо множители делителя ( $\times 10$ ,  $\times 100$ ).

В первом случае для определения измеряемого напряжения показание потенциометра умножают на величину, обратную коэффициенту деления, во втором - на множитель делителя. Номер класса точности делителя соответствует величине относительной погрешности коэффициентов деления (множителей) делителя, выраженной в процентах.

## Содержание работы

### 1. Измерение напряжений.

Прежде всего необходимо ознакомиться с устройством и техническими характеристиками потенциометра, используемого в данной работе и подготовить его к измерениям:

а) подключить к потенциометру измеряемое напряжение, нормальный элемент, источник питания (если нет встроенного) в соответствии с обозначенной на приборе полярностью, и гальванометр;

б) измерить температуру помещения и вычислить ЭДС нормального элемента

$$E_t = E_{20} - 40,6 \cdot 10^{-6} \cdot (t - 20) - 0,95 \cdot 10^{-6} \cdot (t - 20)^2 + 0,01 \cdot 10^{-6} (t - 20)^3 \text{ В,}$$

где  $E_{20}$  – ЭДС нормального элемента при температуре 20 °С (по паспорту);  
 $t$  – температура помещения, °С;

в) поставить рычаг переключателя температурной декады в положение, при котором число 1,018 вместе с числом на отсчетном устройстве этой декады соответствует вычисленному значению  $E_t$  нормального элемента;

г) установить рабочий ток потенциометра, для чего переключатель П поставить в положение «НЭ» и переключателями декад сопротивления  $R_u$  добиться нулевого показания гальванометра. После установки рабочего тока переключатель П ставят в положение «Х» и приступают к измерению  $U_x$ . Сначала при пониженной чувствительности гальванометра (переключатель шунта гальванометра в положении наибольшего коэффициента шунтирования, в цепь гальванометра включено балластное сопротивление) производят грубое уравнивание переключателями старших декад компенсационного сопротивления. Постепенно увеличивая чувствительность производят точное уравнивание переключателями младших декад. Чем больше чувствительность гальванометра, тем меньше ступени компенсационного сопротивления используют для уравнивания. Если при точном уравнивании возникает необходимость в изменении сопротивления старшей декады, то сначала уменьшают чувствительность гальванометра, затем изменяют положение переключателя старшей декады и снова уравнивают сначала грубо, потом точно при максимальной чувствительности гальванометра. Указанный порядок работы должен строго соблюдаться при всех измерениях.

При питании рабочей цепи потенциометра от нестабильного источника следует периодически проверять установку рабочего тока.

Если при измерении использовался делитель, то измеренное напряжение определяют по формуле

$$U_x = KU_n,$$

в которой  $U_n$  – показание потенциометра;  $K$  – множитель делителя.

Предел основной относительной погрешности измерения напряжения

$$\delta_x = \pm \frac{\Delta U_x}{U_x} 100 = \pm (\delta + \delta_{\text{нэ}}) \%,$$

где  $\delta$  – предел основной относительной погрешности потенциометра, вычисленный по формулам (4) или (5) в зависимости от класса точности;  $\delta_{нз}$  – предел относительной нестабильности ЭДС нормального элемента численно равный классу точности нормального элемента, %.

Если использовался делитель, то:

$$\delta_x = \pm \frac{\Delta U_x}{U_x} 100 = \pm (\delta + \delta_{нз} + \delta_D) \%.$$

Здесь  $\delta_D$  – относительная погрешность делителя напряжения, %.

## 2. Определение чувствительности потенциометра

После уравнивания потенциометра при измерении напряжения изменяют компенсирующее напряжение  $U_k$  на  $\Delta U_k$  так, чтобы указатель гальванометра отклонился на  $\Delta \alpha$  (не менее 10 делений). При этом чувствительность гальванометра должна быть максимальной. Чувствительность потенциометра с гальванометром:

$$S_{cp} = \frac{\Delta \alpha}{\Delta U_k} \cdot \frac{дел}{В}.$$

## 3. Измерение токов

Схема для измерения токов потенциометром приведена на рис. 10.

Амперметр включается для ориентировочного измерения тока. Для обеспечения наибольшей точности измерения необходимо выбрать образцовое сопротивление  $R_0$  так, чтобы падение напряжения на нем было возможно ближе к пределу измерения потенциометра.

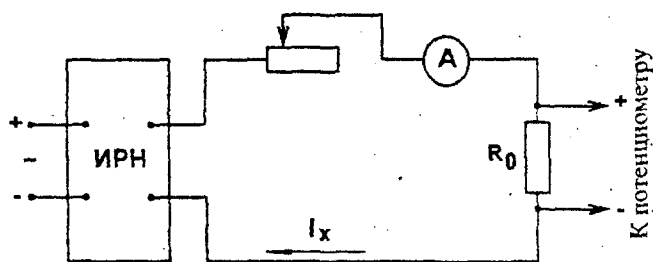


Рис. 10

В то же время измеряемый ток не должен превышать величины допустимого для образцовой катушки значения.

Предел основной относительной погрешности измерения тока потенциометром вычисляется по формуле



$$\delta_1 = \delta_x + \delta_{RO},$$

где  $\delta_{x0}$  – предел основной относительной погрешности измерения напряжения потенциометром, определяемый так же, как в п.1;  $\delta_{RO}$  – относительная погрешность образцового сопротивления  $R_0$ , численно равная классу точности катушки, %.

В отчете привести соображения по выбору сопротивления  $R_0$ .

#### 4. Измерение сопротивлений

Схема соединений при измерении сопротивлений изображена на рис. 11.

Для увеличения точности измерения сопротивление образцовой катушки  $R_0$  должно быть одного порядка с измеряемым сопротивлением  $R_x$ , а ток  $I$  таким, чтобы напряжение на  $R_x$  и  $R_0$  были близки к пределу измерения потенциометра. При выборе тока  $I$  необходимо также учесть допустимый ток по условиям нагрева для измеряемого и образцового сопротивлений. Напряжения с  $R_0$  и  $R_x$  ( $U_{RO}$  и  $U_{RX}$ ) подключаются к разным входам потенциометра  $X_1, X_2$ , и поочередно измеряются.

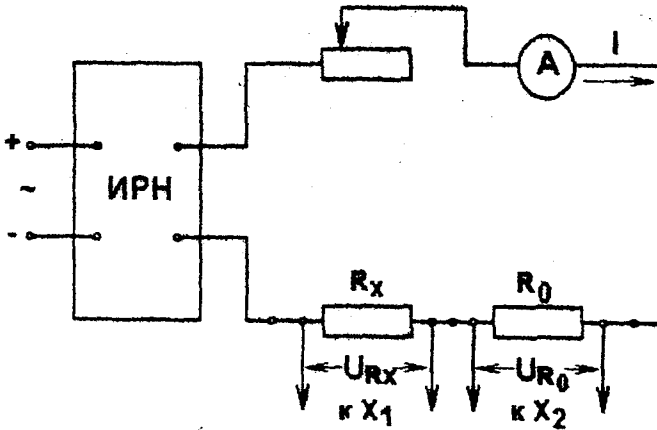


Рис. 11

Измеренное сопротивление вычисляется по формуле

$$R_x = R_0 \frac{U_{RX}}{U_{RO}}.$$

Предел основной относительной погрешности измерения сопротивления потенциометром

$$\delta_R = \delta_0 + \delta_x + \delta_{RO},$$

где  $\delta_0$  – предел основной относительной погрешности потенциометра при  $U_{RO}$ , вычисляемый по формулам (4) или (5), %;  $\delta_x$  – то же при измерении  $U_{RX}$ , %;

$\delta_{RO}$  – относительная погрешность образцовой катушки сопротивления  $R_0$  в процентах, численно равная ее классу точности.

В отчете привести соображения по выбору сопротивления  $R_0$  и тока.

## Работа № Э5 ИЗМЕРЕНИЯ 3-КОНТУРНЫМ ПОТЕНЦИОМЕТРОМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Технические данные потенциометра Р-363

1. Класс точности потенциометра 0,005 ;
2. Верхний предел измерения 2,121111 V;
3. Измерительный блок содержит семь декад. Значения ступеней декад:
  - I.  $20 \times 100 \text{ mV}$ .
  - II.  $11 \times 10 \text{ mV}$ .
  - III.  $10 \times 1 \text{ mV}$ .
  - IV.  $10 \times 0,1 \text{ mV}$ .
  - V.  $10 \times 0,01 \text{ mV}$
  - VI.  $10 \times 0,001 \text{ mV}$
  - VII.  $10 \times 0,0001 \text{ mV}$
4. Расширение предела измерения до 1000 V производится с помощью делителей напряжения.
5. Предел допускаемой основной погрешности показаний потенциометра в вольтах не превышает значений определяемых по формуле

$$\Delta U = \pm(50U + 0,04)10^{-6} ,$$

где  $U$  – показание потенциометра, V.

6. Потенциометр выполнен в виде трех блоков : измерительного БИ, фотогальванического преобразователя с блоком управления АК и фотоусилителя.

### Принцип работы потенциометра

Упрощенная принципиальная схема компенсационных цепей потенциометра приведена на рис. 12.

Компенсационная цепь состоит из трех контуров А, В, С, потенциальные цепи которых соединены последовательно. Все измерительные декады имеют два ряда независимых декадных переключателей, обозначенных на схеме  $X_1$  и  $X_2$ . Это позволяет производить измерение одного напряжения, поданного на вход  $X_1$ , с помощью декадных переключателей ряда  $X_1$ , затем, оставив положение этих переключателей неизменным, измерить второе неизвестное на-

пряжение, поданное на вход  $X_2$  помощью декадных переключателей ряда  $X_2$ . Это упрощает и ускоряет повторные измерения.

Индикатором некомпенсации является фотогальванометрический преобразователь с выходным стрелочным микроамперметром в блоке АК. На передней панели блока АК расположен переключатель чувствительности, позволяющий менять цену деления микроамперметра от  $10^{-1}$  до  $10^{-8}$  В/дел. При нажатии кнопки ИЗМЕРЕНИЕ блок АК подключается к измерительной цепи.

Каждый измерительный контур содержит переменные резисторы  $R_{y}$ , с помощью которых производится настройка токов в контурах. В контуре А настройка

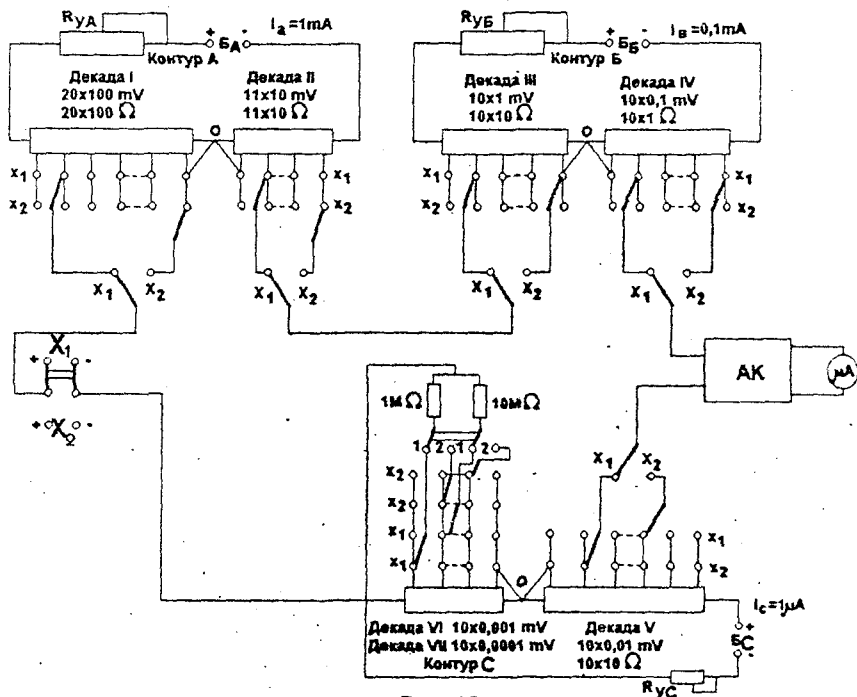


Рис. 12

тока  $I_A$  производится по нормальному элементу. Установочное сопротивление  $R_{yA}$  рассчитано на использование нормальных элементов с э.д.с. от 1,0180 до 1,0191 В.

В контуре В настройка токов  $I_B$  производится сравнением напряжения на 10 ступенях III декады с напряжением первой ступени II декады.

В контуре С сравнением напряжения на 10 ступенях V декады с напряжением на первой ступени IV декады.

Схемы включения НЭ и АК при установке токов в контурах на рис. 12 не показаны.

В контуре С использован принцип наложения токов. Токораспределительные сопротивления, соединенные с декадными переключателями VI и VII декад обеспечивают отсчет двух последних разрядов компенсирующего напряжения с помощью только одной декады резисторов  $10 \times 10 \Omega$ .

#### Подготовка прибора к работе

1. Установите стрелку микроамперметра на блоке АК на левую отметку шкалы механическим корректором микроамперметра.
2. Включите усилитель в сеть 220 В, 50 Гц и прогрейте в течении 60 минут.
3. На блоке АК отожмите кнопки ИЗМЕРЕНИЕ, ШУНТ АК и  $O_1 O_2 O_3$ .
4. Установите ручки  $O_1$  и  $O_2$  примерно в среднее положение.
5. Установите стрелку микроамперметра на нулевую отметку механическим корректором усилителя (находится на лицевой панели усилителя).
6. Установите ручку  $O_1$  в среднее положение.
7. Установите стрелку микроамперметра на нулевую отметку ручками  $O_2$  и  $O_3$ , постепенно повышая чувствительность от  $10^{-1}$  до  $10^{-8}$  V.
8. Установив переключатель чувствительности в положение  $10^{-6}$  V, нажмите кнопку  $O_1 O_2 O_3$  и установите стрелку микроамперметра на нулевую отметку ручкой  $O_1$ . Отпустите кнопку  $O_1 O_2 O_3$ .

На блоке БИ установите ручку НАПРАВЛЕНИЕ ТОКА в положение 1, ручку АВТОНОМНАЯ ПОВЕРКА в положение 0. Это положение не меняйте в течение всей данной работы. Все декадные переключатели установите на 0. Измерьте температуру помещения и вычислите э.д.с. нормального элемента

$$E_t = E_{20} - 40,6 \cdot 10^{-6} (t-20) - 0,95 \cdot 10^{-6} (t-20)^2 \text{ V,}$$

где  $E_{20}$  – э.д.с. нормального элемента при температуре 20 °С (по паспорту НЭ);

$t$  – температура помещения, °С.

На температурной декаде и реохорде нормального элемента установите рассчитанное значение э.д.с.  $E_t$ .

#### Настройка токов

а) В контуре А.

Ручку НАПРАВЛЕНИЕ ТОКА установите в положение 1, ручку переключателя рода работы в положение Ia. Ручки многооборотных (50 оборотов) переменных резисторов настройки токов Ia в среднее положение. Нажмите и зафиксируйте кнопку ИЗМЕРЕНИЕ на блоке АК. Ручка ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ в начальном положении  $10^{-1}$  V. Постепенно увеличивая чув-

ствительность до  $10^{-6}$  V, ручками переменных резисторов  $I_a$  добейтесь нулевого показания микроамперметра. Верните ручку ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ в положение  $10^{-1}$  V.

Переведите ручку НАПРАВЛЕНИЕ ТОКА в положение К и увеличивайте чувствительность до  $10^{-6}$  V. Если при этом указатель микроамперметра отклонится на  $\alpha$  делений, ручками переменных резисторов  $I_a$  установите стрелку на отметку  $\alpha/2$  и, регулируя ток  $I_a$  добейтесь, чтобы при переключении с I во II стрелка микроамперметра оставалась на одной и той же отметке шкалы – подстройка тока на среднее значение  $\alpha/2$  – рабочий ноль. На точность измерения рабочий ноль не влияет, поскольку его величина при двух направлениях тока войдет в результат измерения с разными знаками.

#### б) В контуре В.

Настройка тока  $I_b$  в производится в такой же последовательности, как и в контуре А, при двух направлениях тока переменными резисторами,  $I_b$  увеличивая чувствительность до  $10^{-7}$  V.

#### в) В контуре С.

Настройка переменными резисторами  $I_c$  также при двух направлениях тока при увеличении чувствительности до  $10^{-8}$  V.

После настройки токов потенциометр готов к измерениям. В данной работе должны быть измерены напряжение, ток и сопротивление.

### Измерения на потенциометре

При всех измерениях следует соблюдать правила пользования переключателем чувствительности:

- начальное положение переключателя чувствительности  $10^{-1}$  V кнопка ИЗМЕРЕНИЕ отжата;
- по мере уравнивания чувствительность увеличивают до значений указанных в руководстве;
- любые переключения на БИ, не опасаясь перегрузки АК, можно производить снизив чувствительность АК до  $10^{-1}$  V при нажатой кнопке ИЗМЕРЕНИЕ;
- кнопка ИЗМЕРЕНИЕ отжимается после окончания измерений или при периодической корректировке положения нуля ручками  $O_2$  и  $O_3$ ;
- если при чувствительности АК  $10^{-7}$  и  $10^{-8}$  V наблюдается неустойчивая работа усилителя, нажмите кнопку ШУНТ.

### Измерение напряжения

#### а) Напряжение не более 2,121111 В.

Подключите измеряемое напряжение, соблюдая полярность к зажимам  $X_1$  блока БИ. Нажмите и зафиксируйте кнопку ИЗМЕРЕНИЕ на блоке АК. Увеличивая чувствительность АК уравновесьте измеряемое напряжение ручками декадных переключателей ряда  $X_1$ .

Измерение сопротивления производится в следующей последовательности:

- выбрать требуемое значение тока  $I$  и  $R_0$ ;
  - на декадных переключателях ряда  $X_1$  (переключатель рода работы в положении  $X_1$ ) установить значение напряжения равное  $U_0 = IR_0$ ;
  - нажать и зафиксировать кнопку ИЗМЕРЕНИЕ и, постепенно увеличивая чувствительность АК, отрегулировать ток  $I$  с помощью  $R_p$  (рис. 3) до нулевого положения указателя АК;
  - переключатель ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ вернуть в положение  $10^{-1}$  кнопку ИЗМЕРЕНИЕ отжать;
  - переключатель рода работы поставить в положение  $X_2$ , нажать и зафиксировать кнопку ИЗМЕРЕНИЕ;
  - постепенно увеличивая чувствительность измерить напряжение  $U_x$  с помощью декадных переключатель ряда  $X_2$ .
- Измеряемое сопротивление определяется по формуле

$$R_x = \frac{U_x}{U_0} \cdot R_0,$$

где  $U_x$  - напряжение отсчитываемое по ряду  $X_2$  в мВ;  $U_0$  - напряжение отсчитываемое по ряду  $X_1$ , в мВ;  $R_0$  - сопротивление измерительной катушки в омах.

Предел относительной погрешности измерения сопротивления

$$\delta_R = \delta_{U_x} + \delta_{U_0} + \delta_0,$$

где  $\delta_{U_x}$  и  $\delta_{U_0}$  - относительные погрешности показаний потенциометра по его классу точности;  $\delta_0$  - относительная погрешность измерительной катушки, численно равная по классу точности.

Погрешность из-за нестабильности э.д.с. нормального элемента учитывать не нужно.

В отчете привести соображения по выбору сопротивления измерительной катушки и тока  $I$ .

## Работа № Э6

### ИЗМЕРЕНИЕ ЕМКОСТИ И ИНДУКТИВНОСТИ МОСТАМИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Мостовые методы на переменном токе дают возможность обеспечить высокую точность измерений индуктивности, емкости, добротности, тангенса угла потерь, активного сопротивления и активной проводимости.

ГОСТ 9486-79 «Мосты переменного тока измерительные. Общие технические условия» устанавливает следующие классы точности мостов переменного тока: 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 4; 5.

Предел допускаемой основной погрешности мостов при измерении емкости и индуктивности, выраженной в процентах от значения измеряемой величины, определяется по формуле

$$\delta_1 = \pm c,$$

где  $c$  – класс точности моста.

В мостах с тремя и более диапазонами измерения может быть два-четыре класса точности. Предел допускаемой основной погрешности на крайних диапазонах измерения

$$\delta_2 = \pm \left( c + \frac{d}{X} \right),$$

где  $d$  – постоянное число из ряда (1; 1,5; 2; 2,5; 4; 5; 6)  $\cdot 10^n$ , где  $n = 1; 0; -1; -2; -3; -4$ ;  $X$  – числовое значение измеряемой емкости в микрофарадах или индуктивности в микрогенри.

За класс точности многопредельного моста принимают класс наиболее точного диапазона, где  $\delta_1 = \pm c$ .

На каждом диапазоне измерения мосты имеют нормальную частоту (или область частот) или фиксированные рабочие частоты для каждой измеряемой величины.

Основные технические характеристики мостов переменного тока – пределы измерений, диапазон рабочих частот, формулы для вычисления погрешностей измерения – приводятся в технической документации и на щитке прибора.

#### Схемы и работа моста

Основными блоками мостов переменного тока являются: измерительная схема, указатель равновесия (нуль-индикатор переменного тока), генератор и блок питания.

В универсальных мостах измерительная схема позволяет осуществить измерение емкости и индуктивности при последовательной и параллельной

схемах замещения и омического сопротивления на постоянном и переменном токах.

Характер плеч измерительной схемы моста и регулируемые параметры выбираются с таким расчетом, чтобы получить лучшую сходимость, обеспечить отдельный отсчет измеряемых величин и исключить влияние нестабильности частоты генератора на равновесие схемы. Наиболее распространенные схемы мостов переменного тока показаны на рис. 15, 16, 17. В специальных случаях для защиты от токов утечек используются дополнительные симметрирующие цепи.

Переход от одной схемы к другой осуществляется с помощью специального переключателя. При этом удается в разных схемах максимально использовать одни и те же регулируемые элементы.

Рассмотрим, как осуществляется выбор регулируемых элементов для различных схем моста.

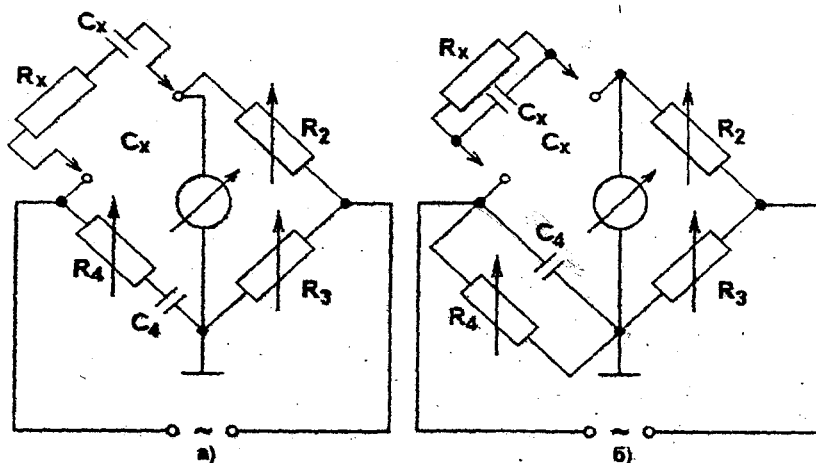


Рис. 15

Для схемы рис. 15а из условий равновесия имеем:

$$C_x = R_3 \frac{C_4}{R_2}, \quad \operatorname{tg} \delta_x = \omega \cdot R_4 \cdot C_4$$

Раздельный отсчет  $C_x$  целесообразно осуществить по положению переключателя сопротивления  $R_3$ , а  $\operatorname{tg} \delta$  — по положению переключателя сопротивления  $R_4$ , ступенчатое изменение  $R_2$  и  $C_4$  обеспечивает переключение пределов измерения.

Для схемы рис. 15б условия равновесия:



$$C_x = R_3 \frac{C_4}{R_2}, \quad \operatorname{tg} \delta_x = \frac{1}{\omega \cdot R_4 C_4}.$$

Легко видеть, что для отсчета значений  $C_x$  целесообразно выбрать переменным  $R_3$ , а для отсчета значений  $\operatorname{tg} \delta_x$  — переменное  $R_4$ .

Сравнивая схемы 15а и 15б следует отметить, что при параллельной схеме замещения емкости шкала  $R_4$  является линейной относительно  $\frac{1}{\operatorname{tg} \delta_x}$ .

Для схемы рис. 16а условия равновесия:

$$L_x = R_2 R_4 C_3,$$

$$Q_x = \omega \cdot R_3 C_3.$$

Для обеспечения раздельного отсчета значений  $L_x$  и  $Q$  регулируемыми параметрами следует принять  $R_4$  и  $R_3$ . Ступенчатое изменение  $R_2$  обеспечивает изменение пределов измерения  $L_x$ .

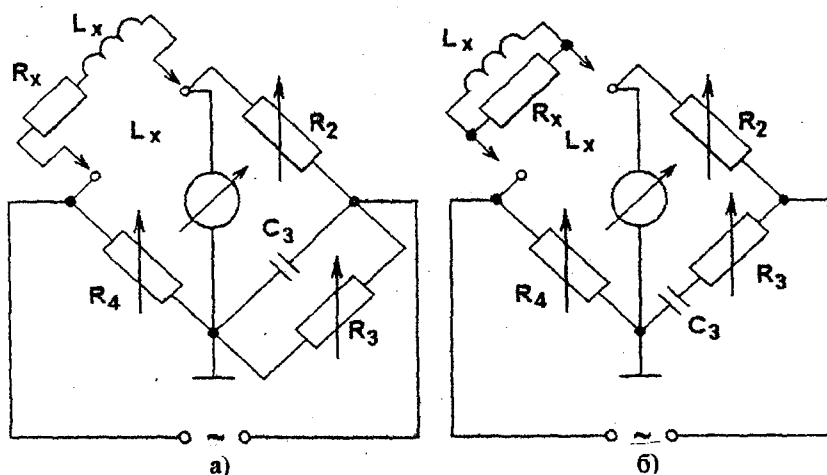


Рис. 16

Условия равновесия для моста с параллельной схемой замещения индуктивности (рис. 16б):

$$L_x = R_2 R_4 C_3,$$

$$Q_x = \frac{1}{\omega \cdot R_3 \cdot C_3}.$$

Для обеспечения отдельного отсчета  $L_x$  и  $Q$  здесь также необходимо выбрать в качестве регулируемых параметров  $R_4$  и  $R_3$ . В этом случае шкала  $R_4$  линейна относительно  $L_x$ , а шкала  $R_3$  — относительно  $\frac{1}{Q}$ .

Шкалы  $Q$  и  $tg\delta$  градуируют при фиксированном значении частоты, например, 1 кГц. При питании моста от генератора с другой частотой в результаты измерений необходимо вносить коррективы.

В мостах некоторых типов изменяется градуировка шкал  $tg\delta$  и  $Q$  и при переходе с одного предела измерения на другой. Масштабные коэффициенты пересчета измеренных значений  $Q$  и  $tg\delta$  приводятся в инструкциях по эксплуатации.

Измерение сопротивлений  $R_x$  на постоянном или переменном токе осуществляется по схеме рис. 17. Из условия равновесия

$$R_x = R_4 \frac{R_2}{R_3}.$$

Плечом сравнения может быть  $R_4$  (или  $R_2$ ), а плечи  $R_2$  и  $R_3$  (или  $R_4$  и  $R_3$ ) образуют плечи отклонений, с помощью которых меняют пределы измерения.

Питание мостов переменного тока осуществляется от внешнего или встроенного генератора с частотами от 20 Гц до 10 кГц. В отдельных конструкциях генератор снабжается переключателем поддиапазонов и устройством плавной регулировки частоты и напряжений.

В качестве указателя равновесия в мостах переменного тока используют либо микроамперметр, включенный с избирательным усилителем и выпрямителем, либо электроннолучевой нуль-индикатор, например, типа Ф582.

На рабочую панель прибора вынесены все регулирующие устройства и переключатели:

– переключатель выбора рабочей схемы;

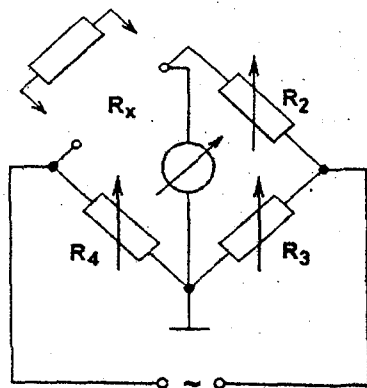


Рис.17

- переключатель диапазона измерения;
- ручки отсчетного устройства RLC для уравнивания моста по этим параметрам;
- ручки отсчетного устройства  $Q$ ,  $tg\delta$  (или  $\frac{1}{Q}$  и  $\frac{1}{tg\delta}$ ) для уравнивания моста по тангенсу угла потерь и добротности;
- ручка регулировки чувствительности нуль-индикатора;
- зажимы для подключения объекта измерения, выключатель питания и др.

### Порядок работы с мостом

1. Ознакомиться с устройством моста.
2. Подсоединить кабелем к зажимам «RLC» объект измерения.
3. Установить минимальную чувствительность нуль-индикатора.
4. Подключить мост к сети 220 В 50 Гц.
5. Включить требуемую схему измерения с помощью переключателя выбора схем.
6. Установить предполагаемый диапазон измерения RLC.
7. Ручки отсчетного устройства «RLC» установить в среднее положение.
8. Уравновесить мост поочередным вращением ручек «RLC» и « $tg\delta$ » при постепенном увеличении чувствительности нуль-индикатора до такого значения, при котором расстройка моста на величину, численно равную половине предела допускаемой основной погрешности, вызывала бы отклонение указателя нуль-индикатора не менее чем на 0,5...1 мм.
9. Произвести отсчет измеренных значений RLC с учетом выбранных диапазонов измерения.
10. При снятии показаний по шкале « $tg\delta Q$ » следует учесть рекомендации, изложенные в инструкции по эксплуатации прибора.

### Содержание работы

По указанию руководителя необходимо измерить значения емкости, индуктивности, сопротивления на различных диапазонах измерения моста и по паспортным характеристикам оценить погрешности каждого результата.

В отчете следует привести эквивалентные схемы моста переменного тока, формулы нормирования его погрешностей на разных пределах, результаты измерений и их погрешности.

# Работа № 37

## ИЗМЕРЕНИЯ КОМПЕНСАТОРОМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

### Устройство и основные характеристики прямоугольно-координатных компенсаторов

Компенсаторы переменного тока предназначены для определения в прямоугольных координатах составляющих комплексных сопротивлений, электродвижущих сил, напряжений, фазовых углов и других параметров переменного тока, которые могут быть преобразованы в пропорциональные им ЭДС или напряжения.

Упрощенная схема прямоугольно-координатного компенсатора показана на рис. 18. Компенсатор работает по компенсационному методу путем уравновешивания составляющих измеряемого напряжения двумя напряжениями указанными на отсчетных устройствах компенсатора – одного, находящегося в фазе с рабочим током  $\dot{I}_p$  (синфазная измерительная цепь – ось X) и другого, сдвинутого по фазе на угол 90 град. по отношению к рабочему току (квадратурная измерительная цепь – ось Y). С помощью переключателей  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  обеспечивается возможность измерения вектора напряжения во всех четырех квадрантах координатной плоскости.

Измеряемое напряжение и рабочий ток компенсатора должны иметь строго одинаковую частоту. Поэтому питание компенсатора осуществляется от той же сети переменного тока, в которой производятся измерения. Цепь рабочего тока должна быть изолирована от цепи питания измеряемого объекта, так как в противном случае обе цепи оказываются связанными между собой не только потенциальными проводами, но и через питающие цепи. Это может привести к коротким замыканиям и порче прибора. Электрическое разделение измерительной цепи и источника питания достигается с помощью многообмоточного трансформатора типа И57. Секционированная вторичная обмотка позволяет получить напряжения от 3 до 36 В при токах от 12,5 до 50 А. Схема включения трансформатора представлена на его панели. Номинальный рабочий ток компенсатора равен 0,5 А, пределы измерения по каждой составляющей напряжения – 1,6 и 0,16 В. Расширение пределов измерения осуществляется с помощью делителя напряжения.

При изменении частоты питающего тока изменяется и ток в квадратурной цепи  $\dot{I}_2 = j\omega \cdot M_0 I_p / R_2$ , а с ним и масштаб напряжения. Чтобы этого не случилось, необходимо постоянно выполнять условие  $f / R_2 = const$ . Каждому значению частоты должно соответствовать вполне определенное значение сопротивления  $R_2$  квадратурной цепи. Регулирование  $R_2$  осуществляется с помощью магазина сопротивлений  $r_f$  (рис. 18). Против каждого положения рукоятки  $r_f$  указывается соответствующая ему частота тока питания. Диапа-

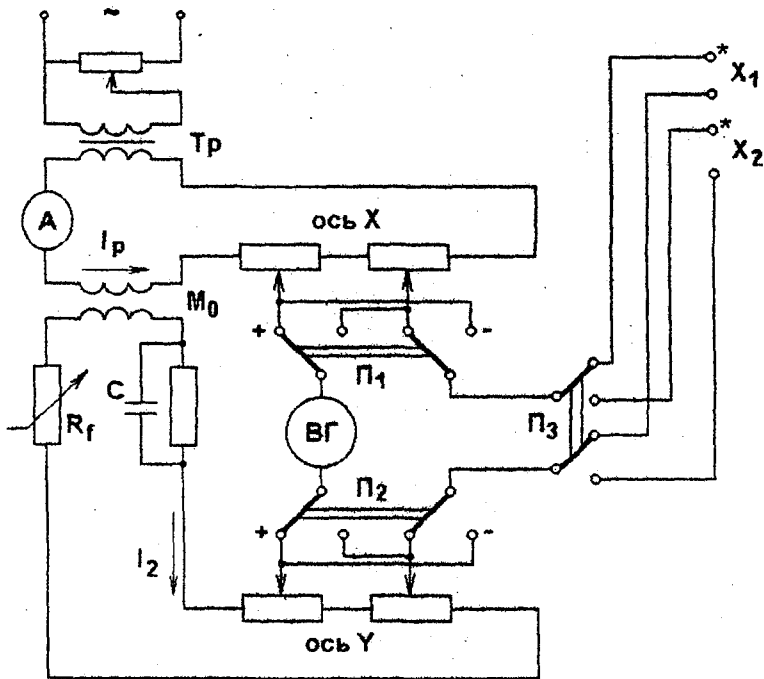


Рис. 18

зон частот для потенциометров переменного тока равен 40...60 Гц. Некоторые компенсаторы имеют кроме того еще область частот 100...10 000 Гц. Компенсатор имеет два входа  $X_1$  и  $X_2$ , которые через переключатель  $\Pi_3$  могут поочередно подключаться к измерительной цепи. В качестве указателя равновесия могут использоваться вибрационные (резонансные) гальванометры, либо электроннолучевые нуль-индикаторы типа Ф5046/1.

Классы точности прямоугольно-координатных компенсаторов и соответствующие им пределы допускаемых основных погрешностей для каждой из составляющих компенсирующего напряжения по ГОСТ 11921-78 «Компенсаторы переменного тока» приведены в табл. 11.

#### Порядок работы с компенсатором

- а) Рукоятка переключателя частотной регулировки должна быть установлена на значение, соответствующее частоте сети.
- б) Перед включением в сеть регулирующее устройство в цепи питания должно находиться в положении, соответствующем минимальному току.

Класс точности потенциометра	Предел допускаемой основной погрешности	
	относительной компенсирующего напряжения, %	абсолютной фазовой, рад
0,05/0,02	$[0,05+0,02(\frac{X_k}{x}-1)]$	$\pm 0,001$
0,1/0,04	$[0,1+0,04(\frac{X_k}{x}-1)]$	$\pm 0,002$
0,25/0,1	$[0,25+0,1(\frac{X_k}{x}-1)]$	$\pm 0,005$
0,5/0,2	$[0,5+0,2(\frac{X_k}{x}-1)]$	$\pm 0,005$
1/0,4	$[1,0+0,4(\frac{X_k}{x}-1)]$	$\pm 0,01$
1,5/0,6	$[1,5+0,6(\frac{X_k}{x}-1)]$	$\pm 0,015$
2,5/1	$[2,5+(\frac{X_k}{x}-1)]$	$\pm 0,25$

в) Регулятором чувствительности нуль-индикатора устанавливается минимальная чувствительность.

г) Переключатели пределов измерения компенсатора следует установить в положение  $x_1$ .

д) Переключатели знаков находятся в безразличном положении.

е) Переключатели « $X=0$ » и « $Y=0$ » должны быть установлены в положение «Вкл.ХУ». В другие положения эти переключатели ставятся лишь при отсутствии в сигнале соответствующей составляющей.

ж) Переключатель « $X_1 - X_2$ » ставится в нужное положение.

з) Компенсатор включается в сеть и регулирующим устройством устанавливается рабочий ток, равный 0,5 А.

и) Включив регулятор чувствительности нуль-индикатора на первую ступень, поочередным вращением рукояток то одной, то другой оси добиваются отсутствия отклонения указателя нуль-индикатора, постепенно увеличивая его чувствительность.

Если при уравнивании схемы напряжение по одной из осей приближается к нулю, то следует переключить знак этой составляющей.

л) Если по одной из осей на пределе измерения « $x_1$ » отсчет получается лишь по шкале реохорда, то переключатель пределов измерения по этой оси следует перевести в положение « $x_{0,1}$ » и уравнивание провести повторно.

## Содержание работы

### 1. Измерение взаимной индуктивности

Учитывая, что выходная ЭДС  $\dot{E}_2$  катушки взаимной индуктивности связана с первичным током  $\dot{I}_1$  соотношением,  $\dot{E}_2 = -j\omega \cdot M \dot{I}_1$ , можно определить взаимную индуктивность, измерив компенсатором ток  $\dot{I}_1$  и ЭДС  $\dot{E}_2$ . Однако измерения и обработку результатов можно существенно облегчить, если совместить по фазе ток  $\dot{I}_1$  с рабочим током компенсаторов  $\dot{I}_p$ . Это может быть достигнуто применением точного трансформатора тока типа И55/1, первичная обмотка которого включена последовательно с первичной обмоткой катушки взаимной индуктивности, а вторичная питает компенсатор (рис. 19).

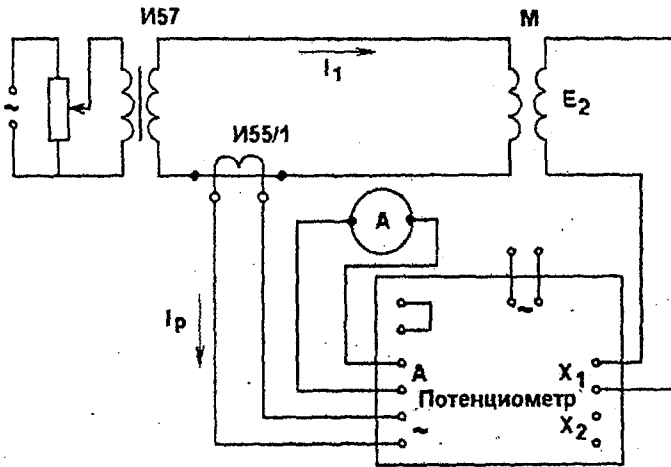


Рис. 19

Отличительной особенностью трансформатора И55/1 от других лабораторных трансформаторов тока является величина номинального вторичного тока, равная 0,5 А, вместо 5А у обычных трансформаторов.

При наличии трансформатора отпадает также необходимость поддерживать строго постоянной величину рабочего тока. Уравновешивание схемы в принципе может быть достигнуто лишь одной регулировкой  $U_p$ , так как ЭДС  $\dot{E}_2$  и ток  $\dot{I}_1$  ( $\dot{I}_p$ ) находятся в квадратуре. Наличие погрешности квадратуры потенциометра приводит к тому, что синфазная составляющая  $U_x \neq 0$ , хотя и мала. Это вызывает необходимость регулировки и синфазной составляющей.

Ток  $I_1$  должен быть выбран таким, чтобы ЭДС  $E_2$  была согласована с пределами измерения потенциометра без использования делителя напряжения:

$$I_1 \leq \frac{U_k}{\omega \cdot M},$$

где  $U_k$  - предел измерения компенсатора по одной оси. С другой стороны, ток  $I_1$  не должен превышать допустимого значения для используемой катушки взаимной индуктивности. Рассчитанный ток  $I_1$  необходимо уменьшить до ближайшего номинального значения первичного тока многопределного трансформатора тока И55/1. Это предопределяет и выбор предела измерения трансформатора тока И55/1.

По результатам опыта вычислить измеренное значение взаимной индуктивности.

## 2. Измерение комплексных сопротивлений

Предпочтительная схема соединений при измерении показана на рис. 20.

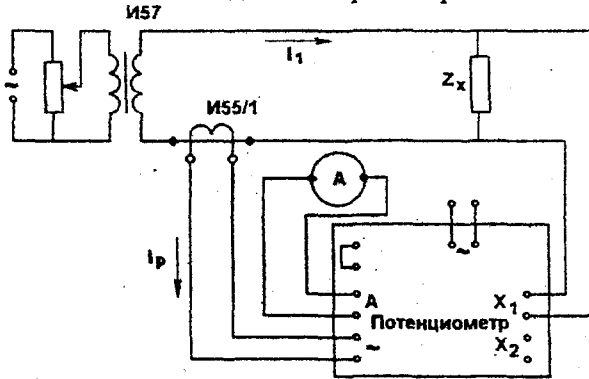


Рис. 20

Здесь как и в предыдущем случае, компенсатор питается через трансформатор тока от исследуемой цепи. Активная составляющая измеряемого напряжения совпадает с осью X потенциометра и определяет активную составляющую сопротивления  $R_x$ . Полагая, что токи  $I_1$  и  $I_p$  связаны соотношением  $I_1 = K_1 I_p$ , получаем

$$R_x = \frac{U_x}{K_1 I_p}, \quad X = \frac{U_y}{K_1 I_p}$$



Поддержание строгого постоянства тока  $I_p$  здесь также не требуется, если параметры  $R_x$  и  $X$  не зависят от тока. Ориентировочное значение тока  $I_1$  определяют по формуле  $I_1 \leq \frac{U_k}{Z_x}$  и далее округляют его таким же образом, как и в п. 1.

Если применить указанную схему по каким-либо причинам не удастся, то измерения производят при последовательном включении испытуемого сопротивления  $Z_x$  и образцового безреактивного сопротивления  $R_0$  (рис. 21).

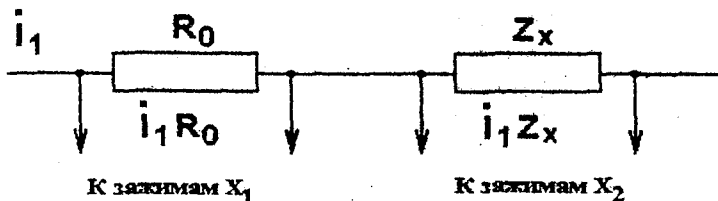


Рис. 21

Тогда, измеряя компенсатором падения напряжений на сопротивлениях  $R_0$  и  $Z_x$  и используя систему уравнений:

$$I_1 R_0 = U_{x1} + jU_{y1};$$

получаем

$$I_1 Z_x = I_1 (R_x + jx) = U_{x2} + jU_{y2},$$

$$R_x + jx = R_0 \frac{U_{x2} + jU_{y2}}{U_{x1} + jU_{y1}}.$$

Во время опыта требуется строгая стабилизация токов  $I_1$  и  $I_p$ .

По результатам опыта вычислить активную и реактивную составляющие измеряемого комплексного сопротивления, модуль его и  $\cos\phi$ .

### 3. Снятие векторной диаграммы силового трансформатора

При холостом ходе испытуемого трансформатора необходимо измерить векторы первичного  $U_1$  и вторичного  $U_2$  напряжений, тока  $I_o$ , используя безреактивные шунты и делители напряжения (рис. 22). Для определения вектора магнитной индукции  $B$  в сердечнике трансформатора измеряют без использования делителей ЭДС дополнительную вторичную обмотку с малым числом витков  $W_3$ . При необходимости можно снять кривую  $B=f(H)$  сердечника трансформатора. Включив во вторичную обмотку трансформатора нагрузку, измерив векторы:

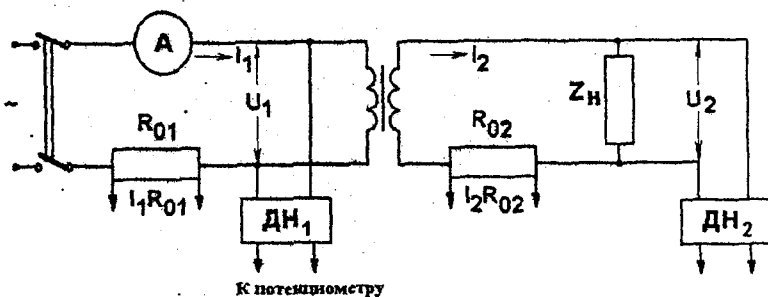


Рис. 22

первичного напряжения  $\dot{U}_1$  и  $\dot{I}_1$  тока,

вторичного напряжения  $\dot{U}_2$  и тока  $\dot{I}_2$ ,

вектор ЭДС  $\dot{E}_3$  дополнительной обмотки  $W_3$ .

Коэффициенты деления делителей напряжения и сопротивления шунтов выбирают, сообразуясь с пределами измерения компенсатора и данными испытуемого трансформатора.

По результатам опыта вычислить:

а) магнитный поток и магнитную индукцию в сердечнике трансформатора

$$\Phi_m = \frac{E_3}{4,44 f \cdot W_3}, \quad B_m = \frac{\Phi_m}{S},$$

S – сечение стали;

б) модули векторов напряжений и токов;

в) приведенные значения параметров вторичной обмотки трансформатора

$$\dot{U}_2 = U_2 K, \quad \dot{I}_2 = I_2 / K$$

где  $K = \frac{W_1}{W_2}$  – отношение чисел витков первичной  $W_1$  и вторичной  $W_2$  обмоток испытуемого трансформатора.

Построить векторную диаграмму трансформатора на холостом ходу и при нагрузке. Следует иметь в виду, что каждый из измеренных векторов может оказаться повернутым на  $180^\circ$  относительно своего истинного положения. Чтобы вектор занял правильное положение, необходимо поменять местами провода, подключенные к входным зажимам. Поэтому рекомендуется наносить векторы на диаграмму непосредственно во время эксперимента.

Пользуясь данными табл. 11, вычислить относительные погрешности измерения каждой составляющей компенсирующих напряжений. Опытные и расчетные данные представить в виде таблицы.

## Работа № 38

### ИССЛЕДОВАНИЕ ДИОДНЫХ АМПЛИТУДНЫХ ДЕТЕКТОРОВ ЭЛЕКТРОННЫХ ВОЛЬТМЕТРОВ

Цель работы – исследовать свойства диодных амплитудных детекторов различных типов, определяющих качества электронных вольтметров, при наличии постоянной и переменной составляющих во входном сигнале.

Структурная схема электронного амплитудного вольтметра приведена на рис. 23.

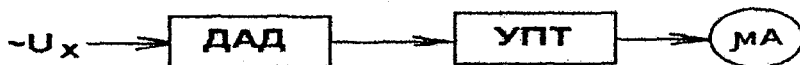


Рис. 23

Входным узлом прибора является диодный амплитудный детектор (ДАД), который преобразует измеряемое переменное напряжение в постоянное, усиливается затем усилителем постоянного тока. Выходной измеритель прибора – магнитоэлектрический микроамперметр.

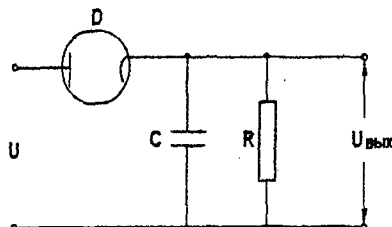


Рис. 24

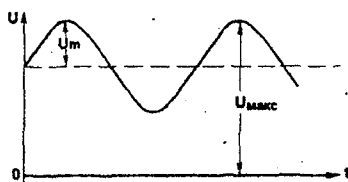


Рис. 25

Существуют два типа ДАД с открытым и закрытым входом. В схеме ДАД с открытым входом (рис. 24) выходное напряжение зависит от максимальной величины входного, при наличии постоянной составляющей во входном напряжении – вместе с этой постоянной составляющей –  $U_{\text{вых}} = U_{\text{макс}}$  на рис. 25.

В схеме ДАД с закрытым входом (рис. 26) выходное напряжение определяется только максимальным (амплитудным) значением переменной составляющей входного  $U_m$  (рис. 25).

Так как при закрытом входе напряжение  $U_R$  на нагрузке детектора содержит большую переменную составляющую, то на выходе детектора ставится фильтр  $R_f, C_f$  для выделения постоянной составляющей напряжения  $U_R$ .

ДАД с открытым входом используется в некоторых импульсных вольтметрах, с закрытым – в импульсных и универсальных вольтметрах при измерении переменных напряжений. Шкалы импульсных вольтметров градуируются в амплитудных (пиковых) значениях напряжений, шкалы универсальных вольтметров – в действующих значениях при синусоидальной форме входных напряжений.

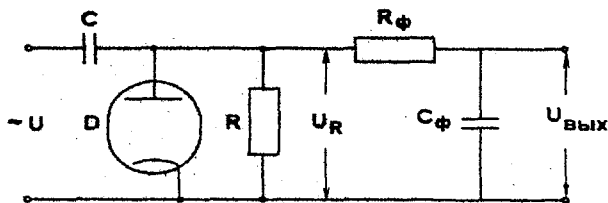


Рис. 26

В данной лабораторной работе проводится исследование макетов ДАД с открытым и закрытым входами.

Так как методика исследования и схемы соединений одинаковы для ДАД с открытым и закрытым входами, то в разделе «Содержание работы» тип детектора не указывается.

### Содержание работы

#### 1. Снятие амплитудных характеристик при синусоидальном напряжении

К входу детектора присоединяется низкочастотный генератор синусоидального напряжения. Для измерения входного и выходного напряжений детектора подключаются электронные вольтметры. Снимается зависимость выходного напряжения детектора от амплитуды входного синусоидального напряжения при постоянном значении частоты. Частоту и диапазон изменения входного напряжения задает преподаватель. Результаты измерения представляются в виде таблицы.

#### 2. Снятие амплитудно-частотной характеристики

Поддерживая постоянным входное напряжение детектора (значение задает преподаватель), снимает зависимость выходного напряжения от частоты входного во всем диапазоне генератора.

Результаты измерений представить в виде таблицы. По полученным данным необходимо построить амплитудно-частотную характеристику ДАД, по которой определить нижнюю границу частотного диапазона ДАД, при условии, что допустимая частотная погрешность не должна превышать 1,5%.

#### 3. Снятие амплитудной характеристики при напряжении, содержащем постоянную и синусоидальную составляющую

На вход ДАД подается напряжение от последовательно соединенных генератора синусоидального и источника постоянного напряжений так, чтобы положительный полюс последнего был присоединен к аноду диода детектора. Значение постоянной составляющей задается преподавателем и поддерживается неизменным в ходе опыта. К выходу генератора подключается вольтметр для измерения переменной составляющей входного напряжения детектора. Снимается зависимость выходного напряжения ДАД от амплиту-

ды переменной составляющей входного при постоянном значении частоты (таком же, как в п. 1). Затем меняют местами провода на входных зажимах ДАД (анод диода будет соединен с отрицательным полюсом источника постоянного напряжения) и повторяют снятие амплитудной характеристики при тех же значениях амплитуд переменной составляющей, что и в предыдущем случае.

Данные измерений представляются в виде таблицы. На одном графике строятся амплитудные характеристики, полученные в п.п. 1 и 3. Объяснить полученные результаты.

#### 4. Исследование работы детектора при несимметричном несинусоидальном напряжении

В качестве источника несимметричного несинусоидального напряжения используется генератор синусоидального напряжения, подключаемый к детектору через линейный двухполупериодный выпрямитель. На рис.27 показан вид напряжения на нагрузке выпрямителя. Форму кривой напряжения можно посмотреть, присоединив электронный осциллограф к входу детектора.

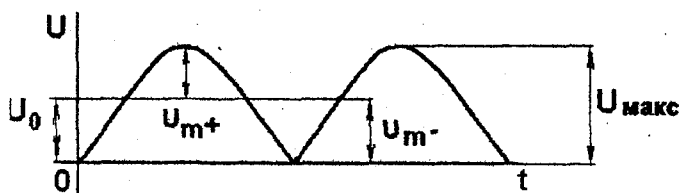


Рис. 27

При подаче на вход ДАД положительного напряжения с выхода выпрямителя выходное напряжение ДАД с закрытым входом определяется положительной амплитудой  $U_{m+}$  переменной составляющей входного напряжения; при отрицательном входном напряжении — отрицательной амплитудой переменной составляющей  $U_{m-}$ . На выходе детектора с открытым входом  $U_{макс}$  и  $U \approx 0$ , соответственно.

Преподаватель задает действующее значение синусоидального напряжения на выходе генератора, по которому необходимо рассчитать ожидаемые значения выходного напряжения ДАД при подаче на его вход положительного и отрицательного напряжений с выхода выпрямителя. Затем подключают к выходу генератора вольтметр, устанавливают заданное значение синусоидального напряжения и измеряют выходное напряжение детектора при обеих полярностях входного. Сравнить полученные результаты с рассчитанными значениями.

В отчете необходимо представить рисунок кривой входного напряжения ДАД, на котором показать значения, соответствующие выходному напряжению ДАД при обеих полярностях входного.

## Работа № 39

### ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНОЙ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЯХ

Цель работы – ознакомиться с наиболее широко распространенными способами измерения активной и реактивной мощности в трехфазных трехпроводных цепях.

#### Содержание работы

##### 1. Исследование схемы двух ваттметров при измерении активной мощности в симметричной цепях

Для измерения активной мощности в трехфазных трехпроводных цепях наиболее широко используется способ двух ваттметров, который дает правильные результаты как при полной симметрии, так и при любой асимметрии нагрузки. Выпускаемые промышленностью трехфазные ваттметры, представляющие собой сочетание двух смонтированных в одном корпусе однофазных элементов с общей осью для подвижных частей, включаются также по схеме двух ваттметров. При симметричной нагрузке и меняющемся  $\cos\varphi$  в показаниях обоих ваттметров наблюдаются определенные закономерности, которые и рассматриваются в данной работе.

Схема соединений при опыте показана на рис. 28.

Здесь питание последовательных и параллельных цепей осуществляется отдельно: последовательные цепи питаются через понижающий силовой трансформатор, а параллельные цепи – через фазорегулятор. Раздельное питание цепей позволяет имитировать нагрузку с любым значением  $\cos\varphi$  и резко уменьшает расход электроэнергии при опыте. При сборке схемы следует соблюдать правила включения генераторных зажимов ваттметров и правильный порядок чередования фаз. Последний при необходимости может быть проверен с помощью фазоуказателя. Для удобства установки и поддержания симметрии нагрузки вольтметры в схеме включены на фазные напряжения. Поэтому следует иметь в виду, что напряжения на параллельных обмотках ваттметров оказываются в  $\sqrt{3}$  раз больше, чем показания вольтметров.

Опыт проводится при симметрии токов и напряжений для одного значения тока и напряжения и при изменении угла сдвига фаз в пределах от  $-90^\circ$  до  $+90^\circ$ . Заданные значения токов и напряжений устанавливаются по показаниям приборов и поддерживаются неизменными в течение всего опыта.

Несколько полезных советов. Опыт удобнее начинать  $\varphi=0$ . Учитывая, что отсчет углов по шкале фазорегулятора сопряжен с большими ошибками, необходимо при установлении  $\varphi=0$  ориентироваться по показаниям ваттметров. Для этого переключатели ваттметров ставятся в положение «+» и ротор фазорегулятора поворачивают до тех пор, пока показания обоих ваттметров станут одинаковыми. В дальнейшем угол  $\varphi$  изменяют сначала в сторону отставания до  $\varphi=+90^\circ$ , а затем в сторону опережения до  $\varphi=-90^\circ$  и записывают

показания приборов. Для определения знака угла  $\varphi$  следует иметь в виду, что при  $\varphi > 0$  показания ваттметра, токовая обмотка которого включена в опережающую фазу, будут меньшими, чем второго ваттметра, а при  $\varphi < 0$  — наоборот. При  $\varphi = \pm 90^\circ$  показания ваттметров равны по величине, но противоположны по знаку, так что сумма их равна нулю.

Отсчет промежуточных значений угла  $\varphi$  можно установить по показаниям ваттметров  $P'$  и  $P''$  используя известные соотношения:

$$P' = U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos(\varphi - 30^\circ), \quad P'' = U_{\text{л}} I_{\text{л}}' \cos(\varphi + 30^\circ).$$

По результатам измерений вычислить:

а) активную мощность трехфазной цепи  $P = P' + P''$ , где  $P'$  и  $P''$  — показания ваттметров;

б) коэффициент мощности  $\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}}}$ ;

в) угол  $\varphi$  ( по значениям  $\cos \varphi$ );

г) реактивную мощность трехфазной цепи  $Q = \sqrt{3}(P' - P'')$ .

Результаты опытов и расчетов представить в виде табл.12 и построить на одном графике зависимости:

$$P' = f_1(\varphi); \quad P'' = f_2(\varphi); \quad P = f(\varphi); \quad Q = f_3(\varphi).$$

Таблица 12

$\varphi^0$ , град	$U_{\text{л}}$ , В	$I_{\text{л}}$ , А	$P'$ , Вт	$P''$ , Вт	$P$ , Вт	$Q$ , Вар

## 2. Измерение активной мощности двумя ваттметрами в асимметричной трехфазной трехпроводной цепи

Задача данного опыта — определение применимости способа двух ваттметров для измерения активной мощности в несимметричных трехфазных трехпроводных цепях.

Для создания простой асимметрии ток в одной из фаз последовательной цепи устанавливается равным нулю (отключение фазы), а напряжения на параллельных цепях сохраняются симметричными. Опыт проводится в следующем порядке. При полной симметрии системы устанавливают требуемое значение  $\cos \varphi$  (удобно принимать  $\cos \varphi = 1$ ) и записывают показания приборов. После этого отключают одну из фаз последовательной цепи и, не меняя положения ротора фазорегулятора, устанавливают в двух оставшихся фазах прежние значения токов и записывают показания приборов. Опыт проводят для одного значения тока и при поочередном отключении каждой из фаз.

Для создания асимметрии токов и напряжений отключается ток в одной из фаз последовательной цепи и напряжение этой же фазы в параллельной цепи. Опыт проводится как и в случае простой асимметрии при выбранном значении  $\cos \varphi$  при поочередном отключении каждой из фаз в последовательной и параллельной цепях.

$U_A, В$	$U_B, В$	$U_C, А$	$I_A, А$	$I_B, А$	$I_C, А$	$P', Вт$	$P'', Вт$	$P, Вт$	$P_{рас}, Вт$

Измеренное значение активной мощности определяется по формуле

$$P = P' + P''$$

Расчетная мощность для трехфазной симметричной цепи

$$P_{рас} = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi$$

При отключении любой из фаз трехфазной цепи цепь становится однофазной и ее расчетная мощность вычисляется по формуле

$$P_{рас} = U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi$$

Результаты опыта сравнить с расчетными и сделать вывод о применимости метода двух ваттметров для измерения активной мощности в трехфазных трехпроводных несимметричных цепях.

### 3. Исследование схемы двухваттметров с искусственной нулевой точкой для измерения реактивной мощности в симметричной цепи

Этот способ измерения реактивной мощности применяется в трехфазных трехпроводных симметричных цепях, когда нагрузка соединена треугольником или звездой с недоступной нулевой точкой.

Схема соединений при раздельном питании последовательных и параллельных цепей, используемая в опыте, показана на рис. 29. Искусственная нулевая точка «О» образуется с помощью трех одинаковых сопротивлений, соединенных в звезду. Двумя из этих сопротивлений являются параллельные цепи ваттметров, а третье сопротивление  $R_0$  – добавочное сопротивление, равное им по размеру. Для расширения пределов измерения амперметров и ваттметров по току в схеме предусмотрены трансформаторы тока. Здесь также важно соблюдать правила включения трансформаторов тока, генераторных зажимов ваттметров и порядок чередования фаз.

Опыт проводится при постоянных симметричных значениях токов и напряжений и при изменении угла  $\varphi$  в пределах от  $-90^\circ$  до  $+90^\circ$ . Установку угла  $\varphi$  следует проводить по показаниям ваттметров  $P'$  и  $P''$  пользуясь известными зависимостями:

$$P' = U_{\phi} I_{\phi} \sin(\varphi + 30^\circ),$$

$$P'' = -U_{\phi} I_{\phi} \sin(30^\circ - \varphi).$$



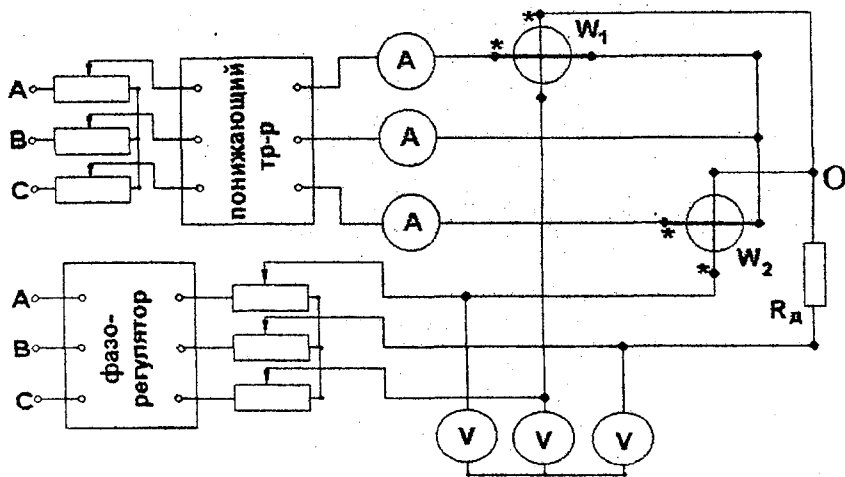


Рис. 29

При этом удобно ориентироваться по следующим характерным точкам: при  $\varphi=0$  показания ваттметров равны по величине, но противоположны по знаку;

при  $\varphi=+90^\circ$  показания обоих ваттметров равны и оба положительны;

при  $\varphi=-90^\circ$  показания обоих ваттметров равны и оба отрицательны;

при  $\varphi=+30^\circ$  показания  $P'>0$ , а  $P''=0$ ;

при  $\varphi=-30^\circ$  показания  $P'=0$ ,  $P''<0$ , где  $P'$  – показания ваттметра, токовая обмотка которого включена в фазу А.

Результаты измерений с учетом влияния трансформаторов токов записываются в табл. 14.

Таблица 14

Uл, В	Iл, А	$P'$ , Вт	$P''$ , Вт	Q, Вар	$\varphi$ , град

По результатам измерений вычислить и записать в таблицу:

а) измеренное значение реактивной мощности

$$Q = \sqrt{3} \cdot (P' + P'');$$

б) значение  $\sin \varphi = \frac{Q}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I}$ ;

в) угол  $\varphi$ .

Построить на одном графике зависимости:

$$\sqrt{3} \cdot P' = f_1(\varphi), \quad \sqrt{3} \cdot P'' = f_2(\varphi), \quad Q = f_3(\varphi).$$

#### 4. Измерение реактивной мощности двумя ваттметрами в схеме с искусственной нулевой точкой при асимметрии токов

Схема двух ваттметров с искусственной нулевой точкой применима для измерения реактивной мощности в трехфазных трехпроводных цепях и при простой асимметрии. В данном опыте исследуется случай несимметрии токов. Для создания простой асимметрии отключается ток в одной из фаз последовательной цепи (рис. 29) при сохранении симметричных напряжений в параллельных цепях. Опыт проводится в следующем порядке.

При полной симметрии системы устанавливают требуемое значение  $\cos \varphi$ . Установку угла  $\varphi$  удобно проводить по показаниям ваттметров, используя характерные точки, отмеченные в п. 3. Показания приборов записывают. Затем отключают одну из фаз последовательной цепи и, не меняя положения ротора фазорегулятора, устанавливают в двух оставшихся фазах прежние значения токов и записывают показания приборов. Опыт проводится при поочередном отключении каждой из фаз для одного значения тока.

Результаты опытов и расчета записывают в таблицу, подобную табл. 13.

Измеренное значение реактивной мощности определяют по формуле.

$$Q = \sqrt{3} \cdot (P' + P'')$$

Расчетную реактивную мощность определяют по формулам:

а) при полной симметрии  $Q_{рас} = 3U_{\phi} I_{\phi} \sin \varphi$ ;

б) при отключении одной из фаз  $Q_{рас} = \sqrt{3} U_{\phi} I_{\phi} \sin \varphi$ .

Результаты опыта сравнить с расчетными данными и сделать выводы о применимости схемы двух ваттметров с искусственной нулевой точкой для измерения реактивной мощности при простой асимметрии.

#### 5. Оценка методической погрешности, вносимой ваттметрами, при измерении активной мощности в однофазной цепи

Возможные схемы включения ваттметров для измерения активной мощности в однофазных цепях представлены на рис. 30. Вследствие потребления мощности ваттметров относительная методическая погрешность при включении ваттметра по схеме рис. 30а

$$\delta_i = \frac{I^2 R_i}{P} = \frac{I R_i}{U \cos \varphi}$$

где  $R_i$  – сопротивление токовой обмотки ваттметра;  $I$ ,  $U$  – ток и напряжение в цепи;  $\varphi$  – фазовый сдвиг между  $U$  и  $I$ .

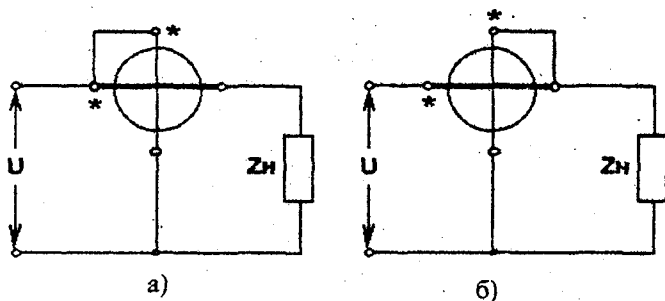


Рис. 30

Эта погрешность зависит от угла  $\varphi$  и достигает бесконечно большого значения при  $= 90^\circ$ . При неизменных значениях  $U$  и  $I$  методическая погрешность минимальна при  $\varphi = 0$ .

Относительная методическая погрешность при включении ваттметра по схеме рис. 30б

$$\delta_v = \frac{U^2}{R_v P} = \frac{U}{R_v I \cos \varphi}$$

где  $R_v$  – сопротивление параллельной цепи ваттметра.

Эта погрешность также зависит от угла  $\varphi$ .

По паспортным данным ваттметра необходимо вычислить  $\delta_i$  и  $\delta_v$  при номинальных для данного ваттметра значениях тока, напряжения и угла  $\varphi$ .

### Работа № Э10 ПОВЕРКА ОДНОФАЗНОГО СЧЕТЧИКА АКТИВНОЙ ЭНЕРГИИ

В данной работе поверка счетчика производится с помощью ваттметра и секундомера, по показаниям которых определяется действительное значение энергии, измеряемой счетчиком. Схема соединений при поверке приведена на рис. 31.

Схема обеспечивает раздельное питание последовательной и параллельной цепей счетчика.

Последовательная цепь питается от вторичной обмотки понижающего трансформатора  $T_p$ . Реостат  $R_1$  в первичной обмотке трансформатора  $T_p$  предназначен для регулировки тока.

Параллельная цепь счетчика питается от фазорегулятора  $\Phi P$ . Реостат  $R_2$  включается для регулировки напряжения. С помощью фазорегулятора мож-

но менять фазу напряжения в параллельной цепи счетчика и тем самым имитировать нагрузку счетчика с любым  $\cos\varphi$ .

## Содержание работы

### 1. Прогрев измерительного механизма счетчика

Для прогрева измерительного механизма не менее 15 мин счетчик должен быть включен под номинальные напряжения и ток при  $\cos\varphi=1$  (при  $\cos\varphi=1$  показание ваттметра максимально). Одновременно с прогревом проверяют правильность работы счетного механизма. Для этого записывают время, в течение которого счетчик прогревался, и показания счетного механизма до и после прогрева. Счетный механизм работает правильно, если произведение средней мощности нагрузки на время прогрева равно разности показаний счетного механизма до и после прогрева.

### 2. Проверка выполнения внутреннего 90-градусного сдвига счетчика

При номинальных напряжении и токе счетчика устанавливают  $\cos\varphi=0$ , вращая ротор фазорегулятора до тех пор, пока показание ваттметра станет равным нулю. Если условие внутреннего 90° сдвига выполнено, диск счетчика вращаться не будет.

### 3. Определение основных погрешностей счетчика

Определение основных погрешностей счетчика производится при номинальном напряжении, разных токах нагрузки и двух значениях  $\cos\varphi$ : 1 и 0,5 при индуктивной нагрузке. Перед определением рассчитываются:

а) номинальная постоянная счетчика  $C_H$  по его передаточному числу, указанному на щитке в форме:  $1\text{кВт}\cdot\text{ч} - A$  оборотов.

$$C_H = \frac{3600 \cdot 1000}{A}, \frac{\text{Вт}\cdot\text{с}}{\text{об}};$$

б) постоянная ваттметра

$$C_W = \frac{U_{HW} I_{HW}}{\alpha_H}, \frac{\text{Вт}}{\text{дел}},$$

где  $I_{HW}$ ,  $U_{HW}$  – номинальные ток и напряжение ваттметра;

$\alpha_H$  – число делений шкалы ваттметра;

в) показания ваттметра в делениях при номинальном напряжении счетчика, заданных токах (10, 20, 40, 60, 80, 100% от номинального) и  $\cos\varphi$  по формуле

$$\alpha_1 = \frac{U_H I}{C_w} \text{ дел}, \text{ при } \cos\varphi=1; \alpha_2=0,5\alpha_1, \text{ при } \cos\varphi=0,5,$$

где  $U_H, I_H$  – номинальные параметры счетчика.

Расчитанные значения показаний  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  округляются до ближайшего целого числа делений.

Сначала определяют погрешности при  $\cos\varphi=1$  и всех заданных нагрузках. Устанавливают номинальное напряжение и требуемый ток.  $\cos\varphi=1$  устанавливают фазорегулятором по показаниям ваттметра (при  $\cos\varphi=1$  показания максимальны). Чтобы показания ваттметра соответствовали расчетным, округленным до целого числа делений значениям, несколько изменяют ток. Установив по показаниям ваттметра заданную нагрузку, считают число полных оборотов диска, измеряя секундомером время, соответствующее этому числу оборотов. Число оборотов должно быть целым и выбрано таким, чтобы время измерения было бы не менее 50 с. Для каждой нагрузки должно быть проведено не менее трех измерений времени. За действительное значение времени принимается среднее арифметическое из трех измерений.

Для обеспечения необходимой точности измерений мощности нужно, чтобы изменение нагрузки за время счета оборотов диска не превышало  $\pm 0,5\%$ . Если источник питания не обеспечивает этого условия, то один из экспериментаторов должен наблюдать за показаниями ваттметра и поддерживать их постоянство подрегулировкой тока нагрузки. Затем определяют погрешности при  $\cos\varphi=0,5$  при индуктивном характере нагрузки и заданных токах нагрузки. После установки номинального напряжения и заданного тока фазорегулятором добиваются показаний ваттметра в два раза меньших, чем при  $\cos\varphi=1$ . Для определения характера нагрузки в параллельную цепь ваттметра включается катушка L (2 – положение переключателя П на рис.31).

При этом, если характер нагрузки емкостный, показания ваттметра уменьшаются, если индуктивный – возрастут. После установки требуемой нагрузки опыт проводится так же, как и при  $\cos\varphi=1$ .

По опытным данным для всех нагрузок вычисляется:

а) действительная постоянная счетчика

$$C_D = \frac{Pt_{cp}}{N}, \quad \frac{Вт \cdot с}{об.},$$

где  $P$  – показание ваттметров,  $Вт$ ;  $t_{cp}$  – среднее время в секундах, за которое диск сделал  $N$  оборотов;

б) относительные погрешности счетчика

$$\delta = \frac{C_H - C_D}{C_D} \cdot 100\%.$$

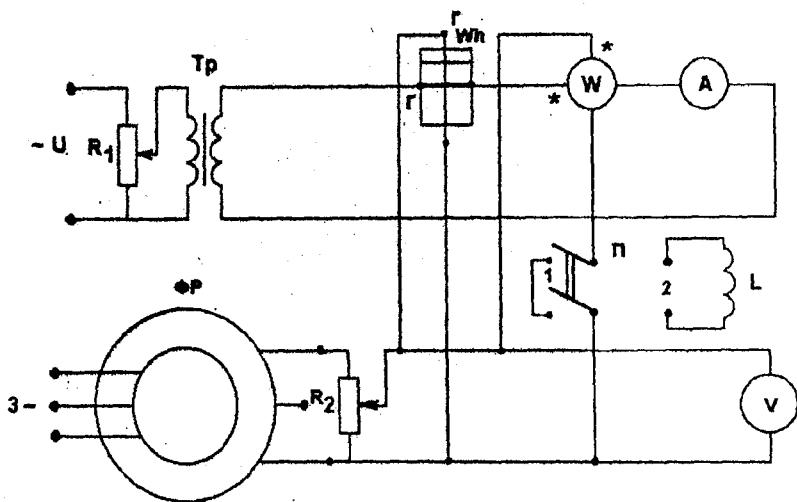


Рис.31

Опытные и расчетные данные представляются в виде табл. 15.

Таблица 15

I/I <sub>н</sub> , %	I, А	Показание ваттметра		N, обороты	t <sub>1</sub> , с	t <sub>2</sub> , с	t <sub>3</sub> , с	t <sub>ср</sub> , с	С <sub>д</sub> , Вт·с об.	δ, %
		дел.	Вт							

$$U_H = \dots В, C_H = \frac{Вт \cdot с}{об}, \cos\varphi = \dots$$

По полученным данным строятся нагрузочные кривые счетчика при  $\cos\varphi=1$  и  $\cos\varphi=0,5$  (зависимость относительной погрешности счетчика от относительной нагрузки в процентах от номинального тока)

Значения основных относительных погрешностей счетчика, определенные при поверке, необходимо сравнить с требованиями ГОСТ 6570-75 «Счетчики электрические активной и реактивной энергии индукционные», приведенные в табл. 16.

Таблицу 16

Ток в процентах от номинального значения	cos φ	Пределы не более, %			
		для классов точности			
		0,5	1,0	2,0	2,5
От 5 до 10	1,0	± 1,0	± 2,0	± 2,5	-
От 10 до 20	1,0	-	-	-	± 3,5
От 10 до 20	0,5 инд ≤ cos φ ≤ ≤ 1,0	±(2,1 - -1,6 cosφ)	±(3,0 - -2 cosφ)	±(3,0 - cos φ)	-
От 20 до макси- мального вклю- чительно	0,5 инд ≤ cos φ ≤ ≤ 1,0	±(1,1 - -0,6 cosφ)	±1,0	±2,0	±(5,5 - -3cosφ)

#### 4. Проверка на самоход

Последовательную цепь счетчика размыкают. Проверяют самоход при двух напряжениях, равных 80 и 110% от номинального. Если самоход отсутствует, то при отсутствии тока в последовательной цепи диск не сделает более одного оборота.

### Работа № Э11 УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВОЙ ОСЦИЛЛОГРАФ

Цель работы – ознакомиться с современными универсальными электроннолучевыми осциллографами и методикой измерений различных параметров, проводимых с их помощью.

Электроннолучевыми осциллографами называются универсальные регистрирующие измерительные приборы, используемые для исследования различных периодических и кратковременных однократно протекающих процессов, изображаемых графически электронным лучом на экране электроннолучевой трубки. Осциллографы позволяют измерять различные величины: амплитудные и мгновенные значения напряжений, временные интервалы, частоты и др. Для обеспечения определенной точности измерений в осциллографах предусматриваются устройства, обеспечивающие стабильность характеристик, коррекцию амплитудных и фазовых погрешностей, периодическую калибровку чувствительности и масштаба времени и другие меры, улучшающие метрологические характеристики прибора.

Упрощенная функциональная схема универсального осциллографа изображена на рис. 32.

Делитель напряжения и усилитель в канале вертикального отклонения обеспечивают возможность подачи на вход У напряжений от милливольт до сотен вольт.

Требуемый размер изображения на экране по вертикали устанавливается

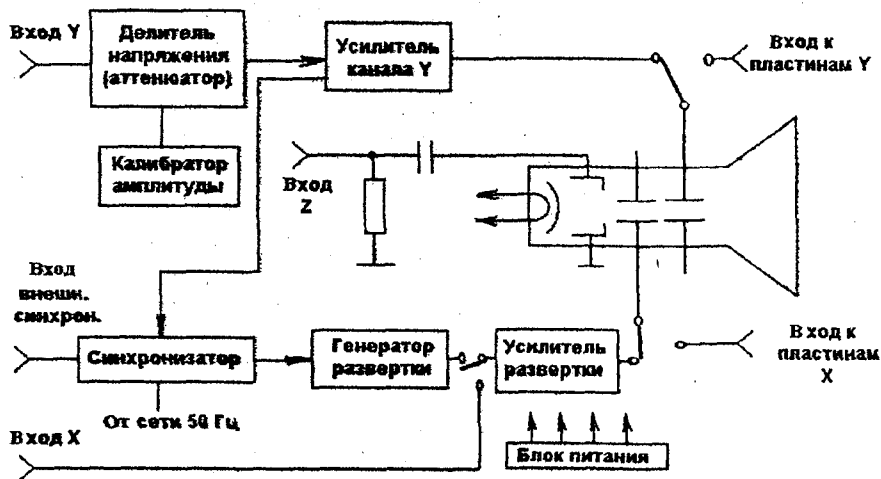


Рис. 32

ступенчатым изменением коэффициента деления делителя и плавной регулировкой коэффициента усиления.

Вход усилителя У может быть либо открытым, либо закрытым. В большинстве случаев может быть использован открытый вход. Однако, если постоянная составляющая исследуемого сигнала намного больше переменной, то целесообразнее использовать закрытый вход, не пропускающий постоянную составляющую.

Канал горизонтального отклонения луча предназначен для создания развертывающего напряжения синхронного с исследуемым сигналом. В качестве синхронизирующего сигнала может быть выбран исследуемый сигнал (внутренняя синхронизация), внешний источник синхронизирующего напряжения (внешняя синхронизация) или напряжение питающей сети.

Генератор развертки формирует линейное пилообразное напряжение и может работать в непрерывном или ждущем режимах. В непрерывном режиме развертка изображения производится непрерывно, причем частота генератора развертки устанавливается равной или кратной частоте исследуемого сигнала. Этот режим используется при исследовании периодических процессов или периодических последовательностей импульсов с малой скважностью.



В ждущем режиме развертка запускается только после поступления синхронизирующего сигнала. Этот режим используется при исследовании импульсных процессов с большой скважностью. Длительность развертки выбирают несколько большей длительности исследуемого импульса, чтобы его изображение занимало наибольшую часть рабочей длины экрана.

Размер изображения по горизонтали на экране осциллографа можно плавно изменять регулировкой коэффициента усиления усилителя развертки.

В большинстве осциллографов предусмотрена возможность подачи внешних напряжений на горизонтально отклоняющие пластины через усилитель развертки («Вход X» на рис. 32) или непосредственно на вертикально и горизонтально отклоняющие пластины («Вход к пластинам Y» и «Вход к пластинам X» на рис. 32).

Вход Z предназначен для подачи на управляющий электрод (модулятор) электроннолучевой трубки внешних синусоидальных или импульсных напряжений для модуляции яркости свечения изображения на экране.

Калибраторы амплитуды и длительности вырабатывают прямоугольное напряжение, калиброванное по амплитуде и частоте, которое используется для калибровки перед измерениями вертикального отклонения луча по напряжению и горизонтального по времени.

Блок питания содержит высоковольтные и низковольтные узлы для питания электроннолучевой трубки и схемы осциллографа. Так как в схеме осциллографа имеются напряжения, опасные для жизни, то категорически запрещается работа с прибором при снятом защитном кожухе. Корпус прибора

должен быть заземлен путем соединения зажима  $\perp$  с шиной защитного заземления.

Целью данной лабораторной работы является ознакомление с устройством универсального электроннолучевого осциллографа и приобретение навыков работы при измерении некоторых величин с помощью осциллографа.

### Содержание работы

Ознакомиться с элементами управления и присоединения, расположенными на лицевой панели и корпусе осциллографа, и в соответствии с инструкцией, находящейся на рабочем месте, подготовить осциллограф к работе.

#### 1. Измерение амплитуды напряжения

Наиболее простой способ измерения напряжений с помощью калиброванных коэффициентов отклонения. Значения коэффициентов отклонения указаны у каждого положения переключателя входного многоступенчатого делителя напряжения в  $\frac{V}{дел}$  и  $\frac{mV}{дел}$ . Эти значения верны лишь при максимальном значении коэффициента усиления (ручка плавной регулировки коэффициента усиления – в крайнем правом положении). Перед измерением напряжения необходимо произвести проверку калибровки, а в случае необ-

ходимости и регулировку коэффициентов отклонения в соответствии с инструкцией на рабочем месте.

После проверки калибровки на вход «У» подают измеряемое напряжение и переключателем делителя устанавливают требуемый размер изображения и измеряют его длину в делениях сетки на экране осциллографа. Для увеличения точности измерения размер изображения должен быть возможно большим (в пределах рабочей части экрана); при измерении размеры учитывают толщину луча.

Размах измеряемого напряжения равен произведению размера изображения в делениях на коэффициент отклонения в положении переключателя делителя при измерении. Если измеряемое напряжение симметрично относительно оси времени, то его амплитуда в 2 раза меньше измеренного размаха.

Если у осциллографа имеется достаточно большой диапазон калибруемых напряжений, то с меньшей погрешностью можно измерить напряжение путем сравнения изображений исследуемого и калибрующего напряжений.

Сначала на вход У подают измеряемое напряжение. Ручкой переключателя входного делителя и плавной регулировкой коэффициента усиления добиваются максимального размера изображения в пределах рабочей части экрана. Затем на тот же вход подают напряжение с выхода калибратора амплитуды. Не меняя коэффициента усиления переключателями входного делителя и калибратора амплитуды добиваются размера изображения калибрующего напряжения близкого к размеру измеряемого (возможное неравенство до 1,5 делений).

Размах измеряемого напряжения подсчитывается по формуле

$$U_x = U_k \cdot \frac{K_{ox} \cdot l_x}{K_{ok} \cdot l_k} \text{ В,}$$

где  $U_k$  - значение калибрующего напряжения;

$l_x$  - размер изображения измеряемого напряжения;

$K_{ox}$  - коэффициент отклонения при измеряемом напряжении;

$l_k$  - размер изображения калибрующего напряжения;

$K_{ok}$  - коэффициент отклонения при калибрующем напряжении.

## 2. Исследование импульсов

При исследовании импульсов обычно измеряются их амплитуде  $U_m$ , длительность  $t_u$ , длительности фронта  $t_\phi$  и среза  $t_c$ , крутизна фронта

$$S = \frac{U_m}{t_\phi} \text{ (рис. 33).}$$

Измерение амплитуд рассмотрено в п. 2. Способы измерения длительностей основаны на сравнении измеряемого временного интервала с длительностью развертки или с периодом напряжения известной частоты. В первом случае используется калиброванная развертка осциллографа. Ступенчатый переключатель длительности развертки («ВРЕМЯ/ДЕЛ») градуирован в зна-

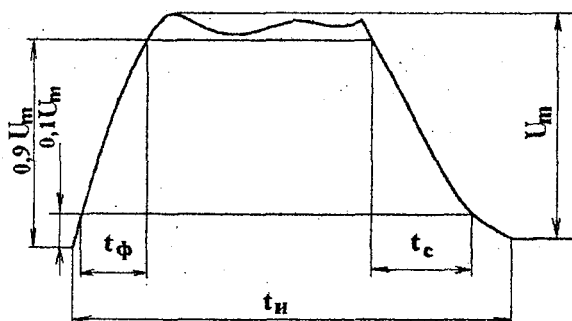


Рис. 33

чениях коэффициентов развертки при крайнем правом положении ручки плавной регулировки длительности развертки. Перед измерениями необходимо провести проверку и регулировку коэффициентов развертки по частоте напряжения внутреннего калибратора длительности в соответствии с инструкцией на рабочем месте.

После калибровки на вход «У» подается исследуемое напряжение. Регулировкой смещений по вертикали и горизонтали изображение измеряемого интервала времени устанавливается в центре экрана на горизонтальной осевой линии шкалы. Переключателем «ВРЕМЯ/ДЕЛ» устанавливают требуемый размер изображения, при этом, как и при калибровке, ручка плавной регулировки длительности развертки должна быть в крайнем правом положении. Измеряемый временной интервал определяется умножением длины изображения в делениях на коэффициент развертки в положении переключателя «ВРЕМЯ/ДЕЛ» при измерении.

Для обеспечения максимальной точности измерений рекомендуется соблюдать следующие условия:

- размеры изображений измеряемого и калибровочного сигнала должны быть большими и по возможности одинаковыми;
- измерение и калибровку проводить на горизонтальной осевой линии шкалы экрана;
- для уменьшения погрешности за счет толщины линии длину временных интервалов на экране измерять либо между правыми, либо между левыми сторонами изображения.

При измерении временных интервалов вторым способом на изображении исследуемого сигнала создаются яркостные метки с известной частотой следования. Для получения меток на модулятор электроннолучевой трубки подается синусоидальное или импульсное напряжение, модулирующее интенсивность электронного луча и следовательно яркость свечения изображения на экране. При правильной регулировке яркости (запирание луча при отри-

цательном переменном напряжении или нулем при импульсном), изображение исследуемого сигнала будет прерывистым (рис. 34), состоящим из ярких штрихов (меток) и темных промежутков.

Если в осциллографе нет внутреннего генератора меток времени, то к входу Z осциллографа подключают внешний генератор. Плавным изменением частоты генератора добиваются неподвижности меток.

Относительная погрешность измерения уменьшается с увеличением числа меток на осциллограмме, однако при подсчете очень большого числа меток возможны ошибки. Поэтому частоту модулирующего напряжения выбирают так, чтобы получить 5...20 меток.

Длительность измеряемого временного интервала определяется умножением числа меток на период их следования.

В данной работе измерение временных интервалов следует произвести обоими способами. Измеряемые величины задает преподаватель.

### 3. Измерение частоты

а) Сравнением двух синусоидальных колебаний методом фигур Лиссажу.

К входам осциллографа X и Y подключаются напряжения известной и измеряемой частот (рис. 35).

На рис. 35 обозначения частот  $f_x$  и  $f_y$  соответствуют обозначениям входов осциллографа.

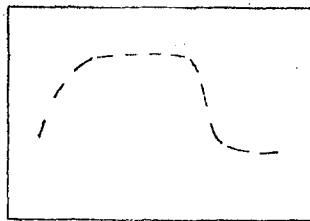


Рис. 34

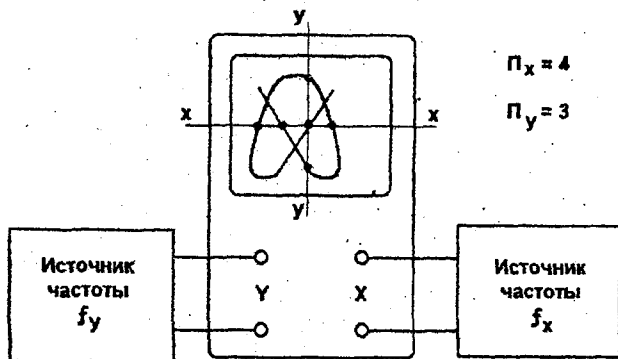


Рис. 35

Частоту образцового генератора плавно изменяют до тех пор, пока на экране не возникнет неподвижная фигура Лиссажу возможно более простой формы. Эту фигуры мысленно пересекают линиями, параллельными осями X и Y, так, чтобы проведенные линии не проходили через узловые точки фигуры или касательной к ней (рис. 35), и подсчитывают число пересечений каждой из линии с фигурой Лиссажу —  $n_x$  и  $n_y$ .

Неизвестная частота определяется из соотношения  $\frac{f_x}{f_y} = \frac{n_y}{n_x}$ .

б) Измерение частоты методом круговой развертки.

В основном метод круговой развертки применяется при целочисленном отношении сравниваемых частот более 8... 10 или дробном их отношении с числами в знаменателе и числителе большими 4 — 5.

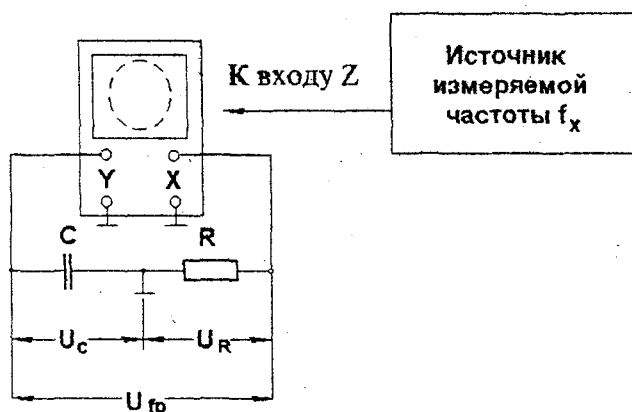


Рис. 36

В этих случаях фигуры Лиссажу получаются сложными. Кроме того, методом круговой развертки можно измерять частоту не только синусоидальных, но и импульсных напряжений.

Для получения круговой развертки собирают фазосдвигающую цепь RC, с которой на входы Y и X осциллографа подают синусоидальные напряжения  $U_C$  и  $U_R$ , сдвинутые по фазе на  $90^\circ$  (рис. 36).

При равенстве  $U_C=U_R$  луч будет перемещаться по окружности. Значение частоты развертки должно быть меньше измеряемой. Значения частоты  $f_p$  емкости с задаются преподавателем. Из условия  $U_C=U_R$  рассчитывается величина сопротивления R. Однако, при выбранных значениях  $f_p$ , R и C изо-

бражение развертки может отличаться от окружности из-за разных коэффициентов усиления в каналах.

#### 4. Измерение фазовых сдвигов

Два синусоидальных напряжения одинаковой частоты, между которыми измеряется фазовый сдвиг, подаются на входы У и Х осциллографа.

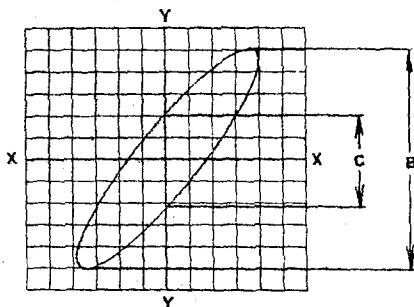


Рис. 37

При фазовом сдвиге 0 или 180° на экране будет изображение наклонной прямой, при 90° или 270° – окружность или эллипс с осями, параллельными осями X и Y осциллографа. При других фазовых сдвигах – эллипс с наклонными осями (рис. 37). Ручками регулировки смещения по вертикали и горизонтали симметрируют эллипс относительно центральных осей шкалы. Искомый сдвиг фаз

$$\sin \varphi = \frac{C}{B},$$

где  $C$  – длина отрезка, отсекаемого эллипсом на оси Y ( $X=0$ ),  
 $B$  – проекция эллипса на ту же ось.

В данной работе измеряется фазовый сдвиг между двумя напряжениями фазосдвигающей цепи п. 46 (по выбору преподавателя).

Графическая часть отчета по данной лабораторной работе должна содержать принципиальную схему осциллографа (рис. 33), схемы соединений и рисунки осциллограмм, полученных при проведении всех измерений.

## Работа № 12 ИЗМЕРЕНИЯ ЦИФРОВЫМ ЧАСТОТОМЕРОМ

Целью работы является ознакомление с методикой измерений многофункциональным цифровым частотомером параметров прямоугольного импульсного напряжения.

Источником измеряемого напряжения является импульсный генератор. Указания по работе с которым представлены на рабочем месте.

### Принцип действия цифрового частотомера

Принцип действия частотомера основан на счете числа периодов неизвестной частоты за известной высокоточный отрезок времени, называемый временем измерения. Входным формирователем напряжение измеряемой частоты  $U_x$  (синусоидальное или импульсное) преобразуется в последовательность коротких импульсов  $U_\Phi$  частотой  $f_x$  (рис. 38).

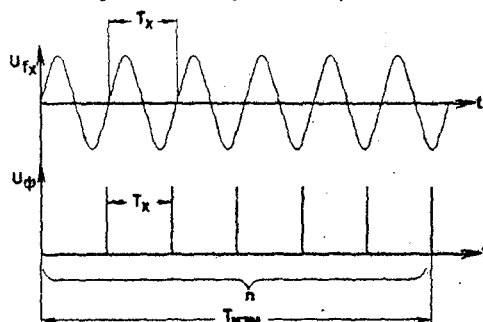


Рис. 38

Измеряемая частота

$$f_x = \frac{n}{T_{\text{изм}}}$$

где  $n$  — число импульсов за время измерения  $T_{\text{изм}}$ . При преобразовании непрерывной величины (времени измерения) в дискретную (число импульсов) имеет место погрешность дискретности. Максимальная величина относительной погрешности дискретности

$$\delta_{qf} = \frac{1}{n} = \frac{1}{f_x \cdot T_{\text{изм}}}$$

Видно, что при низких частотах для обеспечения малой погрешности дискретности может понадобиться недопустимо большое время измерения, иначе погрешность дискретности будет главной в общей погрешности измерений.

Лучше при низких частотах измерять не частоту, а период. В этом случае время измерения определяется периодом измеряемого напряжения и считается число импульсов напряжения опорного генератора (метки времени) (рис. 2).

Входной формирователь прибора формирует сигнал  $U_\Phi$ , длительность которого равна измеряемому периоду  $T_{\text{изм}} = T_x$ ,  $n$  — число импульсов за время  $T_x$ :

$$T_x = \frac{n}{f_0}$$

где  $f_0$  — частота следования меток времени.

Погрешность дискретности при измерении периода

$$\delta_q T = \frac{1}{n} = \frac{1}{T_x \cdot f_0}$$

Чем меньше измеряемый временной интервал, тем больше должна быть частота меток времени.

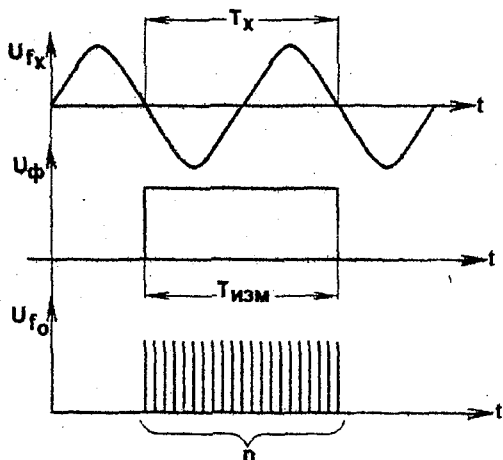


Рис. 39

В данной работе используется многофункциональный частотомер ЧЗ-33.

#### Работа прибора при измерении импульсных напряжений

1. Прибор измеряет частоту импульсных сигналов любой полярности длительностью не менее 0,05 мкс в диапазоне частот 10 Гц... 10 МГц. Допустимые величины амплитуд входных напряжений 0,3... 100 В.
2. Прибор измеряет период или 10 периодов импульсных сигналов любой полярности с длительностью импульсов не менее 0,1 мкс в диапазоне частот повторения 0,1 Гц... 100 Гц при входных напряжениях 0,3 ... 100 В.
3. Прибор измеряет интервалы времени между импульсами и длительность импульсов любой полярности от 1 мкс до 100 с.
4. Прибор измеряет отношение частот импульсных сигналов в пределах от 1:1 до 10<sup>8</sup>:1. Диапазон высших из сравниваемых частот 10 Гц... 10 МГц, низших – 0,1... 100 кГц.
5. Прибор имеет автоматический и ручной ( тумблер и кнопка «ВНЕШНИЙ ПУСК») режимы допуска.
6. Время индикации результатов измерения при автоматическом режиме от 0,3 до 5 с.



## Содержание работы

### Подготовка прибора к работе

1. Включить тумблер «СЕТЬ» при этом должна зажечься индикаторная лампочка термостата и восемь ламп индикаторного табло.
2. Тумблеры «ВНЕШНИЙ ПУСК» и «ФИЛЬТР НЧ» поставить в нижнее положение.  
Остальные ручки органов управления в произвольном положении.
3. Прогреть прибор.  
Форма исследуемого напряжения приведена на рис. 40.

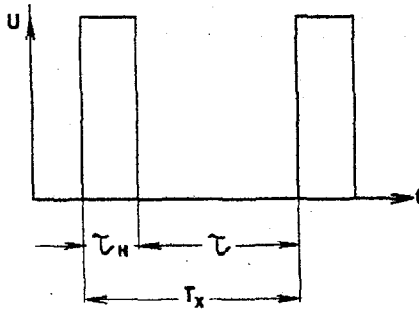


Рис. 40

### I. Измерение частоты следования импульсов

Блок схема частотомера при измерении частоты приведена на рис. 41. Входной формирователь создает последовательность коротких импульсов частотой  $f_x$  постоянной амплитуды не зависящей от амплитуды входного сигнала. Кварцевый генератор генерирует высокостабильные колебания частотой 1 МГц. Формирователь временных интервалов содержит делитель частоты кварцевого генератора для формирования времени измерения в диапазоне от 0,01 с до 10 с. Селектор пропускает импульсы входного формирователя за время измерения на счетчик.

Для измерения частоты источник измеряемой частоты подключается к гнезду «Вход А». Переключатель «РОД РАБОТЫ» устанавливается в положение «F<sub>A</sub>». Если входной сигнал содержит постоянную составляющую, тумблер «= ~» устанавливается в положение «-». Производится настройка входного формирователя для чего ручку потенциометра «УРОВЕНЬ» медленно вращать из крайнего правого положения «+» при положительной полярности входного сигнала и из крайнего левого положения «-» при отрицательной полярности сигнала до тех пор пока первоначально горевший индикатор погаснет и загорится другой индикатор. Граница изменения состояния световых индикаторов свидетельствует о правильной настройке входного формирователя.

**Примечание:** при измерении частотомером других величин (интервалов времени, отношения частот) операция настройки входных формирователей проводится таким же образом. Ручкой «ВРЕМЯ ИНДИКАЦИИ» устанавливается удобное время для отсчета показаний прибора.

Значения измеряемых частот импульсного генератора и длительности импульсов задаются преподавателем. Измерения частот произвести при двух значениях времени измерения одно из которых должно обеспечить наименьшую погрешность измерения. Основная относительная погрешность измерения частоты в % подсчитывается по формуле

$$\delta_f = \pm(\delta_0 + \delta_{df}) \cdot 100\%,$$

где  $\delta_0$  – относительная нестабильность частоты внутреннего кварцевого генератора;  $\delta_0 = 5 \cdot 10^{-6}$ ;  $\delta_{df} = \frac{1}{f_x T_{изм}}$  – относительная погрешность дискретизации.

Данные измерений и вычислений свести в табл. 17

Таблица 17

$f_x$ , Гц	$T_{изм}$ , с	$\delta_{df}$ , %	$\delta_f$ , %

## 2. Измерение периода

На рис. 41 приведена блок-схема частотомера при измерении периода.

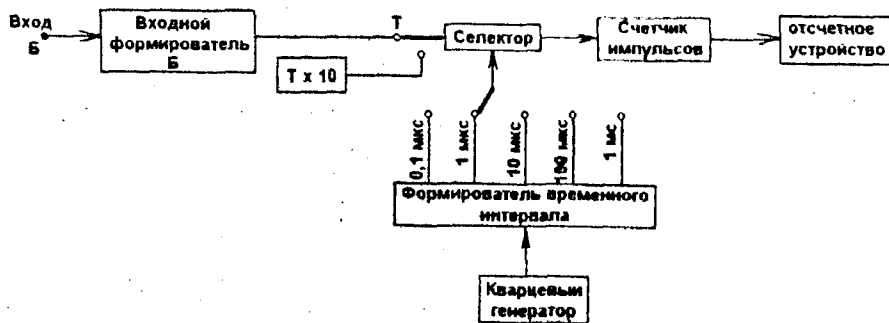


Рис. 41

Входной формирователь формирует импульс, длительность которого равна измеряемому периоду. Более точное измерение периода производится в режиме «Тх10».

Формирователь временных интервалов содержит умножитель и делители частоты кварцевого генератора для получения меток времени от 0,1 мкс до 1 мс.

Для измерения периода измеряемый сигнал подается на «ВХОД Б». Переключатель «РОД РАБОТЫ» устанавливается в положение «Т<sub>Б</sub>» или «Т<sub>Б</sub>х10».

Производится настройка входного формирователя Б.

Переключатель «МЕТКИ ВРЕМЕНИ» устанавливается в одно из положений «0,1μs – 1ms» в зависимости от требуемой точности измерения.

В работе нужно измерить 1 и 10 периодов ранее измеренных частот при двух значениях периода следования меток, одно из которых обеспечит наименьшую погрешность измерения.

Основная относительная погрешность измерения периода

$$\delta_T = \pm(\delta_o + \delta_{qT}) \cdot 100\%,$$

где  $\delta_o$  – относительная нестабильность частоты внутреннего кварцевого генератора,  $\delta_o = 5 \cdot 10^{-6}$ ;  $\delta_{qT} = \frac{T_o}{n \cdot T_x}$  – погрешность дискретности, где  $T_o$  – период следования в мкс;  $T_x$  – измеренный период в мкс;  $n=1$  при измерении 1 периода;  $n=10$  при измерении 10 периодов.

Данные измерений и вычислений представить в виде табл. 18.

Таблица 18

№ пп	$f_x$ , Гц	$T_x$ , мкс	n	$T_o$ , мкс	$\delta_{qT}$ , %	$\delta_T$ , %
1			1			
			10			
2			1			
			10			

### 3. Измерение длительности импульса

На рис. 42 приведена блок схема частотомера при измерении временных интервалов.

С блока управления на селектор подается импульс, длительность которого равна измеряемому временному интервалу, при измерении длительности импульса между передним и задним фронтами. Измеряемое импульсное напряжение подается одновременно на «ВХОД А» и «ВХОД Б». Переключатель рода работы устанавливается в положение «А–Б». При положительной полярности импульса тумблер «ЗАПУСК» канала А установить в положение

(передний фронт) тумблер «ЗАПУСК» канала Б в положение  $\lrcorner$  (задний фронт).

При отрицательной полярности наоборот. Затем провести настройку входных формирователей А и Б.

Переключатель «МЕТКИ ВРЕМЕНИ» поставить в положение, соответствующее наименьшей погрешности измерения.

В работе измеряются длительности импульсов, заданные преподавателем при установке измеряемых частот.

Основная относительная погрешность измерения длительности импульса вычисляется по формуле

$$\delta_{\tau_{и}} = \pm(\delta_o + \delta_{q\tau}) \cdot 100\%, \text{ где}$$

$\delta_o$  – относительная нестабильность частоты кварцевого генератора,

$\delta_o = 5 \cdot 10^{-6}$ ;  $\delta_{q\tau} = \frac{T_o}{\tau}$  – погрешность дискретности;  $T_o$  – период следования меток времени в мкс;  $\tau$  – измеренная длительность импульса в мкс.

Результаты измерений и вычислений свести в табл. 19.

Таблица 19

f, Гц	$\tau_{и}$ , мкс	$T_o$ , мкс	$\delta_{q\tau}$ , %	$\delta_{\tau}$ , %

### 5. Измерение временных интервалов

Блок-схема и методика измерения различных временных интервалов такие же, как и измерения длительности импульса. Тумблеры «ЗАПУСК» каналов А и Б устанавливаются в положение, соответствующее фронтам импульсов, между которыми измеряется временной интервал. Например, при положительной полярности импульсов и измерении временного интервала между импульсами тумблер «ЗАПУСК» канала Б – в положение  $\lrcorner$  (передний фронт) При отрицательной полярности импульсов наоборот.

В работе нужно измерить временной интервал между импульсами и период следования импульсов (как временной интервал между одинаковыми фронтами импульсов) для прежних значений частот и длительностей импульсов. Период следования меток времени  $T_o$  выбрать так, чтобы погрешность измерения была минимальной.

Основная погрешность измерения временных интервалов вычисляется по формуле также как в п. 3.

Данные измерений и вычислений свести в табл. 20.

Таблица 20

$f_x,$ Гц	$\tau_{и},$ мкс	$\tau,$ мкс	$T_x,$ мкс	$T_0,$ мкс	$\delta_{q\tau}$	$\delta_{\tau},\%$	$\delta_{qT},\%$	$\delta_T,$ %

### 5. Измерение отношения частот

Измерение отношения частот двух импульсных сигналов производится по блок-схеме (рис. 42).

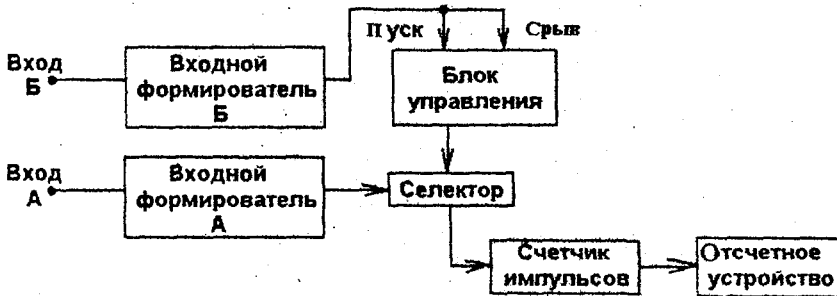


Рис. 42

На вход Б подается напряжение меньшей частоты, на вход А – большей. Из напряжения меньшей частоты формируется время  $T_B$ , равное его периоду, в течение которого селектор пропускает на счетчик импульсы большей частоты  $f_A$  (метки времени), число импульсов за время  $T_B$  равно отношению частот  $\frac{f_A}{f_B}$ , так как  $f_A = \frac{n}{T_B} = n \cdot f_B$ , откуда  $\frac{f_A}{f_B} = n$ .

Для измерения отношения частот переключатель рода работ ставится в положение « $\frac{F_A}{F_B}$ ».

Напряжение меньшей частоты подается на вход Б, большой – на вход А. Переключатель «МЕТКИ ВРЕМЕНИ» ставится в положение  $1ms$ . Производится настройка входных формирователей. Значения частот задаются преподавателем.

Основная погрешность измерения отношения частот импульсных сигналов не превышает  $\pm 1$  сд. счета.

П.А.Зубцов, А.В. Морозова

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ**

Учебное пособие к лабораторным работам

Техн. редактор А.В. Миних

**Издательство**

**Южно-Уральского государственного университета**

---

ЛР№020364. 10.04.97. Подписано в печать 18.01.99. Формат 60×84<sup>1</sup>/16. Печать  
офсетная. Усл.печ.л. 4,65. Уч.-изд.л. 5,92. Тираж 250 экз.Заказ 357/134.  
Цена 7 руб.

---

УСП Издательства. 454080, г.Челябинск, пр.им.В.И.Ленина, 76.