

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шебзухова Татьяна Александровна

Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского

федерального университета

Дата подписания: 27.05.2025 15:42:02

Уникальный программный ключ:

d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение**  
**высшего образования**

**«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Пятигорский институт (филиал) СКФУ**

**Колледж Пятигорского института (филиал) СКФУ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ**  
**ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

**Метрология и электротехнические изменения**

**Специальность СПО**

**09.02.01 Компьютерные системы и комплексы**

Методические указания для практических занятий по дисциплине Метрология и электротехнические изменения составлены в соответствии с ФГОС СПО. Предназначены для студентов, обучающихся по специальности 09.02.01 «Компьютерные системы и комплексы»

Рассмотрены на заседании ПЦК ИСТиД (филиал) СКФУ в г. Пятигорске  
Протокол №\_\_ от \_\_\_\_\_ 2025г.

Составитель  
Директор

Т.В. Икаева  
З.А. Михалина

## **ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

Данные методические указания предназначены для закрепления теоретических знаний и приобретения необходимых практических навыков и умений по программе дисциплины " Метрология и электротехнические измерения " для специальности СПО 09.02.01 Компьютерные системы и комплексы

Практические занятия составлены в соответствии с требованиями ФГОС по специальности.

Целями проведения практических занятий являются:

- обобщение, систематизацию, углубление, закрепление полученных теоретических знаний
- формирование умений применять полученные знания на практике, реализацию единства интеллектуальной и практической деятельности;

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен **уметь:**

- классифицировать основные средства измерений;
- применять основные методы и принципы измерения;
- применять методы и средства обеспечения единства и точности измерений;
- применять аналоговые и цифровые измерительные приборы, измерительные генераторы.

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен **знать:**

- основные понятия об измерениях и единицах физических величин;
- основные виды средств измерений и их классификацию;
- методы измерений;
- метрологические показатели средств измерений;
- виды и способы определения погрешностей измерений;
- принцип действия приборов формирования стандартных измерительных сигналов;
- влияние измерительных приборов на точность измерений;
- методы и способы автоматизации измерений тока, напряжения и мощности, механических величин.

## **Практическая работа №1.**

### **Тема 1. 1. Основные виды и методы измерений, их классификация**

Метрология – наука о средствах и методах измерений.

**Цель работы:** Изучение основ метрологии.

#### **Теоретическая часть:**

К числу технических средств измерения относятся меры, измерительные преобразователи, измерительные приборы и измерительные системы. Измерительным преобразователем называют устройство, предназначенное для преобразования измеряемого параметра в сигнал, удобный для дальнейшей передачи на расстояние или в цепь управляющего устройства.

Преобразователи подразделяют на первичные (датчики), промежуточные, передающие и масштабные. Измеряемую величину называют входной, а результат преобразования — выходным сигналом.

Первичные преобразователи предназначены для преобразования физических величин в сигналы, а передающие и промежуточные преобразователи формируют сигналы, удобные для передачи на расстояние и регистрации.

К масштабным относят преобразователи, с помощью которых измеряемая величина изменяется в заданное число раз, т. е. они не преобразуют одну физическую величину в другую.

Измерительным прибором называют устройство, предназначенное для выработки измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем (оператором). Измерительные приборы делят на две группы.

К первой группе относят аналоговые приборы, показания которых являются не прерывной функцией измеряемого параметра.

Вторая группа включает в себя цифровые приборы. Они вырабатывают дискретные сигналы измеряемой информации в цифровой форме.

Измерительная система объединяет измерительные преобразователи и приборы, обеспечивая измерения параметра без участия человека.

Государственный стандарт устанавливает применение Международной системы единиц (СИ) во всех областях науки и техники.

В состав СИ входят семь основных единиц, две дополнительные и двадцать семь важнейших производных единиц. В состав основных единиц входят: метр (м), килограмм (кг), секунда (с), ампер (А), кельвин (К), моль (моль), кандела (кд).

К дополнительным единицам системы СИ относятся радиан и стерадиан, а все остальные единицы являются производными. Например, единица силы — ньютон (Н), сообщает телу массой 1 кг ускорение  $1 \text{ м/с}^2$ ; единица давления — паскаль (Па), за единицу давления принимается такое равномерно распределенное давление, при котором на  $1 \text{ м}^2$  действует нормально к поверхности сила, равная 1 Н.

Все измерения делят на прямые и косвенные. При прямых измерениях числовое значение измеряемого параметра определяют непосредственно измерительным прибором: например, измерение температуры термометром или линейных размеров детали мерительным инструментом.

Косвенные измерения предусматривают определение искомого параметра на основании прямого измерения вспомогательной величины, связанной с измеряемым параметром определенной функциональной зависимостью. Например, определение объема тела по его длине, ширине и высоте или измерение температуры по изменению электропроводности термометра сопротивления.

#### **Ход работы:**

1. Изучить основы метрологии, виды и методы измерений, их классификация.
2. Изучить лекционный материал и ответить в тетради на следующие вопросы:
  1. Что изучает дисциплина метрология?
  2. Какое место занимает метрология среди других наук?

3. Дайте определение физической величины.
4. Что такое размерность физической величины?
5. Приведите примеры основных, дополнительных и производных физических величин.
6. По каким признакам классифицируются методы измерений?
7. Какие методы измерений вам известны?
8. Что такое условия измерений? Какими они бывают?
9. Что такое результат измерения и чем он характеризуется?
10. Дайте определения прямых, косвенных, совместных и совокупных видов измерений.
11. Приведите примеры измерений каждого вида.

## Практическая работа № 2.

### Тема 1. 2. Метрологические показатели средств измерений

#### Ознакомление со шкалами электроизмерительных приборов.

**Цель работы:** Изучение шкал электроизмерительных приборов.

**Перечень используемого оборудования** Электроизмерительные приборы.

#### Теоретическая часть:

Контроль работы электрооборудования осуществляется с помощью разнообразных электроизмерительных приборов. Наиболее распространенными электроизмерительными приборами являются приборы непосредственного отсчета. По виду отсчетного устройства различают аналоговые (стрелочные) и цифровые измерительные приборы.

У многих приборов есть общие по назначению части. Это корпус, зажимы, шкала, указательная стрелка, ограничители, винт корректора (рис.1). На корпусе некоторых приборов расположены переключатель пределов измерения и арретир. Внутри каждого прибора находится его главная часть — измерительный механизм. Отдельные приборы, например омметры, снабжены камерой, в которую помещают источник электропитания (гальванический элемент). У интегрирующих приборов, например у электросчетчиков, в отличие от показывающих приборов отсутствует указательная стрелка, но у них есть счетный механизм.

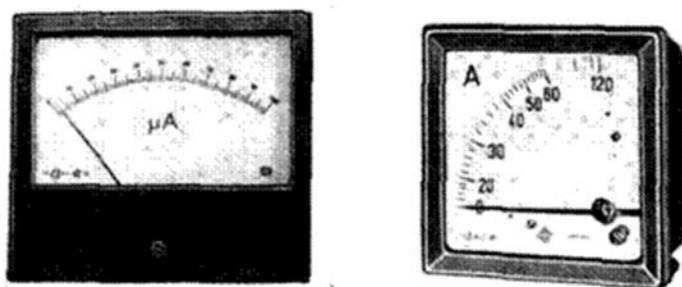


рис. 1

**Корпус** служит для защиты измерительного механизма от механических повреждений, от пыли. В зависимости от способа защиты внутреннего устройства прибора от внешних воздействий корпуса приборов могут быть обыкновенные, водо-, газо- и пылезащищенные, герметические и взрывобезопасные. К зажимам прибора присоединяют провода для включения его в электрическую цепь.

По **шкале** прибора отсчитывают значение измеряемой величины.

Внешний вид шкалы и нанесенные на нее условные обозначения зависят от назначения и конструкции прибора. На шкалу наносят черточки (вертикальные, горизонтальные, наклонные), называемые **о т м е т к а м и**. Отметку шкалы, соответствующую нулевому значению измеряемой величины, называют нулевой. Интервал между двумя соседними отметками носит название деления шкалы, а значение электрической величины, приходящееся на одно деление шкалы, — **цены деления**. Значение измеряемой величины, со-

ответствующее начальной отметке шкалы, называют начальным значением шкалы, а значение измеряемой величины, соответствующее конечной отметке шкалы – конечным значением. Разность между конечным и начальным значениями измеряемой величины является рабочим диапазоном измерений. Шкалы бывают равномерными (все деления шкалы одинаковые) и неравномерными (деления шкалы неодинаковы). На шкале многих приборов параллельно отметкам расположена зеркальная полоса, что позволяет уменьшить ошибки при снятии показаний. Глаз, стрелка и ее отражение в зеркальной полосе должны находиться на одной линии.

**Указательная стрелка** нужна для отсчета по шкале значения измеряемой величины. Стрелку делают из алюминия или его сплавов. Стрелка соединена с измерительным механизмом, под действием которого она отклоняется (перемещается). Чтобы при движении стрелка не касалась корпуса (и в результате не погнулась), на шкале есть амортизирующие ограничители.

С помощью **винта корректора** непосредственно перед измерением стрелку устанавливают точно против нулевой отметки шкалы. Для этого винт корректора слегка поворачивают отверткой.

**Переключатели пределов** измерения установлены у тех приборов, которые служат для измерения электрических величин в нескольких пределах. В этом случае перед включением прибора переключатель устанавливают так, чтобы имеющаяся на нем точка (пометка) оказалась против требуемого предела измерения. Переносные приборы снабжены арретиром, с помощью которого закрепляют в неподвижном положении измерительный механизм, чтобы при транспортировке прибора он не повредился. На лицевой стороне стрелочных приборов изображены условные обозначения, определяющие классификационную группу прибора. Они позволяют правильно выбрать приборы и дают некоторые указания по их эксплуатации.

В цепях постоянного тока для измерений токов и напряжений применяются в основном приборы магнитоэлектрической системы. Принцип действия таких приборов основан на взаимодействии магнитного поля постоянного магнита и измеряемого тока, протекающего по катушке. Угол поворота стрелки  $\alpha$  прямо пропорционален измеряемому току  $I$ :  $\alpha = K I$ . Шкалы магнитоэлектрических приборов равномерные.

В измерительных механизмах электромагнитной системы, применяемых для измерений в цепях переменного и постоянного тока, вращающий момент обусловлен действием магнитного поля измеряемого тока в неподвижной катушке прибора на подвижный ферромагнитный якорь. Угол поворота стрелки  $\alpha$  здесь пропорционален квадрату тока:  $\alpha = K I^2$ . Поэтому шкала электромагнитных приборов обычно неравномерная, что является недостатком этих приборов. Начальная часть шкалы не используется для измерений. Для измерений токов и напряжений в цепях переменного тока применяются также приборы выпрямительной системы. Такие приборы содержат выпрямительный преобразователь и магнитоэлектрический измерительный механизм. Они имеют более линейную шкалу, чем приборы электромагнитной системы и достаточно широкий частотный диапазон.

Для практического использования стрелочного измерительного прибора необходимо знать его предел измерений (номинальное значение) и цену деления (постоянную) прибора. **Предел измерений** – это наибольшее значение электрической величины, которое может быть измерено данным прибором. Это значение обычно указано на лицевой стороне прибора. Один и тот же прибор может иметь несколько пределов измерений. Цена деления прибора называется значением измеряемой величины, соответствующее одному делению шкалы прибора. Цена деления прибора -  $C$  легко определяется как отношение предела измерений  $A_{ном}$  к числу делений шкалы  $N$ :  
$$C = A_{ном} / N.$$

На лицевой стороне стрелочных прибора указывается класс точности, который определяет приведенную, относительную, погрешность прибора.

**Точность** измерительного прибора – это его свойство, характеризующее степень приближения показаний данного измерительного прибора к действительным значениям измеряемой величины, определяется той наименьшей величиной, которую с помощью этого прибора можно определить надёжно.

Точность прибора зависит от цены наименьшего деления его шкалы и указывается или на самом приборе, или в заводской инструкции (паспорте). Заметим, что точность измерений  $\beta$  обратно пропорциональна относительной погрешности измерений

$$\beta = \frac{1}{E}$$

**Погрешность** электроизмерительных приборов определяется классом точности (или приведенной погрешностью  $E_{пр}$ ), который указывается на лицевой стороне прибора соответствующей цифрой в кружке. Классом точности прибора  $K$  называют выраженное в процентах отношение абсолютной погрешности  $\Delta x$  к предельному (номинальному) значению  $x_{пр}$  измеряемой величины, т. е. к наибольшему её значению, которое может быть измерено по шкале прибора (предел измерения):

$$K = \frac{\Delta x}{x_{пр}} \cdot 100\%$$

Зная **класс точности** и предел измерения прибора, можно рассчитать его абсолютную погрешность:

$$\Delta x = \frac{K \cdot x_{пр}}{100}$$

Эта погрешность одинакова для любого измерения сделанного с помощью данного прибора. Классов точности семь: 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Приборы первых трех классов точности (0,1; 0,2; 0,5) называются *прецизионными* и используются при точных научных измерениях, приборы остальных классов точности называются *техническими*. Приборы без указания класса точности считаются внеклассными.

Пример. Сила тока измеряется в цепи амперметром, класс точности которого  $K=0,5$ , а шкала имеет предел измерения  $I_{пр}=10$  А. Находим абсолютную погрешность амперметра:

$$\Delta I = \frac{K \cdot I_{пр}}{100} \qquad \Delta I = \frac{0,5 \cdot 10,4}{100} = 0,05 \text{ А}$$

Отсюда следует, что амперметр позволяет измерять силу тока с точностью не более 0,05 А, и поэтому нецелесообразно делать отсчёт по шкале прибора с большей точностью.

Допустим, что с помощью данного амперметра были измерены три значения силы тока:  $I_1=2$  А;  $I_2=5$  А;  $I_3=8$  А. Находим для каждого случая относительную погрешность:

$$E_1 = \pm \frac{0,05 \text{ А}}{2 \text{ А}} 100\% = 2,5\% \quad ; \quad E_2 = \pm \frac{0,05 \text{ А}}{5 \text{ А}} 100\% = 1\% \quad E_3 = \pm \frac{0,05 \text{ А}}{8 \text{ А}} 100\% = 0,6\%$$

Из этого примера следует, что в третьем случае относительная погрешность самая маленькая, то есть чем больше величина отсчёта по прибору, тем меньше относительная погрешность измерения. Вот почему для оптимального использования приборов рекомендуется их подбирать так, чтобы значение измеряемой величины находилось в конце шкалы прибора. В этом случае относительная погрешность приближается к классу точности прибора. Если точность прибора неизвестна, то абсолютная погрешность принимается равной половине цены наименьшего деления (линейка, термометр, секундомер). Для штангенциркуля и микрометра – точность их нониусов (0,1 мм, 0,01 мм).

Примечания: 1) При отсчетах следует следить за тем, чтобы луч зрения был перпендикулярен шкале. Для устранения так называемой ошибки параллакса на многих

приборах устанавливается зеркало («зеркальные приборы»). Глаз экспериментатора расположен правильно, если стрелка прибора закрывает свое изображение в зеркале.

2) При косвенных измерениях (например, определение объема цилиндра по его диаметру и высоте) следует определять все измеряемые величины с приблизительно одинаковой относительной точностью.

3) При обработке результатов измерений следует помнить, что точность вычислений должна быть согласована с точностью самих измерений. Вычисления, произведенные с большим, чем это необходимо, числом десятичных знаков, приводят к большому объему ненужной работы. Например, если хотя бы одна из величин в каком-либо выражении определена с точностью до двух значащих цифр, то нет смысла вычислять результат с точностью, большей двух значащих цифр. В тоже время в промежуточных расчетах рекомендуется сохранять одну лишнюю цифру, которая в дальнейшем – при записи окончательного результата – будет отброшена. В теории погрешностей из существующих правил округления имеется следующее исключение: при округлении погрешностей последняя сохраняемая цифра увеличивается на единицу, если старшая отбрасываемая цифра 3 или больше 3.

4) Примеры окончательной записи результатов измерений:

Правильно Неправильно

$84 \pm 1$   $84,5 \pm 1$

$2780 \pm 14$   $2782 \pm 14$

$350 \pm 38$   $352 \pm 38$

$52,7 \pm 0,3$   $52,72 \pm 0,3$

$13,840 \pm 0,013$   $13,8362 \pm 0,013$

$4,750 \pm 0,006$   $4,75 \pm 0,006$

$5390 \pm 28$   $5391 \pm 28$

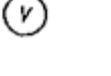
В табл. 1 приведены некоторые условные обозначения, приводимые на лицевых панелях стрелочных измерительных приборов, определяющие их свойства и условия эксплуатации.

При проведении измерений в электрических цепях широкое применение получили цифровые измерительные приборы, например мультиметры – комбинированные цифровые измерительные приборы, позволяющие измерять постоянное и переменное напряжение, постоянный и переменный ток, сопротивления, проверять диоды и транзисторы. Представление результата измерения происходит на цифровом отсчетном устройстве в виде обычных удобных для считывания десятичных чисел. Наибольшее распространение в цифровых отсчетных устройствах мультиметров получили жидкокристаллические и светодиодные индикаторы. В лабораторном стенде используются цифровые приборы для измерения постоянных и переменных токов, а также цифровой измеритель мощности. Для переключения режима работы цифровых амперметров стенда (РА1, РА2, РА3 и РА4) на его передней панели установлен тумблер, который для измерения постоянного тока следует установить в позицию «=», для измерения действующих значений переменных токов – в позицию «~». Для измерения постоянного тока входная клемма (+) цифрового амперметра выделена красным цветом.

Цифровой измеритель мощности предназначен для измерения параметров электрической цепи:

- действующего значения напряжения  $U$  (True RMS) в диапазоне 0...30 В;
- действующего значения тока  $I$  (True RMS) в диапазоне 0...300 мА;
- активной мощности  $P$  в диапазоне 0...600 Вт;
- частоты  $f$  в диапазоне 35...400 Гц;
- $\cos \phi$ ;
- угла сдвига фаз  $\phi$  ( $F_i$ ) между током и напряжением.

Таблица 1

	прибор магнитоэлектрический с подвижной рамкой
	Логометр^ магнитоэлектрический
	Прибор электромагнитный
	Логометр электромагнитный
	Прибор электродинамический
	Прибор ферродинамический
	Логометр электродинамический
	Логометр ферродинамический
	Прибор индукционный
	Прибор тепловой с нагреваемой нитью
	Прибор биметаллический
	Прибор вибрационный
	Прибор электростатический
	Прибор астатический
	Прибор или вспомогательная часть под высоким напряжением
	Прибор применять при вертикальном положении шкалы
	Прибор применять при горизонтальном положении
	Прибор применять при наклонном положении шкалы относительно горизонтальной плоскости, например под углом 60°
	Термопреобразователь неизолированный

	Термопреобразователь изолированный
	Преобразователь электронный в измерительной цепи
	Преобразователь электронный во вспомогательной цепи
	Экран электростатический
	Экран магнитный
	Магнитная индукция, выраженная в миллитеслах (2 мТл), вызывающая изменение показаний, соответствующее обозначению класса точности
	Электрическое поле, выраженное в киловольтах на метр (10 к В/м), вызывающее изменение показаний, соответствующее обозначению класса точности
	Корректор
	Зажим для заземления
	Напряжение испытательное 500 В
	Напряжение испытательное выше 500 В (2 кВ)
	Прибор не подлежит испытанию прочности изоляции
	Обозначение класса точности (1,5) при нормировании пределов допускаемых погрешностей в процентах от нормируемого значения, определенного в единицах измеряемой величины, за исключением случая» когда нормируемое значение равно длине шкалы
	Обозначение класса точности (1,0) при нормировании пределов допускаемых погрешностей в процентах от нормируемого значения, когда нормируемое значение равно длине шкалы
	Обозначение класса точности (0,2) при нормировании пределов допускаемых погрешностей в процентах от действительного значения
	Ссылка на соответствующий документ к прибору
	Обозначение, указывающее на ориентирование прибора во внешнем магнитном поле
	Ток постоянный
	Ток переменный однофазный



Ток постоянный и переменный

Ток трехфазный переменный. Общее обозначение

А	А (или отсутствие буквы) – прибор для сухих отапливаемых помещений с температурой +10°C ... +35°C и влажности до 80% при 30°C;
Б	Б – прибор для закрытых не отапливаемых помещений с температурой - 30°C ... +40°C и влажности до 90% при 30°C; В – приборы для полевых и морских условий: В1 – при температуре -40°C ... +50°C и В2 – при температуре -50°C ... +60°C и влажности до 95% при 35°C;
В1; В2; В3	В3 – при температуре -40°C ... +50°C и влажности до 98% при 40°C
30 – 200 Hz	Рабочий частотный диапазон прибора

Прибор содержит:

- клеммы подачи входного измеряемого сигнала (генератора): клемму «Вх» и общую клемму, клеммы подключения потребителя (нагрузки): клемму «Вых» и общую клемму. Шунт для измерения тока нагрузки подключен между клеммами «Вх» и «Вых»;
- жидкокристаллический четырехстрочный индикатор для вывода информации;
- кнопку «f/cosφ/φ» изменения вывода информации в четвертой строке индикатора (соответственно, частоты, коэффициента мощности cosφ или угла сдвига фаз  $F_i$  между током и напряжением).

С задней стороны прибора установлены розетка для подключения питания сети и колодка предохранителя.

С помощью кнопки «f/cosφ/φ» можно изменять вывод информации в четвертой строке индикатора. Для вывода требуемого параметра в четвертой строке индикатора кнопку необходимо нажать на 1...2 секунды.

**Изменения схемы подключения прибора и лабораторной установки выполнять при выключенном питании прибора.** В противном случае возможны изменения показаний прибора, а также возникновение нарушений в работе индикатора прибора.

#### **Порядок выполнения работы.**

Изучить паспортные данные и лицевые панели стрелочных электроизмерительных приборов.

Заполнить табл. 2.

Таблица 2

<b>Характеристика электроизмерительного прибора</b>		
<b>Наименование прибора</b>	амперметр	вольтметр
Система измерительного механизма		
Предел измерения		
Цена деления		
Минимальное значение измеряемой величины		
Класс точности		
Допустимая максимальная абсолютная погрешность		
Род тока		

Нормальное положение шкалы		
Прочие характеристики		

#### 4. Содержание отчета

1. наименование работы и цель работы;
2. технические данные измерительных приборов;
3. выводы по работе.

#### 5. Ответить на вопросы

1. Что позволяют правильно выбрать приборы и дают некоторые указания по их эксплуатации.
2. Что такое предел измерения?
3. Как определяется цена деления прибора?
4. Что характеризует класс точности прибора?
5. В какой части шкалы прибора измерение точнее и почему?

### Практическая работа № 3.

#### Тема 1. 2. Метрологические показатели средств измерений

#### Обработка результатов измерений.

**Цель работы:** Приобретение и систематизация навыков обработки результатов измерений.

**Перечень используемого оборудования** Показания электроизмерительных приборов.

#### Теоретическая часть:

Пусть проведено  $n$  измерений величины и получено  $x$  её значений:  $x_1; x_2; x_3; \dots x_n$ . Полученные результаты необходимо свести в таблицу. Пропуски отбрасывают.

№ п/п (i)	1	2	3	4	...	n
$x_n$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	...	$x_n$

1. Находим среднее арифметическое значение  $x$  измеряемой величины:

$$\langle x_n \rangle = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

2. Вычисляем абсолютные погрешности результатов отдельных измерений  $x_i$ , как разности между средним значением измеряемой величины и значением, полученным при данном измерении:

$$\Delta x_1 = \langle x \rangle - x_1$$

$$\Delta x_2 = \langle x \rangle - x_2$$

$$\Delta x_3 = \langle x \rangle - x_3$$

.....

$$\Delta x_n = \langle x \rangle - x_n$$

Знак «+» (или «-») у абсолютной погрешности данного значения означает, что результат этого измерения получился больше (или меньше) среднего значения измеряемой величины.

3. Вычисляем среднюю абсолютную погрешность всего опыта, как среднее арифметическое абсолютных значений (модулей) абсолютных погрешностей отдельных измерений.

$$\langle \Delta x \rangle = \frac{|\Delta x_1| + |\Delta x_2| + |\Delta x_3| + \dots + |\Delta x_n|}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\Delta x_i|$$

4. Сравнивают полученное значение средней абсолютной погрешности  $\langle \Delta x \rangle$  с абсолютной погрешностью измерительного прибора  $\Delta x_{\text{пр}}$ . Если при сравнении окажется, что **больше**  $\Delta x_{\text{пр}}$ , то конечный результат записывают в виде:

$$x = \langle x \rangle \pm \langle \Delta x \rangle_0.$$

Если окажется, что  $\langle \Delta x \rangle$  меньше  $\Delta x_{\text{пр}}$ , то конечный результат измерения должен быть записан в виде:  $x = \langle x \rangle \pm \Delta x_{\text{пр}}$ .

Такая замена вызвана тем, что с помощью данного измерительного прибора принципиально нельзя измерить величину с большей точностью, чем точность самого прибора, определяемая его собственной погрешностью.

5. Вычисляют относительную погрешность результата серии измерений:

$$E = \frac{\langle \Delta x \rangle}{\langle x \rangle} \cdot 100\% \quad \text{или} \quad E = \frac{\Delta x_{\text{пр}}}{\langle x \rangle} \cdot 100\%$$

Данный метод не даёт точных результатов и поэтому в научных исследованиях, как правило, не используется. Его можно применять для расчета погрешностей в условиях учебного процесса, когда проведено не более 5 измерений, т.е. это облегченный вариант математической обработки результатов малого количества измерений.

**Пример.** При измерении сопротивления резистора омметром было сделано 5 измерений, результаты которых занесены в таблицу:

№ п/п	1	2	3	4	5
R, Ом	3,00	2,99	3,00	3,01	3,00

1. Вычисляем среднее арифметическое сопротивление резистора (промахи отсутствуют):

$$R = \frac{3,00 + 2,99 + 3,00 + 3,01 + 3,00}{5} = 3,00$$

2. Вычисляем абсолютные погрешности результатов отдельных измерений:

$$\Delta R_1 = 3,00 \text{ Ом} - 3,00 \text{ Ом} = 0,00 \text{ Ом}$$

$$\Delta R_2 = 3,00 \text{ Ом} - 2,99 \text{ Ом} = 0,01 \text{ Ом}$$

$$\Delta R_3 = 3,00 \text{ Ом} - 3,00 \text{ Ом} = 0,00 \text{ Ом}$$

$$\Delta R_4 = 3,00 \text{ Ом} - 3,01 \text{ Ом} = -0,01 \text{ Ом}$$

$$\Delta R_5 = 3,00 \text{ Ом} - 3,00 \text{ Ом} = 0,00 \text{ Ом}$$

3. Находим среднюю абсолютную погрешность серии измерения сопротивления резистора:

$$\langle \Delta R \rangle = \frac{0,00 \text{ Ом} + 0,01 \text{ Ом} + 0,00 \text{ Ом} + 0,01 \text{ Ом} + 0,00 \text{ Ом}}{5} = 0,004 \text{ Ом}$$

4. Сравним полученное значение средней абсолютной погрешности измерения сопротивления с абсолютной погрешностью используемого омметра.

Класс точности омметра 0,1. Верхний предел шкалы 5 Ом. Абсолютная погрешность

омметра равна  $\langle \Delta R_{\text{пр}} \rangle = \frac{0,1 \cdot 5 \text{ Ом}}{100} = 0,005 \text{ Ом}$

Так как  $\langle \Delta R \rangle$  меньше  $\langle \Delta R_{\text{пр}} \rangle$ , то за абсолютную погрешность измерения прини-

маем абсолютную погрешность омметра  $\langle \Delta R_{\text{пр}} \rangle = 0,005 \text{ Ом}$

5. Записываем конечный результат измерения сопротивления резистора:

$$R = (3,000 \pm 0,005) (\tilde{R})$$

6. Относительная погрешность равна:

$$E = \pm \frac{0,005}{3,000} \cdot 100\% = 0,17\%$$

**Задачи для самостоятельного решения.**

1. С помощью микроскопа измеряли диаметр эритроцитов человека. При этом были получены следующие значения: 5мкм, 8мкм, 11мкм, 6мкм. Найти доверительный интервал размера эритроцита с доверительной вероятностью 0,95.

- Милливольтметром на 400 В (номинальное значение шкалы) измерены напряжения в 50мВ, 200мВ, 300мВ. Определить абсолютную и относительную погрешности для каждого случая, если класс точности прибора 1,0. Дополнительными погрешностями пренебречь.
- Почему рекомендуется подбирать электроизмерительные приборы с известным классом точности так, чтобы измеряемая величина составляла 70-90% от величины, на которую рассчитана вся шкала прибора?

**Пример решения задачи:**

**Задача:** В урне находится 8 шаров: 5 белых и 3 чёрных. Из неё наугад извлекают один шар. Какова вероятность  $P(A)$  того, что этот шар белый? Вероятность  $P(B)$ , что этот шар чёрный?

**Решение.** *Анализируем условие задачи.*

В урне находятся одинаковые шары, которые отличаются друг от друга только цветом. При извлечении шаров наугад появление каждого из них следует считать равновероятными событиями. Пусть  $m$  – число благоприятствующих событий,  $n$  – число всех возможных независимых событий при однократном испытании.

*Запишем условие и решение задачи в символической форме.*

В соответствии с классическим определением  $P(A) = \frac{m}{n}$  вероятности. Тогда вероятность извлечения:  $P(A) = \frac{m}{n} = \frac{5}{8} = 0,625$  -для белого шара

Опр.  $P(A)$  и  $P(B)$

$$m_A = 5$$

$$m_B = 3$$

$$n = 8$$

$$1) \text{ белого шара } P(A) = \frac{m_A}{n} = 5/8 = 0,625 \quad 2) \text{ чёрного } P(A) = \frac{m_B}{n} = 3/8 = 0,375$$

**Ответ:** вероятность появления белого шара 0,625, вероятность появления чёрного шара 0,375.

**Практическая работа №4.**

**Тема 2.1. Электромеханические приборы.**

**Изучение измерительных приборов различных систем.**

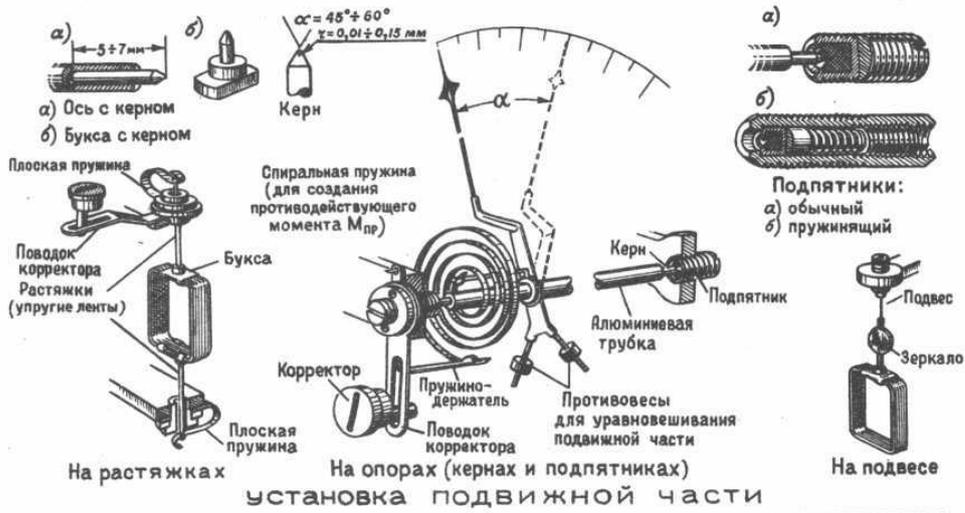
**Цель работы:** Изучение узлов и деталей электроизмерительных приборов. Изучить систему обозначений измерительных приборов в соответствии с ГОСТ 15094-89. Ознакомиться с принципом действия измерительных механизмов различных систем. Дать сравнительную характеристику.

**Перечень используемого оборудования**

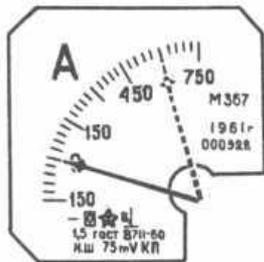
Чертежи, макеты и таблицы электромеханических приборов Электроизмерительные приборы. ГОСТ 15094-89 «Приборы электронные радиоизмерительные.

**Теоретическая часть:**

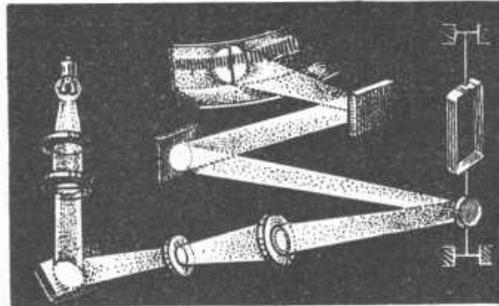
**I**



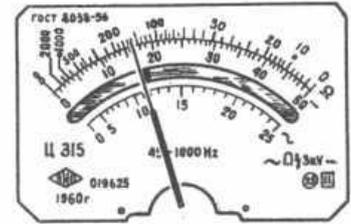
На подвижную часть измерительного прибора действуют вращающий  $-M_{вр}$  и противодействующий  $-M_{пр}$  моменты.  $M_{вр}$  должен являться функцией измеряемой величины, а  $M_{пр}$ , создаваемый пружиной, растяжками или подвесом, должен быть пропорционален только углу отклонения  $\alpha$  ( $M_{вр} = \alpha W$ , где  $W$  - удельный противодействующий момент, определяемый только размерами и материалом спиральной пружины, растяжек или подвеса). При  $M_{вр} = M_{пр}$ , наступает установившееся отклонение  $\alpha$ .



Шкала со стрелочным указателем  
[Длина стрелки влияет на величину перемещения ( $\alpha$ ) по шкале]



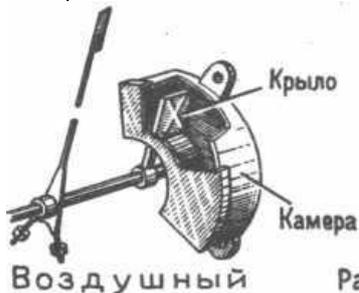
Световое отсчетное устройство  
[Внутренний световой отсчет при искусственном удлинении светового указателя значительно повышает чувствительность прибора]



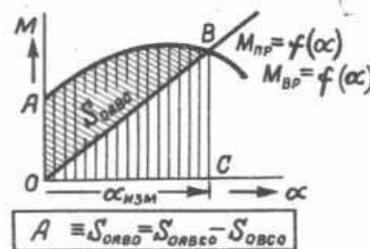
Зеркальная шкала со стрелкой  
[Зеркальная шкала повышает точность отсчета  $\alpha$ ]

**ОТСЧЕТНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ**

Характер шкалы измерительного прибора определяется закономерностью изменения  $M_{вр}$  и  $M_{пр}$ .



Воздушный



Работа, совершаемая усложнителем

**УСПОКОИТЕЛИ**



Магнитоиндукционный

Успокоители обеспечивают быстрое достижение установившегося отклонения  $\alpha$ , малое время успокоения - меньше 4 сек

**Порядок выполнения работы.**

1. Изучить устройство электроизмерительных приборов.
2. Заполнить табл. 2.

Таблица 1

Наименование деталей	Название узла (куда входит)	назначение
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		
7.		

## II

В соответствии с ГОСТ 15094-89 «Приборы электронные радиоизмерительные. Классификация. Наименования и обозначения», все электронные радиоизмерительные приборы, в зависимости от характера измерений и вида измеряемых величин делятся на 20 подгрупп. Каждая подгруппа обозначается заглавными буквами русского алфавита и состоит из нескольких видов, обозначаемых цифрами по порядку. Каждому типу прибора присвоены порядковые номера, перед которыми ставится черточка (дефис), например, В3-17.

Классификация предусматривает следующие подгруппы и виды приборов:

### **Подгруппа А. Приборы для измерения силы тока.**

А1 - установки или приборы для поверки амперметров;  
 А2 - амперметры постоянного тока;  
 А3 - амперметры переменного тока;  
 А7 - амперметры универсальные;  
 А9 - преобразователи тока.

### **Подгруппа В. Приборы для измерения напряжения.**

В1 - приборы или установки для поверки вольтметров;  
 В2 - вольтметры постоянного тока;  
 В3 - вольтметры переменного тока;  
 В4 - вольтметры импульсного тока;  
 В5 - вольтметры фазочувствительные (векторометры);  
 В6 - вольтметры селективные;  
 В7 - вольтметры универсальные;  
 В8 - измерители отношения напряжений и (или) разности напряжений;  
 В9 - преобразователи напряжения.

Подгруппа Д. Атенаторы и приборы для измерения ослабления.

### **Подгруппа Б. Источники питания для измерений или измерительных приборов.**

Б2 - источники переменного тока;  
 Б4- источники калиброванного напряжения и тока;  
 Б5 - источники постоянного тока;  
 Б6 - источники с регулируемыми параметрами;  
 Б7 - источники постоянного и переменного тока универсальные.

### **Подгруппа Г. Генераторы измерительные.**

Г1 - установки для поверки измерительных генераторов;  
 Г2 - генераторы шумовых сигналов;  
 Г3 - генераторы сигналов низкочастотные;  
 Г4 - генераторы сигналов высокочастотные;  
 Г5 - генераторы импульсов;  
 Г6 - генераторы сигналов специальной формы;  
 Г8 - генераторы качающейся частоты.

Подгруппа Е. Приборы для измерения параметров компонентов и цепей с сосредоточенными постоянными.

Е1 - установки или приборы для поверки измерителей параметров компонентов и цепей;  
 Е2 - измерители полных сопротивлений и (или) проводимостей;  
 Е3 - измерители индуктивности;  
 Е4 - измерители добротности;

Подгруппа И. Приборы для импульсных измерений.

Подгруппа Л. Приборы общего применения для измерения параметров электронных ламп и полупроводниковых приборов.

Л2 - измерители параметров (характеристик) полупроводниковых приборов;

Л3 - измерители параметров (характеристик) электронных ламп;

Л4 - измерители шумовых параметров полупроводниковых приборов.

Подгруппа П. Приборы для измерения напряженности поля и радиопомех.

Подгруппа С. Приборы для наблюдения, измерения и исследования форм сигнала и спектра.

С1 - осциллографы универсальные;

С2 - измерители коэффициента амплитудной модуляции (модулометры);

С3 - измерители девиации частоты (девиометры);

С4 - анализаторы спектра;

С6 - измерители нелинейных искажений;

С7 - осциллографы скоростные, стробоскопические;

С8 - осциллографы запоминающие;

С9 - осциллографы специальные.

Подгруппа Ф. Приборы для измерения фазового сдвига и группового времени запаздывания.

Ф1 - установки или приборы для проверки измерителей фазового сдвига или группового времени запаздывания;

Ф2 - измерители фазового сдвига;

Е6 - измерители сопротивлений;

Е7 - измерители параметров универсальные;

Е8 - измерители емкостей;

Е9 - преобразователи параметров компонентов и цепей.

Подгруппа К. Комплексные измерительные установки

Подгруппа М. Приборы для измерения мощности.

Подгруппа Р. Приборы для измерения параметров элементов и трактов с распределенными постоянными.

Р1 - линии измерительные;

Р2 - измерители коэффициента стоячей волны;

Р3 - измерители полных сопротивлений;

Р4 - измерители комплексных коэффициентов передач;

Р5 - измерители параметров линий передач;

Р6 - измерители добротности;

Р9 - преобразователи параметров.

Подгруппа У. Усилители измерительные.

Подгруппа Х. Приборы для наблюдения и исследования характеристики радиоустройств.

Х1 - приборы для исследования амплитуды частотных характеристик;

Х2 - приборы для исследования переходных характеристик;

Ф3 - фазовращатели измерительные;  
Ф4 - измерители группового времени запаздывания.

Подгруппа Ч. Приборы для измерения частоты и времени.

Ч1 - установки для поверки измерителей частоты, воспроизведения образцовых частот, сличения частот сигналов;

Ч2 - частотомеры резонансные;

Ч3 - частотомеры электронно-счетные;

Ч4 - частотомеры гетероидные, емкостные, мостовые;

Ч5 - преобразователи частоты сигнала;

Ч6 - синтезаторы частот; делители и умножители частоты;

Ч7 - приемники сигналов эталонных частот; компараторы частотные, фазовые, временные; синхронметры;

Ч9 - преобразователи частоты.

Подгруппа Э. Измерительные устройства коаксиальных и волновых трактов.

Х3 - приборы для исследования фазочастотных характеристик;

Х4 - приборы для исследования амплитудных характеристик;

Х5 - измерители коэффициента шума;

Х6 - приборы для исследования корреляционных характеристик;

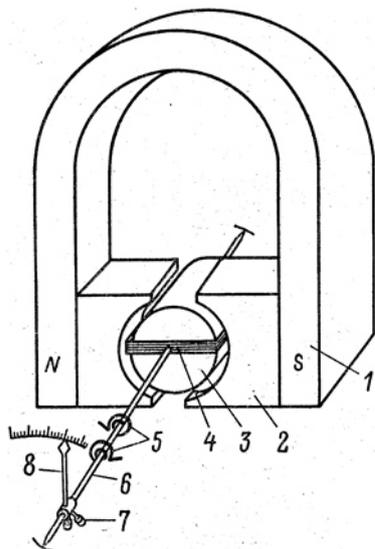
Х8 - установки или приборы для поверки измерителей характеристик радиоустройств.

Подгруппа Ш. Приборы для измерения электрических и магнитных свойств материалов.

Подгруппа Я. Блоки радиоизмерительных приборов.

### Измерительные механизмы магнитоэлектрической системы.

Магнитоэлектрическая система.

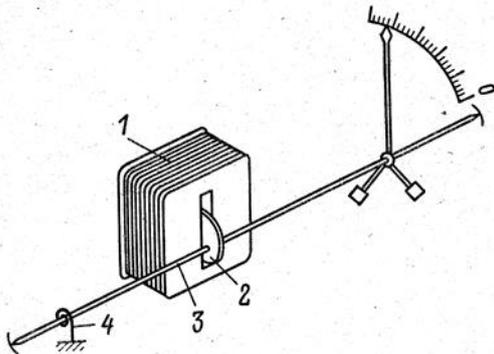


1 Устройство магнитоэлектрического измерительного механизма с неподвижным магнитом.

Магнитоэлектрические механизмы конструктивно могут быть выполнены с неподвижным магнитом и подвижной рамкой или с подвижным магнитом и неподвижной рамкой. Более широкое применение находят механизмы с неподвижным магнитом. Устройство магнитоэлектрического измерительного механизма с неподвижным магнитом.

Магнитная цепь измерительного механизма состоит из постоянного магнита 1 с полюсными наконечниками 2 и неподвижного стального сердечника 3. Полюсные наконечники имеют цилиндрическую расточку и выполнены, так же как и сердечник, из магнитомягкой стали. В воздушном зазоре между полюсными наконечниками и сердечниками образуется равномерное радиальное магнитное поле. В этом поле может свободно поворачиваться легкая алюминиевая рамка 4, на которой намотана обмотка из тонкого медного или алюминиевого изолированного провода. Рамка установлена на полуосях 6 и имеет прямоугольную форму. Пружины 5 со-

## 2 Измерительные механизмы электромагнитной системы.



Устройство измерительного механизма с плоской неподвижной катушкой.

## 3 Астатические измерительные механизмы.

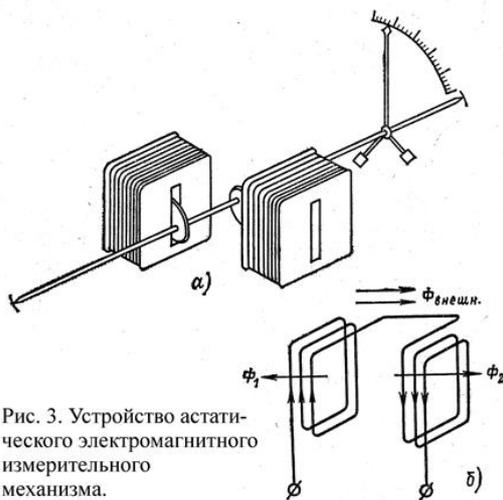


Рис. 3. Устройство астатического электромагнитного измерительного механизма.

## 4 Измерительные механизмы электродинамической и ферродинамической систем.

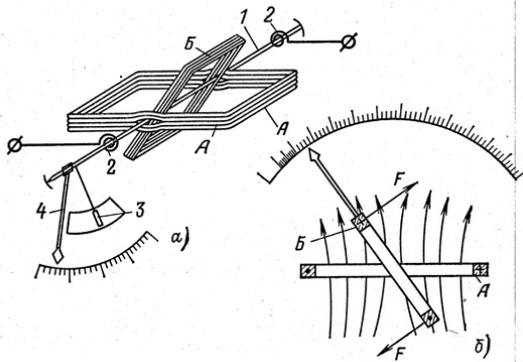
здают противодействующий момент и одновременно служат для подвода тока к обмотке. На одной из полуосей закреплена указательная стрелка 8 с противовесами 7.

Существует две основные разновидности измерительных механизмов электромагнитной системы: с плоской катушкой и с круглой катушкой.

Рис. 2. Устройство измерительного механизма. Неподвижная катушка 1 имеет воздушный зазор в виде узкой щели. Подвижный плоский сердечник 2 эксцентрично закреплен на оси 3. При протекании тока по катушке образуется магнитное поле и сердечник втягивается в щель. Таким образом создается вращающий момент, ось поворачивается вместе с указательной стрелкой, пружина 4 закручивается, в результате чего возникает противодействующий момент. Успокоители в электромагнитных механизмах применяют воздушные или магнитоиндукционные (на рисунке успокоитель не показан).

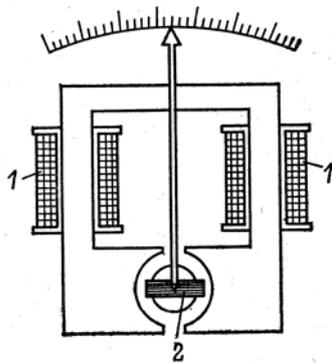
Практически исключить влияние внешних магнитных полей удастся в астатических измерительных механизмах. Устройство такого механизма показано на рис. 3, а. Этот механизм имеет две катушки, соединенные между собой последовательно, и два сердечника, укрепленные на одной оси. Вращающие моменты, действующие на ось при втягивании сердечников, направлены в одну сторону. Таким образом, подвижная часть поворачивается под действием суммы двух моментов. Направления обмоток выбраны так, что магнитные потоки катушек  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  (рис. 3, б) направлены встречно. При появлении внешнего магнитного поля с потоком  $\Phi_{внеш}$  поле одной катушки усиливается, другой - ослабляется. Тогда один вращающий момент увеличивается, другой - ослабляется. Сумма вращающих моментов, действующих на подвижную часть прибора, остается неизменной.

Схема устройства представлена на рис. 4 а. Он состоит из неподвижной катушки А, внутри которой может поворачиваться подвижная катушка Б. Неподвижная катушка, состоящая обычно из двух секций, наматывается толстым медным проводом и имеет малое количество витков. Подвижная катушка имеет большое количество витков проводом малого сечения. На оси 1 помимо подвижной катушки укреплены спиральные пружины 2, указательная стрелка 4 и крыло воздушного успокоителя 3. Магнитоин-



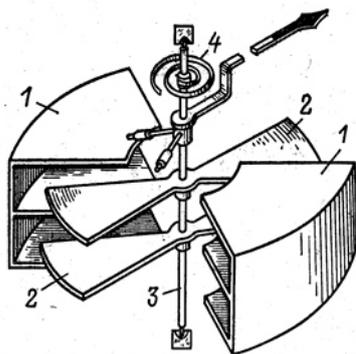
Устройство измерительного механизма электродинамической системы (а) и схема, поясняющая принцип его действия (б)

5



Устройство ферродинамического измерительного механизма

6. Измерительные механизмы электростатической системы



дукционные успокоители в электродинамических приборах применяются редко. Ток к подвижной катушке подводится через спиральные пружины (или растяжки), которые одновременно служат для создания противодействующего момента.

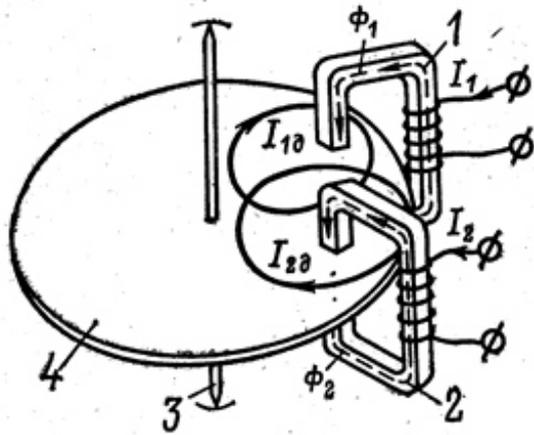
При прохождении измеряемого тока по катушкам в результате взаимодействия магнитного поля подвижной катушки с магнитным полем тока неподвижной катушки создается вращающий момент (рис. 4, б). Подвижная катушка стремится занять положение, когда магнитные поля катушек совпадают. На постоянном токе принципы действия электродинамического и магнитоэлектрического механизмов аналогичны. Только в электродинамическом приборе магнитное поле создается не постоянным магнитом, а током неподвижной катушки.

### 5. Устройство ферродинамического измерительного механизма.

Ферродинамические измерительные механизмы отличаются от электродинамических наличием магнитопровода внутри не подвижной катушки 1 и подвижной катушки 2. Это позволяет получить сильное магнитное поле в воздушном зазоре и большой вращающий момент. Увеличение вращающего момента повышает чувствительность приборов и дает возможность повысить их прочность. Внешние магнитные поля на показание ферродинамических приборов влияют очень мало.

Принцип действия электростатических измерительных механизмов основан на взаимодействии электрически заряженных пластин. На рис. 6 схематично показано устройство одного из механизмов электростатической системы. Между неподвижными пластинами 1 может перемещаться подвижная пластина 2, укрепленная на оси 3. При подключении к прибору напряжения подвижная и неподвижные пластины получают противоположные заряды и между ними возникает электрическое поле. В результате подвижная пластина втягивается в зазор между неподвижными, создавая вращающий момент, под действием которого перемещается укрепленная на оси указательная стрелка. Противодействующий момент создается спиральной пружиной 4. Для повышения чувствительности приборов увеличивают количество подвижных и неподвижных пластин. Успокоители в электростатических приборах применяются магнитоиндукционные или воздушные.

## 7. Измерительные механизмы индукционной системы.



Устройство индукционного измерительного механизма.

## Измерительные механизмы вибрационной системы.

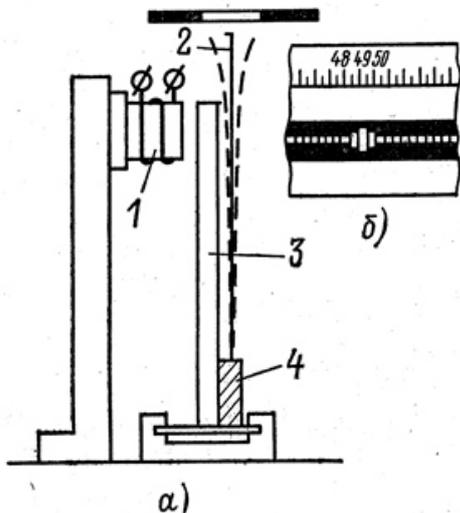


Рис. 8. Устройство вибрационного частотомера.

### Особенности приборов.

Для приборов **магнитоэлектрической** системы характерна высокая точность. Они являются наиболее точными, по сравнению с приборами непосредственной оценки других систем и изготавливаются вплоть до класса точности 0,1.

Большим достоинством магнитоэлектрических приборов является равномерность шкалы, высокая чувствительность и малая мощность потерь.

Основным недостатком приборов магнитоэлектрической системы является невозможность их применения без специальных преобразователей в цепях переменного тока. Кроме того, они отличаются относительно сложной конструкцией.

Индукционные измерительные приборы могут работать только на переменном токе. Схема устройства измерительного механизма представлена на рис. 7. Основными его элементами являются два неподвижных электромагнита 1 и 2, а также алюминиевый диск 4, который закреплен на оси 3 и может свободно вращаться. По обмоткам электромагнитов текут переменные токи  $I_1$  и  $I_2$ , сдвинутые по фазе на угол  $\phi$ . Эти токи создают два магнитных потока  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ , сдвинутые по фазе на тот же угол. Магнитные потоки, пронизывая диск, наводят в нем э.д.с., под действием которых текут вихревые токи. Поток  $\Phi_1$  вызывает появление тока  $I_{1д}$ , поток  $\Phi_2$  - тока  $I_{2д}$  (направления всех токов и магнитных потоков даны для определенного момента времени). В результате взаимодействия потока  $\Phi_1$  с током  $I_{2д}$  и потока  $\Phi_2$  с током  $I_{1д}$  появляются вращающие моменты. Следует отметить, что обязательным условием работы индукционного измерительного механизма является сдвиг по фазе между потоками  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ .

Вибрационные измерительные механизмы (язычковые) являются разновидностью электромагнитной системы. Схема устройства показана на рис. 8. Обмотка электромагнита 1 питается переменным током, частоту которого нужно измерить. Тонкие стальные пластины 2, называемые язычками (на рисунке виден только 1 язычок), укреплены на общей планке 4. Эта планка жестко скреплена с якорем 3, расположенным вблизи сердечника электромагнита. Язычки имеют различные частоты собственных колебаний. Под действием переменного магнитного поля якорь дважды за период притягивается к сердечнику и отходит от него. Вместе с якорем вибрируют язычки. Наибольшей будет амплитуда колебаний этого язычка, у которого частота собственных колебаний совпадает с частотой вынужденных. На рис. 8, б, показан вид шкалы, когда измеряемая частота равна 49 Гц.

Приборы магнитоэлектрической системы используются, главным образом, в качестве гальванометров, амперметров, вольтметров и омметров.

Приборы **электромагнитной** системы можно использовать в цепях переменного тока. Точность их меньше, по сравнению с приборами магнитоэлектрической системы.

Достоинство электромагнитных приборов; простота конструкции, сравнительно низкая стоимость, надежность в эксплуатации, устойчивость к перегрузкам.

Недостатки: низкая чувствительность и точность, большое потребление мощности, неравномерность шкалы.

Применяют приборы электромагнитной системы в цепях переменного тока как амперметры, вольтметры, логометры, используют в частотомерах и фазометрах.

Отсутствие стальных сердечников в **электродинамических** измерительных механизмах исключает погрешности от гистерезиса и вихревых токов, но они очень чувствительны к влиянию внешних магнитных полей.

Высокая точность электродинамических приборов позволяет применять их в качестве образцовых. Приборы электродинамической системы можно применять на постоянном и переменном токе.

Недостатки: влияние внешних магнитных полей, низкая чувствительность, относительно большое потребление мощности, высокая стоимость. Кроме того, они плохо переносят механические воздействия, требовательны к уходу.

Используются в качестве амперметров, вольтметров и ваттметров.

В **ферродинамических** приборах наличие стальных сердечников существенно увеличивает погрешность. Приборы этой системы используются в амперметрах, вольтметрах, ваттметрах, частотомерах, фазометрах.

Приборы **электростатической** системы применяются для измерения постоянных и переменных напряжений. Показания их не зависят от внешних магнитных полей, частоты.

Достоинство: большое входное сопротивление, активной мощности приборы этой системы практически не потребляют.

Недостаток: низкая чувствительность, неравномерность шкалы.

Приборы **индукционной** системы могут применяться в цепях переменного тока с одной определенной частотой.

Достоинство их - малое влияние внешних магнитных полей, стойкость к перегрузкам, надежность в работе, невысокая стоимость.

Используются они в счетчиках электроэнергии.

**Вибрационные** измерительные механизмы являются разновидностью электромагнитной системы. Применяются они в частотомерах - для измерения низкой частоты, главным образом, промышленной, и только в стационарных условиях.

#### **Ход работы:**

### **3. Задание**

3.1 Расшифровать обозначения предлагаемых приборов в соответствии с таблицей 1.

3.2 Изучить принцип действия, достоинства, недостатки и область применения измерительных механизмов различных систем.

3.3 Результаты работы свести в таблицы 2 и 3.

Таблица 2.

№	
1	A2-, B2-, B2-, Г2-, У2-, Л2-, P3-, C1-, Ф2-, X1-, Ч3-
2	A3-, B5-, B3-, Г3-, E3-, Л3-, P4-, C2-, Ф4-, X2-, Ч5-
3	A7-, B5-, B7-, Г4-, E4-, Л4-, P5-, C4-, Ф3-, X3-, Ч9-
4	A2-, B7-, B7-, Г5-, E6-, Л2-, P6-, C6-, Ф2-, X4-, Ч3-
5	A3-, B2-, B7-, Г6-, E8-, Л3-, P3-, C8-, Ф4-, X1-, Ч5-
6	A7-, B5-, B2-, Г2-, E2-, Л4-, P5-, C9-, Ф3-, X2-, Ч9-
7	A2-, B7-, B3-, Г3-, E3-, Л2-, P5-, C1-, Ф2-, X3-, Ч3-
8	A3-, B2-, B7-, Г4-, E4-, Л3-, P6-, C2-, Ф4-, X4-, Ч5-

9	А7-, Б5-, В7-, Г5-, Е6-, Л4-, Р3-, С4-, Ф3-, Х1-, Ч9-
10	А2-, Б7-, В7-, Г6-, Е8-, Л2-, Р4-, С6-, Ф2-, Х2-, Ч3-

Таблица 3.

Виды измерительных механизмов	Принцип действия	Достоинства	Недостатки	Область применения

#### 4. Содержание отчёта.

4.1 Цель работы.

4.2 Задание.

4.3 Расшифровку обозначений приборов в соответствии с таблицей 2.

4.4 Таблицу характеристик измерительных механизмов различных систем (табл. 1).

4.5 Ответы на контрольные вопросы

1. Что позволяют правильно выбрать приборы и дают некоторые указания по их эксплуатации.
2. Расшифровать обозначения вольтметров В3 – 38, В7 – 26, В7 – 22.
3. Расшифровать обозначения генераторов Г3 – 106, Г4 – 107, Г5 – 54.

#### Практическая работа № 5.

##### Тема 2.1. Электромеханические приборы.

##### Устройство, подготовка и принцип работы авометра. Измерение параметров транзистора.

**Цель работы:** изучить устройство, подготовку и принцип работы комбинированного прибора (авометра). Измерение параметров транзистора ампервольтметром ТЛ-4М.

**Перечень используемого оборудования:** авометр, ампервольтметр ТЛ-4М, транзисторы.

##### Теоретическая часть:

##### Авометр

Комбинированный измерительный прибор — авометр — позволяет измерять: напряжение постоянного тока до 600 В (пределы: 0,6; 1,5; 6; 30; 120 и 600 В); напряжение переменного тока до 600 В (пределы: 3; 7,5; 30; 150; 600 В); силу постоянного тока до 0,75 А (пределы: 0,3; 3; 30; 300; 750 мА); сопротивление постоянному току от 5 Ом до 500 кОм. Пределы измерений сопротивлений: 5—500 Ом; 0,05—5; 0,5—50 и 5—500 кОм.

Прибор имеет три шкалы (рис. 1). Верхняя проградуирована в единицах сопротивления; нуль у нее справа, а деления в правой части шкалы соответствуют сопротивлению в омах, а далее в килоомах (легче писать 0,1 кОм, чем 100 Ом). По средней шкале определяют напряжение переменного тока; по нижней шкале — напряжение и силу постоянного тока. У средней и нижней шкал нули расположены слева.

Чтобы измерить напряжение постоянного тока, переключатель 7 устанавливают так, чтобы стрелка, нарисованная на нем, указывала знак «—» (обозначение постоянного тока). Включают провод с черным наконечником в гнездо 5, над которым поставлен знак «—» (минус). В зависимости от порядка измеряемого напряжения включают провод (щуп) с коричневым наконечником в одно из гнезд 3, руководствуясь надписями «600; 120; 30; 6; 1,5; 0,6», расположенными под знаком «+V». Если порядок напряжения неизвестен, то измерение начинают с большего предела. Присоединяют щуп с черным наконечником к «минусу», а щуп с коричневым наконечником — к «плюсу». Если стрелка прибора отклоняется не вправо, а влево, значит, полярность неправильна: надо поменять местами провода. Отсчет делают по нижней шкале.

Допустим, стрелка прибора отклонилась на 19 делений. Какое же измерено напряжение? Это зависит от того, на каком пределе производилось измерение. Например.

*Первый случай.* Пусть щуп с коричневым наконечником включен в гнездо 3 с цифрой «30». Шкала имеет 30 делений. Значит, цена каждого деления 1 В и измеренное напряжение составляет  $1 \text{ В} \cdot 19 = 19 \text{ В}$ .

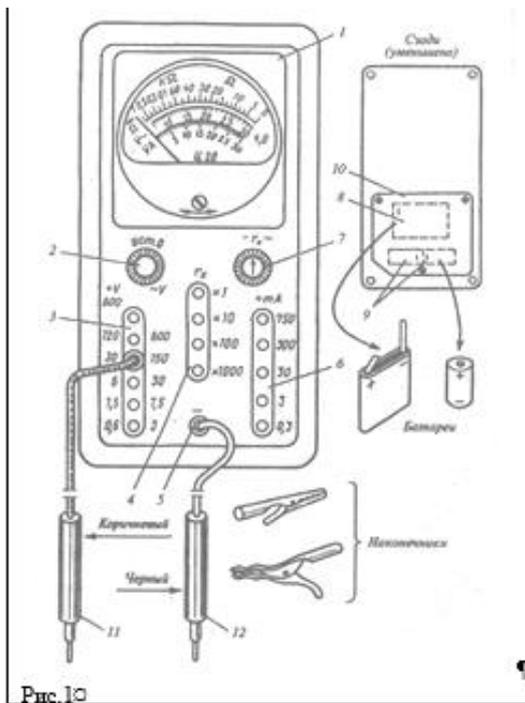


Рис. 10

*Второй случай.* Провод с коричневым наконечником включен в гнездо с цифрой 6. Значит, отклонению стрелки на 30 делений соответствует 6 В, и цена деления составляет  $6 \text{ В} : 30 = 0,2 \text{ В}$ . Умножая 19 на 0,2 В, получаем 3,8 В.

*Третий случай.* Провод с коричневым наконечником включен в гнездо с цифрой «120». Цена деления  $120 : 30 = 4 \text{ В}$ . Измеренное напряжение равно  $19 \cdot 4 \text{ В} = 76 \text{ В}$ .

При измерении напряжения переменного тока переключатель 7 устанавливают так, чтобы стрелка указывала знак переменного тока «~». Провод с черным наконечником включают в гнездо «—», а провод с коричневым наконечником — в одно из гнезд 3 (в зависимости от напряжения), расположенных под надписью «~V». Отсчет выполняют по средней шкале. Она имеет 30 делений, поэтому измеренное напряжение определяют так же, как объяснено выше.

При измерении силы постоянного тока стрелку переключателя 7 направляют на знак «—». Провод с черным наконечником включают в гнездо «—», провод с коричневым наконечником — в одно из гнезд 6, над которыми написано «+mA», в зависимости от ожидаемой силы тока.

При этом следует иметь в виду, что вся шкала рассчитана всего на  $750 \text{ mA} = 0,75 \text{ A}$ . Отсчет выполняют по нижней шкале.

Допустим, стрелка прибора отклонилась на 27 делений. Определим силу тока. Прежде всего определяем цену деления. Для этого число, написанное у гнезда, в которое включен провод, делим на число делений (30). Затем полученную цену деления умножаем на 27. Легко подсчитать, что 27 делениям при разных пределах соответствуют:

$$750 \text{ mA} : 30 \cdot 27 = 675 \text{ mA}; \quad 300 \text{ mA} : 30 \cdot 27 = 270 \text{ mA};$$

$$30 \text{ mA} : 30 \cdot 27 = 27 \text{ mA}; \quad 3 \text{ mA} : 30 \cdot 27 = 2,7 \text{ mA};$$

$$0,3 \text{ mA} : 30 \cdot 27 = 0,27 \text{ mA}.$$

Измерение сопротивлений требует источника тока, которым служат сухие батареи. Двух круглых батарей 9 напряжением 1,5 В хватает для измерения сопротивлений до 50 кОм. Для измерений сопротивлений от 5 до 500 кОм в работу дополнительно вводится третья плоская батарея 8. Все три батареи находятся в корпусе 1 прибора сзади, под крышкой 10 и внутри соединены надлежащим образом. Чтобы измерить сопротивление, нужно:

- 1) направить стрелку переключателя 7 на надпись « $\Omega$ »;
- 2) включить один провод в гнездо «—», а другой — в гнездо 4 с надписью  $\times 1$ ;  $\times 10$ ;  $\times 100$ ;  $\times 1000$  в зависимости от порядка значения измеряемого сопротивления;
- в) накоротко соединить щупы 11 и 12, при этом стрелка должна показывать 0 (нуль) на верхней шкале; если стрелка не устанавливается на нуле, то, не разъединяя щупы, нужно установить ее на нуль; это выполняется регулируемым резистором, над рукояткой 2 которого есть надпись «Уст. 0» («Установка нуля»).

Теперь можно производить измерение. Допустим, прибор на верхней шкале показал  $0,2 \text{ кОм} = 200 \text{ Ом}$ . Каково же на самом деле измеряемое сопротивление?

Если у гнезда 4, в которое включен провод, написано « $\times 1$ », то сопротивление равно  $200 \text{ Ом} \cdot 1 = 200 \text{ Ом}$ . Если провод включен в гнездо « $\times 100$ », значит, сопротивление равно  $200 \text{ Ом} \cdot 100 = 20\,000 \text{ Ом} = 0,02 \text{ МОм}$ .

## Ход работы

- 1) изучить метрологические и технические характеристики средств измерения и объекта исследования;
- 2) по техническому описанию изучить принцип действия прибора;
- 3) измерить напряжение постоянного тока
- 4) измерить напряжение переменного тока
- 5) измерить силу постоянного тока;
- 6) измерить сопротивление.

### Содержание отчета

- 1) цель работы;
- 2) таблица с метрологическими характеристиками и параметрами средства измерения;
- 3) порядок действий при измерениях;
- 4) вывод

II. Ампервольтметр — испытатель транзисторов ТЛ-4М предназначен для измерения постоянного тока и напряжения, переменного синусоидального тока и напряжения частотой 50 Гц, переменного синусоидального напряжения частотой 40... 15000 Гц, сопротивления постоянному току и параметров транзисторов малой мощности:

$I_{ко}$  — обратного тока коллекторного перехода;

$I_{эо}$  — обратного тока эмиттерного перехода;

$I_{кн}$  — начального тока коллектора;

$\beta$  — статического коэффициента усиления по току, определяемого расчетным путем:

$$\beta = \frac{\Delta I_{к}}{\Delta I_{Б}}$$

Технические данные

Пределы измерений:

силы постоянного тока, мА 0,1; 0,3; 1; 3; 30; 300; 3000

силы переменного тока, мА 3; 30; 300; 3000

постоянного напряжения, В 0,1; 1; 3; 10; 30; 100; 300; 1000

переменного напряжения, В 1; 3; 10; 30; 100; 300; 1000

сопротивлений;

число 300 в конце шкалы, кОм:

при множителе  $\times 1$  0,3

при множителе  $\times 10$  3

при множителе  $\times 100$  30

при множителе  $\times 1000$  300

при множителе  $\times 10000$  3000

число 500 в конце шкалы, кОм:

при множителе  $\times 1$  0,5

при множителе  $\times 10$  5

при множителе  $\times 100$  50

при множителе  $\times 1000$  500

при множителе  $\times 10000$  5000

Измерения при множителе  $\times 10000$  производятся с помощью внешнего источника постоянного напряжения 24...30 В.

Параметры транзисторов в интервалах:

$I_{ко}$ , мкА 0...100

$I_{кн}$ , мкА 0...100

$I_{эо}$ , мкА 0...100

$\beta$  0...500

Основная погрешность прибора от конечного значения рабочей шкалы, %, при измерении: силы постоянного тока на пределах 0,1, 0,3, 1 и 3 мА,

не более  $\pm 2,5$

силы постоянного тока на пределах 30, 300, 3000 мА,

не более  $\pm 4$

силы переменного тока синусоидальной формы

частотой 50 Гц, не более  $\pm 4$

постоянного напряжения, не более  $\pm 4$

переменного напряжения синусоидальной формы

в- пределах номинальной области частот, не более  $\pm 4$

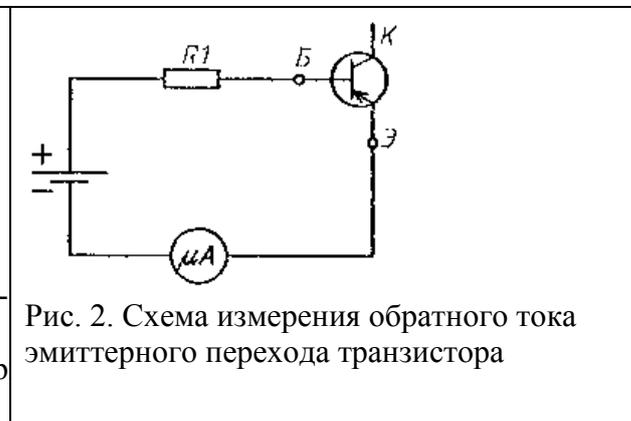
омических сопротивлений от длины рабочей части шкалы, не более	±2,5
параметров транзисторов от конечного значения шкалы, не более	±2,5
Входное сопротивление прибора, кОм/В:	
постоянному току	10
переменному	2,5
Габаритные размеры, мм	160x114x60
Масса, кг	0,85

Конструктивно прибор состоит из следующих основных частей:

измеритель магнитоэлектрической системы (микроамперметр 100 мкА) с подвижной частью на кернях; передняя панель (крышка), к которой крепятся измеритель, клеммы, два переменных резистора (для установки нуля и тока базы), четыре переключателя: IUR — вид работ; п-р-п, р-п-р — тип транзистора; —, ~ — род тока;  $I_{к...I_{б}}$  — цепь транзистора; дисковый переключатель пределов измерения с подвижными контактами; монтажная плата; кожух прибора.

### Измерение параметров транзистора

1. Отсчет показаний прибора производится при установке переключателя «вид работ» в положение «транзистор». Измерение  $I_{к0}$  — рис. 1.



Установить следующее положение переключателей:

«тип транзистора» — согласно типу проверяемого транзистора;

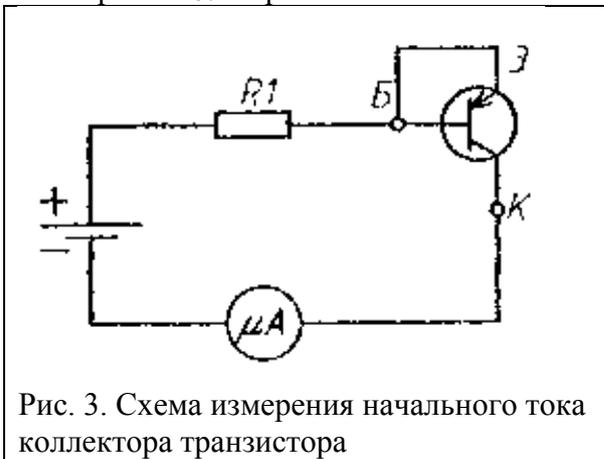
«цепь транзистора» — в положение  $I_{к}$ ;

«род тока» — в положение «—»;

«дисковый» — в положение « $I_{к0}$ »

Проверяемый транзистор устанавливается в соответствии с маркировкой клемм (Э К Б) — коллектор к клемме «К», база к клемме «Б». Эмиттерный вывод не присоединяется. Стрелка прибора показывает  $I_{к0}$  на пределе 100 мкА,

2.Измерение  $I_{30}$  — рис. 2.



Положение переключателей то же, что и при измерении  $I_{к0}$ . База транзистора присоединяется к клемме «Б», эмиттер к клемме «К». Коллекторный переход не присоединяется. Стрелка измерительного прибора показывает значение  $I_{э0}$  на пределе 100 мкА.

Измерение  $I_{кн}$  — рис. 2.3.

Положение переключателей то же, что и при измерении  $I_{к0}$ . База транзистора присоединяется к клемме «Б», эмиттер к клемме «К». Коллекторный переход не присоединяется. Стрелка измерительного прибора показывает значение  $I_{э0}$  на пределе 100 мкА.

3. Измерение *тока* — рис. 3.

Положение переключателей то же, что и при измерении  $I_{к0}$ . База и эмиттер транзистора присоединяются к клемме «Б», коллектор — к клемме «К». Стрелка прибора показывает значение  $I_{кн}$  на пределе 100 мкА.

4. Определение статического коэффициента усиления рис.4

При этом выводы транзистора присоединяются к клеммам Э, К, Б. Необходимо учесть тип транзистора (р-п-р или п-р-п). Статический коэффициент усиления определяется по формуле

$$\beta = \frac{\Delta I_{к}}{\Delta I_{б}} = \frac{\Delta I_{к2} - \Delta I_{к1}}{\Delta I_{б2} - \Delta I_{б1}},$$

где  $I_{к1}$  — ток коллектора при токе базы  $I_{б1}$ ;  $I_{к2}$  — ток коллектора при токе базы  $I_{б2}$ .

Дисковый переключатель устанавливается в положение «Б...К», переключатель «цепь транзистора» — в положение « $I_{б}$ » положение остальных переключателей — как при измерении  $I_{к0}$ .

Допустим, при измерении получены следующие данные  $I_{б1} = 50$  мкА,  $I_{к1} = 2,6$  мА,

$I_{б2} = 80$  мкА,  $I_{к2} = 4,4$  мА.

$\Delta I_{б} = I_{б1} - I_{б2} = 80 - 50 = 30$  мкА

$\Delta I_{к} = I_{к1} - I_{к2} = 4,4 - 2,6 = 1,8$  мА = 1800 мкА

Коэффициент усиления

$$\beta = \frac{\Delta I_{к}}{\Delta I_{б}} = \frac{1800}{30} = 60$$

### Ход работы

1. Задать величину тока базы, при которой удобно определить ток коллектора (около 50 мкА).
2. Для измерения тока коллектора переключатель следует установить в положение « $I_{к}$ ». Величина тока коллектора определяется по верхней шкале показывающего прибора, конечное значение которой соответствует 10 мА.
3. Переключатель « $I_{б}$ — $I_{к}$ » снова устанавливают в положение « $I_{б}$ » и увеличивают ток базы на 20,..40 мкА.
4. При последующем переключении « $I_{б}$ - $I_{к}$ » в положение « $I_{к}$ » снова определяется величина тока коллектора.
5. Измерения занести в таблицу
6. Найти коэффициент усиления

$I_{б}$ , мкА	50	70	90	110
$I_{к}$ , мкА				

7. Ответить на вопросы

1. Основные методы измерения постоянных токов и напряжений.
2. Назначение, схема включения и область применения добавочных резисторов.
3. Методы измерения переменных токов промышленной частоты. Измерительные трансформаторы тока.
4. Измерительные трансформаторы напряжения.
5. Что называется амплитудным, средним, средневыпрямленным и средним квадратическим значениями напряжения или тока?

6. Какие коэффициенты устанавливают связь между амплитудным и средним квадратическим, между средним квадратическим и средним значениями напряжения (тока)?
7. Чему равны коэффициенты амплитуды и формы для гармонической формы сигнала?
8. Из-за чего может возникать методическая погрешность при измерении несинусоидального сигнала?

### Практическая работа № 6.

#### Тема 2. 1. Электромеханические приборы.

##### Устройство, подготовка и принцип работы мегаомметра.

**Цель работы:** Изучить устройство, подготовку и принцип работы мегаомметра.

**Перечень используемого оборудования** мегаомметр

##### Теоретическая часть:

Мегомметр/

Омметром называют прямо показывающий прибор для измерения электрического сопротивления на постоянном токе.

Действие омметра основано на применении закона Ома: измеряется падение напряжения на неизвестном сопротивлении при заданном токе или измеряется ток через неизвестное сопротивление при определенном напряжении. В простейших омметрах в качестве отсчетного устройства используется магнитоэлектрический механизм достаточной чувствительности (ток полного отклонения  $I_K = 50 \dots 100 \mu\text{A}$ ). Различают омметры с последовательным и параллельным включением измеряемого сопротивления. Принципиальная электрическая схема омметра последовательного типа изображена на рис. 7.2 При коротком замыкании выводов *A* и *B* переменным резистором  $R_{двБ}$  устанавливают в цепи такой ток, чтобы стрелка прибора *РА1* отклонилась на всю шкалу. Это - «нуль омметра». При присоединении к выводам *AB* измеряемого сопротивления  $R_x$  установленный ранее ток уменьшится и стрелка прибора займет другое положение.

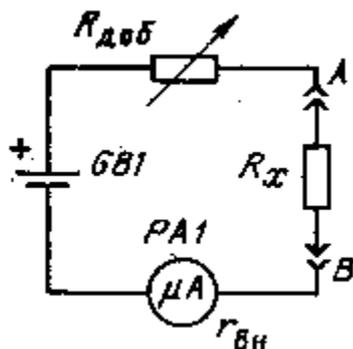


Рисунок 7.2 Схема омметра.

Если обозначить относительную величину отклонения стрелки прибора  $\alpha =$ , а отношение измеряемого сопротивления к внутреннему сопротивлению омметра через  $A = R_x/R_{OM}$ , то выражение  $a = 1/(1 + A)$  определит уравнение шкалы омметра (рис. 7.3). Из приведенного выражения видно, что при бесконечно большом сопротивлении  $R_x$  (разрыв цепи)  $A \rightarrow \infty$ ,  $a$ , ток равен нулю и стрелка прибора не отклоняется. Это положение стрелки на шкале отмечается знаком  $\infty$ . То, что на шкале рассматриваемого омметра имеются отметки 0 и  $\infty$ , не означает, что им можно измерять любое сопротивление. Шкала прибора по краям сильно сжата и практически используется лишь ее средняя часть. Середина шкалы омметра соответствует его входному сопротивлению (при  $R_x = R_{OM}$ ,  $a = 0,5$ ). Это сопротивление и определяет пределы сопротивлений, измеряемых прибором.

Обычно  $R_x$  лежит в пределах от  $0,01R_{OM}$  до  $100R_{OM}$ . Если задан верхний  $R_v$  и нижний  $R_n$  пределы измерения сопротивления по данной шкале омметра, то его внутреннее сопротивление  $R_{OM} = \sqrt{R_v R_n}$

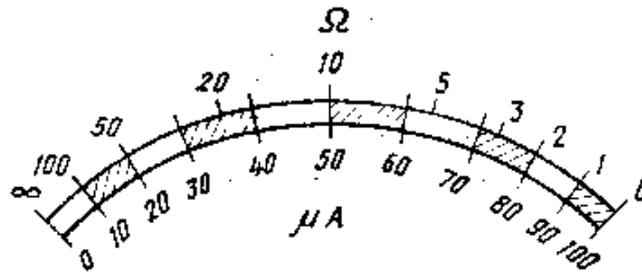


Рисунок 7.3 Шкала омметра.

Погрешность измерений:  $\delta_r = \Delta A / A = \pm k (I + A)^2$  (7.3)

где  $k$  — относительная приведенная погрешность (класс точности прибора  $PAI$ ).

Измеряемое сопротивление может включаться не только последовательно, но и параллельно микроамперметру. В этом случае шкала прибора получается не обратной, а прямой: «нуль» — слева, а «∞» — справа, но по-прежнему нелинейной. Ток через прибор  $PI$ :

$$I_{изм} = IR_x / (R_x + r_{вн}) \quad (7.4)$$

Приняв во внимание, что общий ток в цепи  $I = E / (R_{доб} + R_x + r_{вн})$  можно получить:

$$I_{изм} = E / (R_{доб} + r_{вн} + r_{вн} R_{доб} / R_x) \quad (7.5)$$

### Электронные омметры

Электронные омметры аналогового типа выполняют на основе инвертирующего усилителя на ОУ, охваченного отрицательной обратной связью с помощью измеряемого сопротивления  $R_x$  (рис. 7.7). Напряжение на выходе усилителя омметра нетрудно вычислить по формуле:

Омметрами с прямой шкалой удобнее измерять сопротивления, соизмеримые с внутренним сопротивлением  $r_{вн}$  прибора, т. е. меньшие, чем омметрами с обратной шкалой.

$$U_{вых} = U \frac{R_x}{R_1}$$

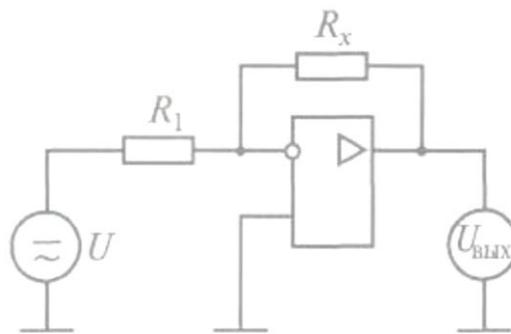


Рисунок 7.7 Схема электронного омметра

Поскольку выходное напряжение в схеме линейно связано с измеряемым сопротивлением  $R_x$ , то шкала прибора может быть проградуирована непосредственно в единицах сопротивления. Шкала получается равномерной в широких пределах и практически не зависит от внешних (навесных) элементов усилителя. Погрешности измерения электронных омметров значительные - 2...4 %.

В приборах для измерения особо больших активных сопротивлений (тераомметрах) сопротивления  $R_x$  и  $R_1$  меняют местами, при этом шкала измерительного прибора получается обратной и напряжение

$$U_{вых} = -U \frac{R_1}{R_x}$$

Погрешность измерения сопротивлений тераомметрами достигает 10 %.

Электронные измерители сопротивлений, построенные по приведенным схемам, используют для измерения сопротивлений и на переменном токе.

Для расширения диапазона измерений применяют многопредельные омметры. Для этого изменяют значение сопротивления  $R_{доб}$  в 10, 100, 1000 раз, К многопредельным относятся М212, М371, а также омметры, входящие в состав универсальных приборов. При измерении больших сопротивлений приходится увеличивать напряжение питания.

В отличие от обычного омметра, мегаомметр предназначен для измерения высоких сопротивлений - от сотен килоом до десятков мегаом. Поэтому в процессе работы с данным прибором, напряжение на его щупах может составлять от 100 вольт до 2500 вольт.



Современный мегаомметр

Сопротивление изоляции обычно проверяют при регулярных периодических испытаниях электрических установок с помощью мегаомметров. Испытание заключается в проверке силы тока, протекающего через изоляцию под действием определенного напряжения.

Когда зажимы  $X$  разомкнуты, ток проходит только через одну рамку с добавочным сопротивлением  $R_2$  и подвижная часть магнитоэлектрической системы устанавливается в одном из своих крайних положений, отмеченном на шкале знаком  $\infty$  (бесконечно большое сопротивление)

Если замкнуть накоротко зажимы  $X$  ток пойдет и через вторую рамку с добавочным сопротивлением  $R_1$ . Подвижная система устанавливается в другом крайнем положении, отмеченном на шкале цифрой 0 (измеряемое сопротивление равно нулю).

Если к зажимам  $X$  присоединить измеряемое сопротивление  $R_x$ , подвижная система установится в промежуточных положениях между крайними положениями  $\infty$  и 0.

Шкалу мегомметра градуируют на килоомы и мегомы: 1 килоом (кОм) = 1000 Ом; 1 мегом (МОм) = 1000 кОм.

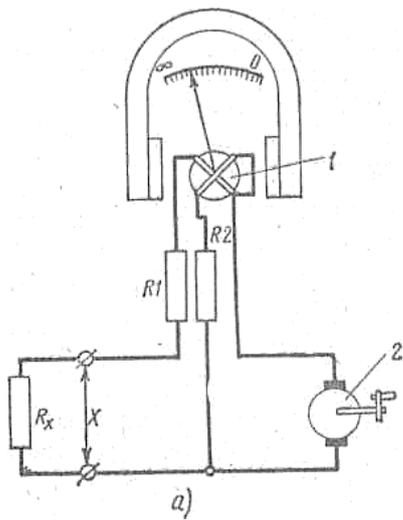


Рисунок 2 а— упрощенная электрическая схема,

На рис. 2, а показана упрощенная схема, поясняющая принцип действия мегомметра. В действительности устройство мегомметра сложнее, так как имеются ограничивающие сопротивления, приспособления для стабилизации напряжения.

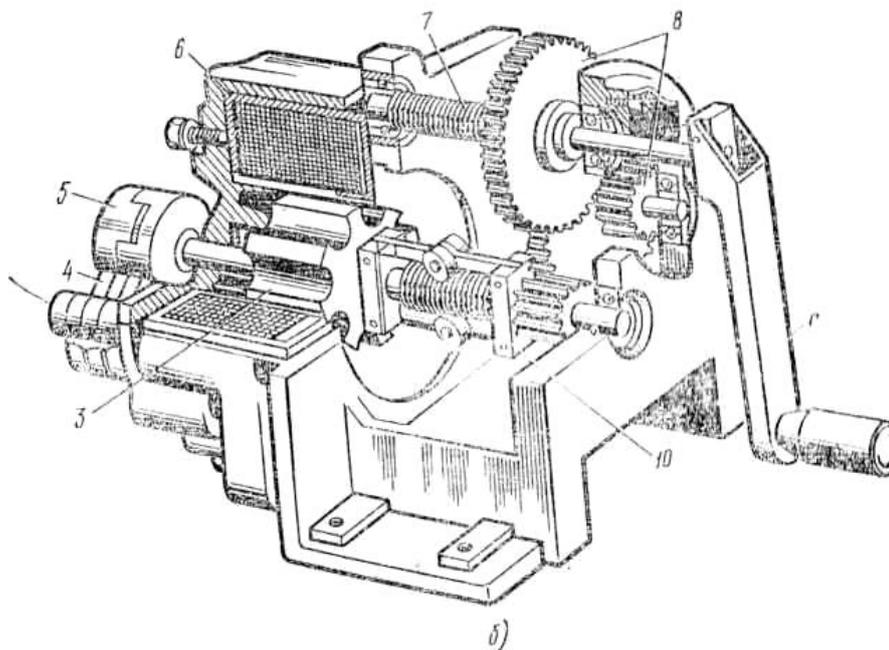
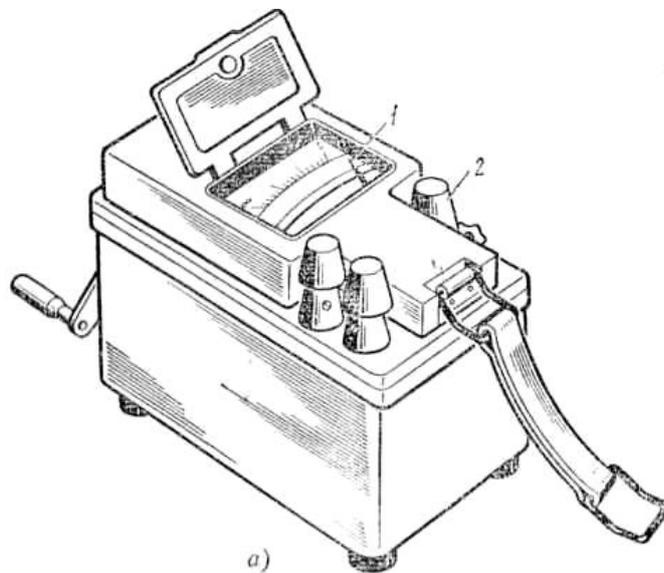


Рис. 1 Мегаомметр М1 101

а- общий вид; б- устройство; 1- стрелка; 2- ручка переключателя пределов измерения; 3- якорь генератора; 4- щётки; 5- пластины коллектора; 6- цилиндрическая катушка; 7- пружина расцепляющего механизма; 8- шестерни; 9- ручки вращения генератора; 10- центробежный регулятор с грузиками.

Основные технические данные наиболее распространенных типов мегомметров приведены таблице

Технические данные мегомметров

Тип мегомметра	Напряжение на разомкнутых зажимах, В	Предел измерения
М1101/1	<b>100 + 10 %</b>	1— 100 МОм 2— 200 кОм
<b>М1101/2</b>	500 ± 10%	1—500 МОм 2—1000 кОм
<b>М1101/3</b>	<b>1000 ± 10 %</b>	1— 1000 МОм 2— 1000 кОм
<b>М 1 102</b>	500 ± 10%	1 — 500 МОм 2— 1000 кОм
МС-06	2500 ± 20%	1 — 10 000 МОм 2— 1000 МОм 3— 100 МОм

Неисправности и повреждения электрических машин не всегда удается обнаружить внешним осмотром, так как некоторые из них (витковые замыкания в обмотках статоров, пробой изоляции на корпус, замыкания пластин коллектора, нарушение пайки в обмотках) носят скрытый характер и определяются только после соответствующих измерений и испытаний.

Состояние изоляции обмоток ремонтируемой электрической машины проверяют мегомметром М 1 101 МС-2 или МС-0,5

Мегаомметр М1 101 (рис. 1, а) представляет собой переносной прибор, состоящий из генератора постоянного тока и измерительной системы, заключенных в общем пластмассовом корпусе. Устройство этого мегаомметра показано на рис. 1, б. Вращение ручки **9** по часовой стрелке передается через две пары зубчатых шестерен **8** якорю **3** генератора, представляющему собой восьмиполюсный постоянный магнит. Пружина **7** служит для расцепления механизма при вращении ручки против часовой стрелки. Вокруг магнита расположена цилиндрическая многovitковая катушка **6**, намотанная из тонкого провода. Катушка заключена в тонкостенный магнитопровод, наконечники которого загнуты внутрь нее. Через эти наконечника и магнитопровод замыкается магнитный поток, создаваемый полюсами якоря. При вращении якоря в катушке создается переменное напряжение. Концы обмотки присоединены к пластинам **5** коллектора, выпрямляющего переменный ток.

По коллектору скользят щетки **4**, от которых ток передается рамкам измерителя через систему сопротивлений. **С** этими рамками на одной оси укреплена стрелка **1** (рис. 1, а), угол отклонения которой зависит от измеряемого сопротивления. Шкала прибора градуирована в мегаомах и килоомах. Переключение пределов измерения осуществляют поворотом круглой ручки **2** на крышке прибора.

Напряжение генератора влияет на показания прибора и зависит от частоты вращения якоря, поддерживаемой постоянной центробежным регулятором **10** (рис. 1, б). Если ручку прибора вращать с частотой, большей номинальной, то грузики под действием центробежной силы расходятся и отсоединяют якорь генератора от привода.

Перед присоединением проводов от мегаомметра к объекту измерения снимают напря-

жение с зажимов объекта и разряжают его от емкостного тока. При измерении мегомметром сопротивления изоляции обмотки относительно корпуса провод от одного зажима мегомметра присоединяют к выводу обмотки, а от другого зажима — к корпусу машины или замыкают на землю. При измерении сопротивления изоляции между обмотками (между фазами) зажимы присоединяют к выводам обмоток.

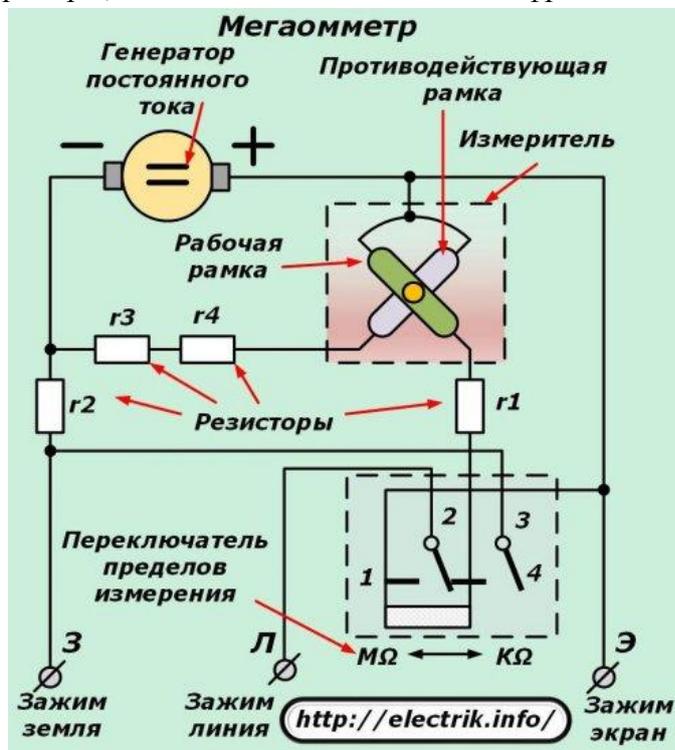
Вращая рукоятку привода с частотой 120 об/мин или с несколько большей, определяют по шкале сопротивление изоляции.

Соединительные провода должны иметь необходимую длину и хорошую изоляцию. Провода в оплетке применять не следует, так как они легко увлажняются. Желательно располагать соединительные провода на весу, чтобы исключить шунтирующее действие сопротивления их изоляции на показания прибора. Поверхность мегомметра должна быть сухой и чистой.

Принцип работы мегомметра очень похож на принцип работы амперметра, с учетом известной зависимости величины тока от напряжения и сопротивления (закон Ома). Мегомметры, соответственно, также как и амперметры, — бывают аналоговыми и цифровыми.



Аналоговый прибор М1101М



Устройство мегомметра

Аналоговый прибор М1101М

В аналоговых приборах показания отображаются стрелкой на отградуированной в мегаомах шкале. В цифровых мегомметрах — в виде тех же цифр, только на дисплее. Приборы обоих видов позволяют диагностировать проводку, проверять состояние изоляции обмоток трансформаторов и электродвигателей, тестировать различные электроизоляционные материалы, проводить сервисное обслуживание различных электрических машин и установок и т.д.

#### Устройство мегомметра

Аналоговый мегомметр относится к приборам магнитоэлектрической системы, где по существу измеряется ток, проходящий через измеряемое сопротивление, и практически сравнивается с током через внутреннюю цепь прибора (если система двухкатушечная).

Взаимное отклонение катушек, через которые внутри прибора течет эталонный и измеряемый ток, либо отклонение катушки с измеряемым током в магнитном поле постоянного

магнита, приводит к отклонению связанной с катушкой стрелки прибора, показывающей сопротивление, так как оно, по закону Ома, обратно пропорционально току.

Поскольку напряжение известно, то измерив ток через цепь, легко тут же вычислить ее сопротивление и отобразить результат на шкале. Существуют аналоговые мегаомметры, питаемые встроенной динамомашинной — крутишь ручку — прибор работает, на его щупы при этом подается необходимое напряжение.

#### Цифровой измерительный прибор

Цифровой прибор работает несколько иначе. Здесь нет никаких физически отклоняющихся катушек, зато есть источник точно калиброванного постоянного напряжения, который через схему цифрового амперметра включается последовательно цепи, сопротивление которой нужно узнать. В зависимости от характеристик исследуемой цепи, напряжение на щупах прибора будет разным, начиная от 100 вольт, заканчивая всеми 2500 вольтами, если измеряется сопротивление высоковольтной цепи.



Это напряжение выбирается специальным переключателем или кнопками на панели прибора. Есть, безусловно, нормативы, согласно которым цепи разного рабочего напряжения проверяются соответствующим напряжением на щупах мегаомметра. Цифровые мегаомметры могут питаться от батареек, аккумуляторов, индивидуальных блоков питания.

#### Цифровой тестер изоляции с мегаомметром Fluke

Серия тестеров изоляции Fluke разработана с учетом требований безопасности и простоты эксплуатации. Этот мегаомметр является идеальным инструментом для поиска и устранения неисправностей, ввода в эксплуатацию и профилактического обслуживания электрооборудования.

При измерении сопротивления мегаомметром опираются на следующие нормы:

- Электрические цепи с рабочим напряжением до 50 вольт испытываются напряжением мегаомметра 100 вольт, при этом сопротивление цепи не должно быть меньше 0,5 МОм. Полупроводниковые приборы, входящие в диагностируемую цепь, для предотвращения их выхода из строя, должны быть зашунтированы.
- Электрические цепи с рабочим напряжением от 50 до 100 вольт испытываются напряжением мегаомметра 250 вольт.
- Электрические цепи с рабочим напряжением от 100 до 380 вольт испытываются напряжением мегаомметра от 500 до 1000 вольт. Что касается осветительной проводки, она испытывается напряжением 1000 вольт, при этом сопротивление не должно быть меньше 0,5 МОм.
- Электрические цепи с рабочим напряжением от 380 до 1000 вольт испытываются напряжением мегаомметра от 1000 до 2500 вольт. К оборудованию такого типа от-

носятся распределительные устройства, щиты и токопроводы. Сопротивление секции цепи (каждая секция промеряется отдельно) при этом не должно быть менее 1 МОм.

К работе с мегаомметром на предприятиях допускается только обученный персонал с группой допуска по электробезопасности не ниже третьей, так как во время функционирования прибора на его щупах присутствует высокое напряжение, опасное для человеческого организма. Щупы прибора имеют поэтому изолированные ручки с опорными выступами. Но даже несмотря на изолированные ручки, работы с мегаомметром всегда проводятся в защитных резиновых перчатках.

Проверку мегаомметром состояния изоляции обмоток и цепей тока производят в такой последовательности. Убеждаются в отсутствии напряжения в проверяемой обмотке и присоединенных к ней цепях. Проверяют исправность мегомметра; устанавливают его горизонтально, присоединяют провода к зажимам и, замкнув их накоротко, вращают ручку мегомметра. При замкнутых концах проводов стрелка на шкале прибора должна находиться на нуле, а при разомкнутых — на знаке, обозначающем бесконечность. Убедившись в исправности прибора, касаются концами проводов, присоединенных к его зажимам, одного из выводов обмотки и не соединенной с ней металлической части машины. О состоянии изоляции судят по показаниям прибора. Отсчет показаний по шкале производят после того, как стрелка прибора займет устойчивое положение.

При измерении сопротивления изоляции мегомметр МС-2 присоединяют к электрической сети напряжением 220 В.

**Прикосновение к измеряемой цепи во время вращения якоря мегомметра опасно для жизни.**

Соединительные провода для подключения мегомметров должны иметь достаточную длину и хорошую изоляцию. Лучше всего применять для присоединения мегомметров гибкие провода ПВЛ (магнето). Провода в хлопчатобумажной оплетке применять не рекомендуется, так как они недостаточно влагоустойчивы и могут исказить показания мегомметра.

**Для правильных измерений сопротивления изоляции необходимо отключить измеряемую цепь от действующего напряжения сети, а также обеспечить условия, при которых исключена возможность прикосновения людей ко всем элементам измеряемой схемы.**

**Как проводятся измерения мегаомметром**

Приступая к проведению измерительных работ, первым шагом проверяют прибор, замыканием его щупов друг о друга — исправный прибор покажет ноль, а затем размыкают — мегаомметр должен показать бесконечность.

Прежде чем начать работу непосредственно с цепью, сначала всегда проверяют чтобы поблизости не было людей, которые могли бы во время проведения измерений случайно коснуться исследуемой цепи.

С проводов, к которым предстоит подключить мегаомметр, сначала снимают рабочее напряжение, то есть обесточивают цепь.

Затем кратковременно соединяют каждую из ее частей с заземлителем — чтобы нейтрализовать любой остаточный статический заряд на проводах.

Один из проводов заземляют, к нему же присоединяют щуп «3» мегаомметра, затем присоединяют второй щуп ко второму (не заземленному) выводу тестируемой цепи. Снимают показания.

После — отсоединяют прибор, кратковременно заземляют не заземленный прежде вывод исследуемой цепи, с тем чтобы нейтрализовать остаточный статический заряд на нем. Таким же образом разряжают выводы мегаомметра. После этого заземление (и переносной заземлитель) можно убрать.

Силовые и осветительные электропроводки. Сопротивление изоляции при снятых плавких вставках измеряют мегомметром на напряжении 1000 В на участке между смежными предохранителями или за последними предохранителями, между любым проводом и землей, а также между двумя любыми проводами. Оно должно быть не менее 0,5 МО

#### **Ход работы**

- 1) изучить метрологические и технические характеристики средства измерения;
- 2) по техническому описанию изучить принцип действия прибора;
- 3) проверить состояние изоляции электропроводок.

#### **Содержание отчета**

- 1) цель работы;
- 2) таблица с метрологическими характеристиками и параметрами средства измерения;
- 3) порядок действий при измерениях;
- 4) вывод

### **Практическая работа №7.**

**Тема 2.2.** Аналоговые электронные приборы.

Принцип работы аналоговых электронных приборов.

**Цель работы:** Изучение классификации, структурных схем аналоговых вольтметров, техники измерения тока и напряжения.

#### **Теоретическая часть:**

При измерении напряжения методом непосредственной оценки вольтметр подключают параллельно участку исследуемой цепи. Для уменьшения методической погрешности измерения собственное потребление вольтметра должно быть мало, а его входное сопротивление - велико. Поэтому в последние годы в основном используют электронные вольтметры.

Электронные вольтметры представляют собой сочетание электронного преобразователя и измерительного прибора. В отличие от вольтметров электромеханической группы электронные вольтметры постоянного и переменного токов имеют высокие входное сопротивление и чувствительность, широкие пределы измерения и частотный диапазон (от 20 Гц до 1000 МГц), малое потребление тока из измерительной цепи.

Классифицируют электронные вольтметры по ряду признаков:

- по назначению - вольтметры постоянного, переменного и импульсного напряжений; универсальные; фазочувствительные; селективные;
- по способу измерения - приборы непосредственной оценки и приборы сравнения;
- по характеру измеряемого значения напряжения - амплитудные (пиковые), среднего квадратического значения, средневыпрямленного значения;
- по частотному диапазону - низкочастотные, высокочастотные, сверхвысокочастотные.

Кроме того, все электронные приборы можно разделить на две большие группы: аналоговые электронные со стрелочным отсчетом и приборы дискретного типа с цифровым отсчетом.

При измерениях силы тока электронным вольтметром, вначале ток преобразуется в напряжение, а затем определяют по формуле:  $I_x = U_x / R_0$ , где  $R_0$  - образцовое расчетное сопротивление.

#### **Техника измерения напряжения**

Для измерения напряжения необходимо правильно выбрать прибор с учетом его диапазона измерения, частотного диапазона, класса точности, потребления мощности из измерительной цепи, влияния формы сигнала на результат измерения. Эти параметры указаны в технической документации на прибор. При этом следует обратить внимание на следующие важные обстоятельства.

При измерении гармонических напряжений частота измеряемого сигнала должна находиться в пределах рабочего диапазона частот. Следует проверить по паспорту, не имеет ли место дополнительная частотная погрешность в измеряемой точке.

При измерении сигналов сложной формы частотный диапазон выбирают с учетом высших гармоник. Если используется электронный прибор с амплитудным детектором, то по его показаниям можно определить среднее квадратическое значение  $U$  только для случая, когда известен коэффициент амплитуды измеряемого сигнала.

Аналогично, при измерении прибором с преобразователем средневыпрямленного значения  $U_{пр}$  для определения среднего квадратического значения сигнала нужно знать коэффициент его формы  $K_{ф.сиг}$ . Тогда, с учетом  $K_{ф.сиг} = 1,11$ , получим:

$$U = \frac{U_{пр} K_{ф.сиг}}{K_{ф.сиг}} \approx \frac{U_{пр}}{1,11} K_{ф.сиг} \quad 1$$

Необходимо помнить, что приборы средневыпрямленного значения подчас вообще непригодны для измерения сигналов сложной формы, поскольку не обеспечивают необходимого рабочего диапазона частот.

При измерениях на переменном токе с помощью электронных приборов следует иметь в виду, что основная их масса имеет «закрытый вход» для постоянной составляющей сигнала.

Это позволяет производить измерения в схемах, где уровень сигнала значительно меньше, чем постоянные напряжения режима покоя схемы. Однако при измерении импульсных сигналов приборами с амплитудными преобразователями на это следует обратить особое внимание.

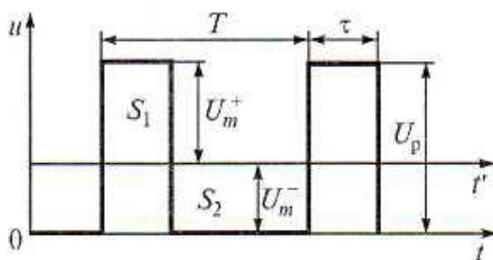


Рисунок 1. Диаграммы к вольтметру с амплитудным преобразователем

На временных диаграммах, представленных на рис. 1, показано, как можно определить параметры однополярных прямоугольных импульсов, амплитуда  $U_p$ , длительность  $\tau$  и частота  $f = 1/T$  следования которых известны.

Пусть шкала измерительного прибора отградуирована в средних квадратических значениях синусоиды. Тогда показание прибора с амплитудным преобразователем измеряемого напряжения должно быть  $U_{пр} = U_m / 1,41$ . Вследствие того, что прибор реагирует только на переменную составляющую сигнала, представленную на рис. 1 по отношению временной оси  $t'$ , показания прибора будут:  $U_{пр} = U_m^+ / 1,41$  или  $U_{пр} = U_m^- / 1,41$  в зависимости от полярности его подключения, где  $U^+ = U_p(\tau/T)$  - положительное амплитудное значение;  $U^- = U_p \tau/T$  - отрицательное амплитудное значение импульса.

Формулы перевода напряжений получены из условия равенства нулю постоянной составляющей, т.е. площади  $S_1$  и  $S_2$  относительно оси времени  $t'$  равны:

$$S_1 = U_m^+ \tau \quad S_2 = U_m^- (T - \tau),$$

### Особенности измерения силы тока.

Существует ряд методов измерения силы тока в электрических цепях: кроме прямых измерений, широко используют косвенные измерения.

**Прямое измерение силы тока.** В этом случае амперметр включают последовательно в разрыв электрической цепи, в которой проводится измерение силы тока (рис. 2.5, а).

Включение в исследуемую цепь амперметра искажает результат измерения. В частности, наличие в схеме рис. 2.5, а амперметра с внутренним сопротивлением  $R_A$  приведет к тому, что вместо силы тока

$I_x = U/R_A$ , который протекал в этой цепи без амперметра, после его включения потечет ток:

$$I_1 = \frac{U}{R+R_A}$$

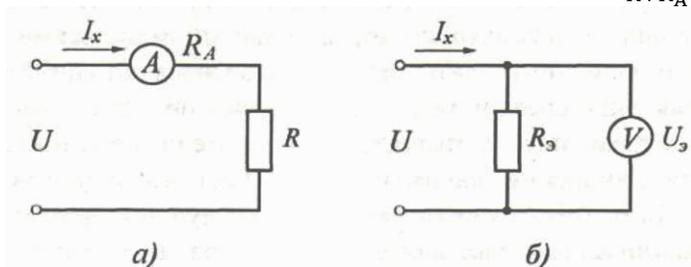


Рисунок 2. Схемы измерения силы тока:

а - с амперметром

б - с помощью вольтметра.

Абсолютная погрешность измерения  $\Delta I = I_x - I_1$  будет тем больше, чем выше внутреннее сопротивление амперметра  $R_A$ .

**Измерение силы тока косвенным методом с помощью электронных вольтметров.** Поскольку между напряжением и током в электрической цепи имеется линейная связь (согласно закону Ома), то ток можно измерить косвенным методом с помощью схемы, показанной на рис. 2, б. При этом, измерив вольтметром напряжение на сопротивлении эталонного резистора  $R_э$ , силу тока находим по формуле

$$I_x = U_э / R_э$$

где  $U_э$ , - напряжение, измеренное вольтметром;  $I_x$  - ток, подлежащий определению;  $R_э$  - активное эталонное сопротивление известного номинала.

Однако при измерении малых токов подобная методика может оказаться неприемлемой. В этом случае в измерительных приборах применяют схему входного усилительного каскада с достаточно малым входным сопротивлением.

**Особенности измерений малых напряжений и силы токов.** Рассмотренные способы измерения напряжения или силы тока малых уровней основаны, главным образом, на применении усилителей. Для усиления малых сигналов требуется иметь усилитель с большим коэффициентом усиления. Настоящий уровень развития электронной техники позволяет успешно решить эту задачу. Поэтому не коэффициент усиления, а внутренние шумы усилителя и источника исследуемого сигнала определяют предельно достижимый порог чувствительности при измерении малых сигналов.

#### Определение уровня переменного напряжения (тока)

Измерение напряжения и силы тока в электрических цепях относятся к наиболее распространенным видам измерений. При этом преобладающее значение имеет измерение напряжения, поскольку чаще всего этой величиной принято характеризовать режимы работы различных радиотехнических цепей и устройств. К тому же параллельный метод подключения вольтметра к участку цепи, как правило, не приводит к нарушению электрических процессов в ней, поскольку входное сопротивление прибора выбирается достаточно большим. При измерениях же силы тока приходится обязательно размыкать исследуемую цепь и в ее разрыв последовательно включать амперметр, внутреннее сопротивление которого отлично от нуля. Так как напряжение и сила тока связаны, согласно закону Ома, линейной зависимостью, удобнее проводить измерение напряжения и по его значению аналитически вычислять силу тока.

Современные методы и средства измерений позволяют измерять напряжения в диапазоне  $10^{-10} \dots 10^6$  В и силу тока в диапазоне  $10^{-18} \dots 10^5$  А. Вместе с тем данные измерения должны осуществляться в очень широкой полосе частот - от постоянного тока до сверхвысоких частот (СВЧ).

Переменное напряжение (переменный ток) промышленной частоты имеет синусоидальную форму

$$u(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi),$$

и его мгновенное значение  $u(t)$  характеризуется несколькими основными параметрами: амплитудой  $U_m$ , круговой частотой  $\omega$  и начальной фазой  $\varphi$ .

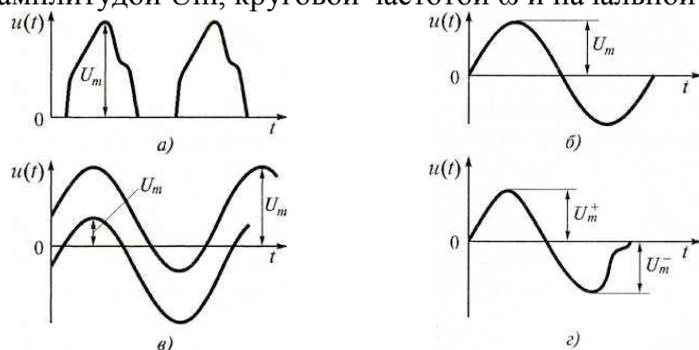


Рисунок 3. Иллюстрации к понятию амплитуда напряжения:

а - импульсы положительной полярности;

б - синусоидальное напряжение;

в - сумма синусоиды и постоянной составляющей;

г - несинусоидальное колебание.

Уровень переменного напряжения можно определить по **амплитудному, среднему квадратическому** (часто в технической литературе употребляют термины «**среднеквадратическое**», «**действующее**» и «**эффективное**», которые относятся к нерегламентируемым), **среднему (постоянной составляющей)** или **средневыпрямленному** значениям.

**Мгновенные значения напряжения  $u(t)$**  наблюдают на экране осциллографа, дисплее компьютера или другого устройства и определяют в каждый момент времени (рис. 3).

**Амплитуда (высота; устаревшее - пиковое значение)  $U_m$**  - наибольшее мгновенное значение напряжения (относительно оси абсцисс) за интервал наблюдения или за период.

Измеряемые на практике напряжения могут иметь различный вид, например, форму импульсов, синусоидального или не синусоидального колебаний - суммы синусоиды с постоянной составляющей и т.д. (см. рис. 3, а, б, в).

При разнополярных несимметричных кривых формы напряжения различают два амплитудных значения (см. рис. 2.6, г): положительное  $U_m^+$  и отрицательное  $U_m^-$ .

**Среднее квадратическое значение** напряжения есть корень квадратный из среднего квадрата его мгновенного значения за время измерения (за период):

$$U = \sqrt{1/T \int_0^T u^2(t) dt},$$

Если периодический сигнал несинусоидален, то квадрат среднего квадратического значения равен сумме квадратов постоянной составляющей и средних квадратических значений гармоник:

$$U^2 = U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots$$

**Среднее значение (постоянная составляющая)** напряжения равно среднему арифметическому всех мгновенных значений за период

$$U_{\text{ср}} = 1/T \int_0^T u(t) dt,$$

**Средневыпрямленное** напряжение определяется как среднее арифметическое абсолютных мгновенных значений за период:

$$U_{\text{ср}} = 1/T \int_0^T |u(t)| dt,$$

Для напряжения одной полярности среднее и средневыпрямленное значения равны.

Для разнополярных напряжений эти значения могут существенно отличаться.

Так, для гармонического напряжения  $U_{\text{ср}} = 0$ ,  $U_{\text{ср.в}} = 0,637U_m$ .

**Чаще измеряют среднее квадратическое значение напряжения, так как этот параметр связан с мощностью, нагревом, потерями.**

Однако проще измерить амплитудное или средневыпрямленное значение и произвести пересчет с применением коэффициентов амплитуды  $K_a$  и формы  $K_f$ .

$$K_a = \frac{U_m}{U}$$

$$K_\phi = \frac{U}{U_{\text{ср.в}}}$$

Значения этих коэффициентов для наиболее употребляемых видов сигналов и соотношения между ними даны в табл. 2.3, где все напряжения для упрощения обозначены буквой  $u$ .

**Структурные схемы аналоговых вольтметров показаны на рис. 1.** В настоящее время аналоговые электронные вольтметры постоянного тока (рис. 2.7, а) находят ограниченное применение, так как они по своим техническим свойствам сильно уступают цифровым вольтметрам. Поэтому дальше рассматриваются только аналоговые вольтметры переменного тока. Изображенная на рис. 1, б структурная схема используется в вольтметрах переменного тока для измерения напряжений значительного уровня.

Чтобы обеспечить необходимую точность вольтметра к усилителям постоянного тока, применяемым в электронных вольтметрах, предъявляют жесткие требования в отношении линейности амплитудной характеристики, постоянства коэффициента усиления, температурного и временного дрейфа нуля. При построении электронных вольтметров для измерения малых напряжений подобные требования не всегда могут быть удовлетворены.

Поэтому электронные вольтметры переменного тока для измерения малых напряжений выполняют по схеме, показанной на рис. 1, в. Данная схема применяется в милливольтметрах, поскольку обладает большой чувствительностью. Последнее связано с наличием дополнительного усилителя переменного тока.

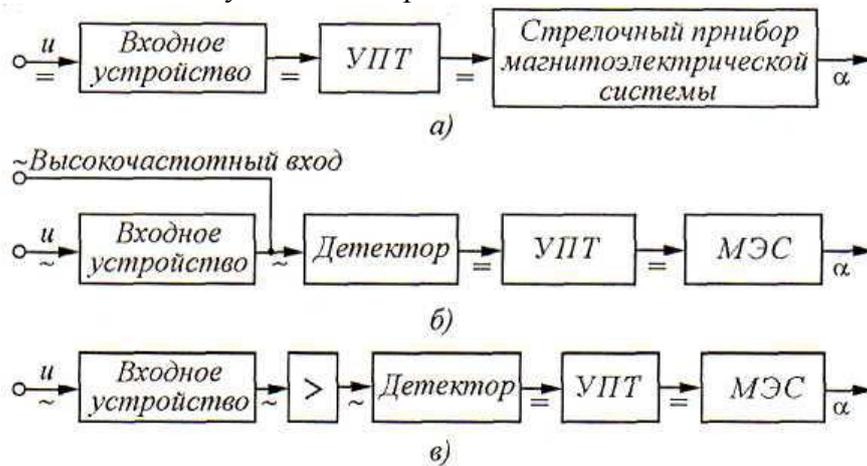


Рисунок 1 Структурные схемы аналоговых электронных вольтметров: а - постоянного тока; б - напряжений большого уровня; в - милливольтметра (УПТ - усилитель постоянного тока; > - усилитель переменного тока; МЭС - магнитоэлектрическая система)

При создании аналоговых вольтметров важную функцию несут преобразователи переменного напряжения в постоянное (детекторы). Детекторы можно классифицировать по функции преобразования входного напряжения в выходное: амплитудные (пиковые), среднего квадратического и средневывпрямленного значений.

Тип детектора во многом определяет свойства прибора: вольтметры с амплитудными детекторами являются самыми высокочастотными; вольтметры с детекторами среднего квадратического значения измеряют напряжение любой формы; вольтметры средневывпрямленного значения измеряют только гармонические сигналы, но являются самыми простыми и надежными.

**Амплитудный детектор** - устройство, напряжение на выходе которого, соответствует максимальному (амплитудному) значению измеряемого напряжения. Чтобы нагрузка детектора эффективно отфильтровывала постоянную составляющую и подавляла высокочастотные гармоники, необходимо выполнение неравенства  $1/(\omega C_\phi) \ll R_H$ , где  $C_\phi$  - емкость фильтра;  $R_H$  - сопротивление нагрузки детектора. Еще одно условие хорошей работы детектора: сопротивление резистора нагрузки  $R_H$  должно быть значительно больше сопро-

тивления диода в его прямой проводимости. На рис. 2 показаны принципиальная и эквивалентная схемы и временные диаграммы амплитудного детектора с параллельным включением диода (детектор с закрытым входом). Рассмотрим работу детектора (рис. 2, а) при подаче на его вход гармонического напряжения  $u_x(t) = U_m \sin \omega t$ .

На интервалах времени, когда на вход детектора поступает положительная полуволна, конденсатор С заряжается через диод D, сопротивление  $R_0$  которого в открытом состоянии мало. Постоянная времени заряда  $\tau_3 = RaC$  невелика и заряд конденсатора до максимального значения  $U_m$  происходит быстро. На интервале действия отрицательной полуволны диод D закрыт и конденсатор С медленно разряжается на сопротивлении нагрузки  $R_H$ , так как оно выбирается достаточно большим. Итак, постоянная разряда  $\tau_p = R_H C$  оказывается значительно больше периода  $T = 2\pi/\omega$  входного напряжения. В результате конденсатор остается заряженным до напряжения  $U_c = U_m = U_{\text{вых}}$ . Эквивалентная схема амплитудного детектора и временные диаграммы, поясняющие его работу, представлены на рис. 2, б, в.

Изменение напряжения на сопротивлении нагрузки  $R_H$  определяется разностью амплитуды входного напряжения  $U_x$  и напряжения на конденсаторе  $U_c$ , т.е.  $U_R = U_x - U_c$ . Таким образом, выходное напряжение  $U_R$  будет пульсирующим с удвоенной амплитудой измеряемого напряжения, как показано на рис. 1, в. Это подтверждают простые математические выкладки:

$$U = U_m \sin \omega t - U_c \approx U_m \sin \omega t - U_m;$$

при  $\sin \omega t = 1$  напряжение  $U_R = 0$ ; при  $\sin \omega t = 0$  -  $U_R = -U_m$ ;

при  $\sin \omega t = -1$  -  $U_R = -2U_m$ .

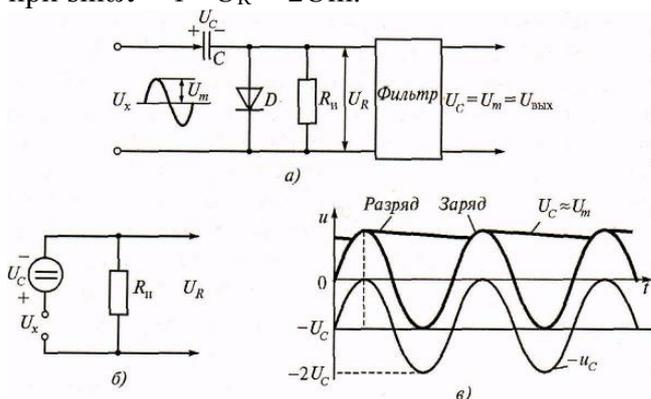


Рисунок 2. Амплитудный детектор с параллельным диодом:

а - принципиальная схема; б - эквивалентная схема; в - временные диаграммы

Для выделения постоянной составляющей сигнала  $U_m = -U_c$  на выходе детектора ставится емкостной фильтр, подавляющий остальные гармоники.

Одним из достоинств аналоговых вольтметров с амплитудным детектором является независимость показаний прибора от формы сигнала. Обычно шкала амплитудных вольтметров градуируется в средних квадратических значениях синусоидального напряжения, т.е. показания прибора:  $U_{np} = U_m / \sqrt{2}$ .

**Детектор среднего квадратического значения** - преобразователь переменного напряжения в постоянное, пропорциональное корню квадратному из среднего квадрата мгновенного значения напряжения. Значит, измерение действующего напряжения, связано с выполнением трех последовательных операций: возведение в квадрат мгновенного значения сигнала, усреднение и извлечение корня из результата усреднения (усреднение обычно осуществляется при градуировке шкалы вольтметра).

Возведение в квадрат осуществляют полупроводниковой ячейкой, используя параболический участок его характеристики, близкий по форме к квадратичной линии; иногда этот участок создают искусственно.

На рис. 3, а представлена диодная ячейка  $D_1 R_1 C$ , в которой постоянное напряжение  $E_1$ , приложено к диоду  $D_1$  таким образом, что он оказывается закрытым до тех пор, пока измеряемое напряжение  $u_x(t)$  на резисторе  $R_1$  не превысит величины  $E_1$ .

Следует иметь в виду, что начальный квадратичный участок вольтамперной характеристики полупроводникового диода имеет, как правило, малую протяженность (рис. 3, б), поэтому эту часть удлиняют искусственно.

Линеаризация вольтамперной характеристики легко иллюстрируется методом кусочно-линейной аппроксимации. Для этого в схеме детектора используют несколько диодных ячеек (рис. 3, в) аналогичных показанной на рис. 3, а. Линейный участок обобщенной вольтамперной характеристики при этом увеличивается.

На рис. 4 показано, как получается в этом случае квадратичная характеристика при последовательном включении цепочек резисторов  $R_{1c}$ ,  $R_{2c}$ ,  $R_{3c}$  с диодами  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ .

Диод  $D_1$  первоначально закрыт напряжением  $E_1$  затем, по мере роста напряжения  $u_x(t)$  и достижения соотношения  $u_x(t) > E_1$  он открывается и начальный линейный участок его идеализированной характеристики увеличивается.

В схеме, представленной на рис. 3, в, первоначально диоды  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$  закрыты соответствующими напряжениями смещения  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$  и при малом входном напряжении  $u_x(t)$  ток через миллиамперметр равен  $i_0$ . Когда входное напряжение  $u_x(t) > E_1$  откроется диод  $D_1$  и параллельно резистору  $R_0$  подключится делитель напряжения  $R_1 R_{1c}$ . В результате крутизна вольтамперной характеристики на участке от  $E_1$  до  $E_2$  возрастает;

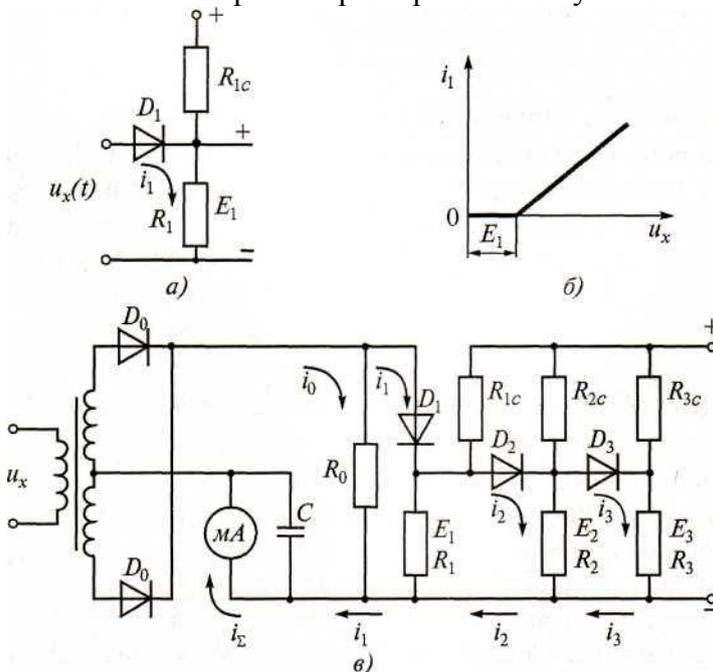


Рисунок 3 Детектор среднего квадратического значения:  
 а - диодная ячейка; б - идеализированная характеристика;  
 в - схема квадратичного детектора

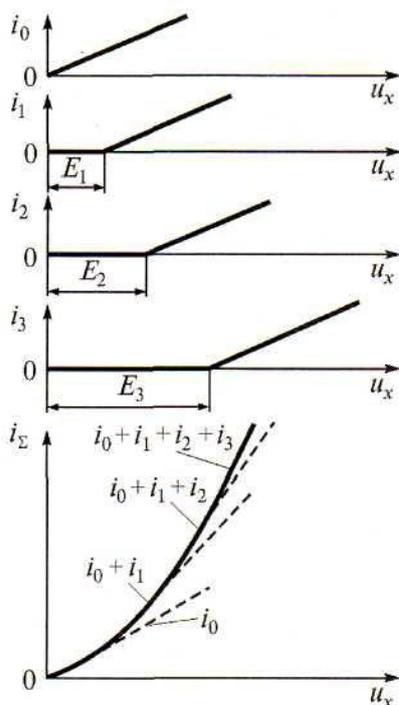


Рисунок 4 Аппроксимация квадратичной вольтамперной характеристики

Суммарный ток протекающий через миллиамперметр, станет равным:  $i_{\Sigma} = i_0 + i_1$ .

Когда выполнится условие  $u_x(t) > E_2$ , откроется диод  $D_2$  и ток миллиамперметра будет равен  $i_{\Sigma} = i_0 + i_1 + i_2$ . При  $u_x(t) > E_3$ , откроется диод  $D_3$  и суммарный ток, протекающий через миллиамперметр, будет равен  $i_{\Sigma} = i_0 + i_1 + i_2 + i_3$ . В результате форма суммарной вольтамперной характеристики приблизится к квадратичной кривой. Показание измерительного прибора будет пропорциональным среднему квадратическому значению входного напряжения, и оно не зависит от его формы.

При конструировании приборов действующего значения возникает целый ряд трудностей, в том числе и с обеспечением широкого частотного диапазона. Тем не менее, эти приборы являются самыми востребованными, так как они позволяют измерять напряжение любой сложной формы.

**Детектор средневыпрямленного значения** - устройство, преобразующее переменное напряжение в постоянный ток, пропорциональный средневыпрямленному значению напряжения. Структура выходного тока измерительного прибора с детектором средневыпрямленного значения аналогична ранее рассмотренному узлу выпрямительной системы. Аналоговый электронный вольтметр средневыпрямленного значения имеет более высокую чувствительность и меньшее потребление мощности от измерительной цепи (за счет дополнительного усиления), чем прибор со схемой выпрямления без усилителя.

**Интегральные амплитудные детекторы.** Диодные (как и транзисторные) амплитудные детекторы при малых напряжениях вносят в измеряемый сигнал значительные нелинейные искажения. Поэтому в измерительных устройствах применяют амплитудные детекторы на интегральных микросхемах - операционных усилителях - ОУ (рис.5).

Поскольку детектор выполнен по инвертирующей схеме (возможно и неинвертирующее включение), то при подаче положительных полуволн напряжение  $u_2$  на выходе ОУ будет отрицательным. При этом диод  $VD_1$  открыт, а диод  $VD_2$  закрыт.

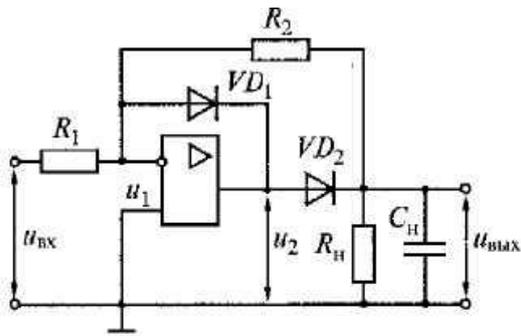


Рисунок 5 Амплитудный детектор на ОУ

Выход ОУ через малое прямое сопротивление диода  $VD_1$  подключен ко входу, что создает глубокую отрицательную обратную связь.

В результате напряжение на выходе ОУ равно напряжению на его входе и близко к нулю. Выходное напряжение детектора тоже равно нулю. При подаче отрицательной полуволны напряжение  $u_2$  на выходе ОУ будет положительным, поэтому диод  $VD_1$  закрыт, а  $VD_2$  - открыт. При этом напряжение на выходах ОУ и детектора  $u_{\text{вых}} = u_2 - u_{\text{вх}}R_2/R_1$ .

При несинусоидальной форме сигнала возможна методическая погрешность измерения.

#### Ход работы:

1. Изучить лекционный материал и ответить в тетради на следующие вопросы:

1. Приведите основные схемы построения электронных аналоговых вольтметров и их отличие.
2. Почему амплитудный преобразователь наиболее высокочастотен?
3. Как функционирует преобразователь среднего квадратического значения?
4. Поясните работу амплитудного детектора на ОУ.
5. Что называется амплитудным, средним, средневыпрямленным и средним квадратическим значениями напряжения или тока?
6. Какие коэффициенты устанавливают связь между амплитудным и средним квадратическим, средним квадратическим и средним значениями напряжения (тока)? Чему равны эти коэффициенты для гармонической формы сигнала?
7. Приведите основные схемы построения электронных аналоговых вольтметров и их отличия.
8. Объясните работу амплитудного диодного преобразователя переменного тока в постоянный.
9. Почему амплитудный преобразователь наиболее высокочастотен?
10. Как функционирует преобразователь среднего квадратического значения, реализованный с помощью кусочно-линейной аппроксимации вольтамперной характеристики?
11. Какова техника измерения напряжений?
12. В чем состоят особенности измерения силы тока?

#### Практическая работа № 8.

##### Тема 2.2. Аналоговые электронные приборы.

##### Изучение устройства и принципа действия электронного вольтметра.

**Цель работы:** ознакомиться с особенностями схемотехнического решения основных блоков вольтметра.

##### Перечень используемого оборудования

Милливольтметр ВЗ – 38 (паспорт).

Милливольтметр ВЗ – 38 предназначен для измерения напряжения переменного тока от 0,1 мВ до 300В в диапазоне частот от 20 Гц до 5 МГц.

Показания прибора пропорциональны среднему значению, а шкала проградуирована в эффективных значениях синусоидального напряжения. Прибор имеет отдельную шкалу, проградуированную в децибелах.

Уровень "0" децибел равен 0,775 В.

### Технические характеристики

- 1) диапазон измеряемых напряжений от 100 мкВ до 300В перекрывается поддиапазонами (1, 3, 10, 100, 300 мВ, 1, 3, 10, 30, 100, 300)В;
- 2) диапазон частот измеряемых переменных напряжений от 20 Гц до 5 МГц;
- 3) класс точности прибора допускается указывать разным для нормальных условий и для двух областей измеряемого напряжения:
  - поддиапазон от 100 мВ до 300 мВ класс - 2,5;
  - поддиапазон от 1В до 300В класс - 4,0.
- 4) приведенные погрешности для рабочих условий приведены в таблице 1;
- 5) дополнительная погрешность прибора, вызванная отклонением температуры окружающей среды от номинального значения, не превышает предела приведенной погрешности на каждые 10°C изменения температуры;
- 6) нормальные и рабочие условия эксплуатации прибора заданы в таблице 2;
- 7) входное сопротивление на частоте 55 Гц не менее:
  - на поддиапазоне от 1 до 300 мВ - 5 Мом;
  - на поддиапазоне от 1 до 300В - 4 Мом.
- 8) входная емкость не превышает:
  - на поддиапазоне от 1 до 300 мВ - 30 пФ;
  - на поддиапазоне от 1 до 300 мВ - 15 пФ.
- 9) емкость придаваемого к прибору кабеля не превышает 80 пФ;
- 10) дополнительная погрешность прибора, вызванная отклонением формы кривой измеряемого напряжения от синусоидальной с коэффициентом гармоник от 0,5 до 20 % , не превосходит величины, определяемой по формуле:  
$$\delta = U_k/U_1 * 100 \% ,$$
где  $U_1$  - амплитуда первой гармоники;  
 $U_k$  - амплитуда гармоники измеряемого сигнала;  
 $k$  - номер гармоники.
- 11) прибор допускает работу в течение 8 часов;
- 12) потребляемая прибором мощность при номинальном напряжении не превышает 10 В \* А;
- 13) габариты прибора составляют 152 \* 206 \* 285 мм;
- 14) масса прибора не более 5 кг;
- 15) время разогрева прибора не более 15 мин;
- 16) наработка прибора на отказ составляет 2500 час.

Таблица 1 - Пределы приведенных погрешностей в различных областях частот

Пределы приведенных погрешностей в области частот			
Поддиапазоны	от 20 до 45 Гц	от 1 до 3 МГц	от 3 до 5 МГц
1 - 300 мВ	4.0	4.0	6.0
1 - 300В	4.0	6.0	6.0

Таблица 2 - Условия эксплуатации прибора

Нормальные условия эксплуатации	
Температура окружающей среды	293 ± 5К
Относительная влажность при нормальной температуре среды	65 ± 15%
Атмосферное давление	101 ± 5 кПа
Рабочие условия эксплуатации прибора	
Температура окружающей среды	от 283 до 308К
Относительная влажность при температуре 298К	до 80%

Атмосферное давление	$96 \pm 10$ кПа
Напряжение питания	$220\text{В} \pm 20\text{В}$ частота $50 \pm 0,5$ Гц

Аналоговый милливольтметр переменного тока ВЗ-38 предназначен для измерения величины напряжения переменного тока в диапазоне 100 мкВ...300 В частотой 20 Гц...5 МГц. На его передней панели имеются (см. рис.):

- стрелочный прибор, по положению стрелки которого отсчитывается входное напряжение;
- входной разъём для подачи измеряемого напряжения;
- переключатель пределов измерения напряжения;
- выключатель сети и индикатор включения.

Для начала включаем прибор в сеть, щёлкаем вверх сетевым выключателем и даём прогреться прибору 5 минут (как движок в автомобиле :).

Устанавливаем переключатель пределов на значение, немного превышающее предполагаемую величину измеряемого напряжения. Например, если планируется измерять напряжение примерно 1–2 В, ставим переключатель на «3 V» (как на рисунке).

**Важно!** Предел измерения прибора обозначает величину напряжения, подаваемого на вход, при котором стрелка прибора отклонится до максимального (крайнего правого) положения, а не множитель или что-то подобное.

Подаём на вход прибора измеряемое напряжение. Стрелка его отклонится и покажет величину поданного напряжения. Если стрелка ушла вправо за границу шкалы (зашкалила), то входное напряжение больше установленного предела, нужно переключатель пределов переключить на больший предел, если стрелка отклонилась меньше, чем четверть шкалы, то нужно переключиться на меньший предел, иначе будет велика погрешность измерения.

По какой шкале производить отсчёт? Верхняя шкала имеет деления до 10, по ней удобно измерять на пределах, кратных 10, средняя шкала имеет деления до 30, по ней удобно измерять на пределах, кратных 3. На нижнюю шкалу для ясности не будем обращать внимания – для лабораторных работ по электронике она не нужна.

У нас переключатель пределов стоит в положении «3 V», значит, считывать показания будем по средней шкале, и стрелка отклонится до числа 30 при входном напряжении 3 В, то есть значение, которое стрелка показывает на средней шкале, нужно разделить на 10, тогда получим величину измеряемого напряжения. В нашем случае стрелка показывает «21», считаем:  $21/10 = 2.1$  В.



Рис.

### Описание функциональной схемы

На рисунке 1 представлена функциональная схема прибора.

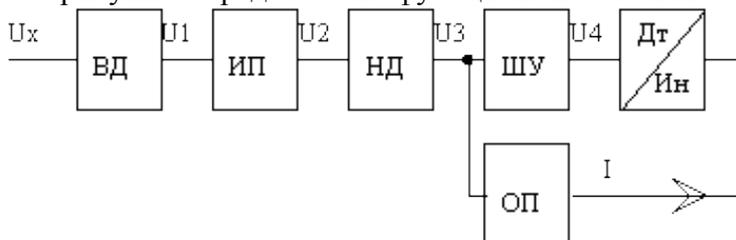


Рисунок 1 - Функциональная схема ВЗ – 38

На вход высокоомного делителя ВД подается измеряемое напряжение. Высокоомный делитель от низкоомного НД отделяется преобразователем импеданса ИП. С выхода делителя низкоомного напряжение подается на широкополосный усилитель ШУ.

К выходу ШУ подключены детектор и индикатор, которые соединены со входом обратного преобразователя ОП, предназначенного для уменьшения погрешности вносимой диодами детектора.

### Делитель высокоомный

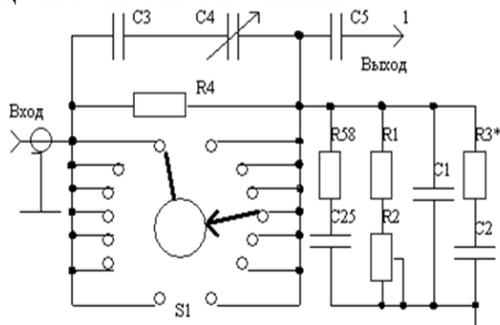


Рисунок 2 - Делитель высокоомный

### Конструкция

Прибор выполнен в переносном исполнении. Каркас, рамы и боковые стяжки изготовлены методом литья под давлением. Вся схема прибора, за исключением переключателя пределов измерения и входного делителя, размещена на одной печатной плате, прикрепленной к каркасу с левой стороны.

На задней панели закреплен трансформатор, держатель предохранителя и клемма заземления и выведен шнур питания. Элементы входного делителя экранированы и укреплены на передней панели.

На передней панели расположены: стрелочный отсчетный прибор, входные гнезда, индикатор и тумблер включения прибора.

Делитель высокоомный представлен на рисунке 2 и кроме резисторов содержит корректирующие емкости.

Его коэффициент деления равен 1:1000. При переключении с поддиапазона 300 мВ на поддиапазон 1В входное сопротивление меняется с 8 до 5 МОм. Резистор R2 позволяет точно отрегулировать коэффициент деления делителя на частотах менее 1 МГц. На более высоких частотах оказывают свое влияние корректирующие цепи (C1, R3 - C2, R58 - C25 и цепочка C3 совместно с триммером C4). Емкость C5 выполняет роль разделительной емкости и не пропускает постоянную составляющую переменного сигнала.

## Преобразователь импеданса

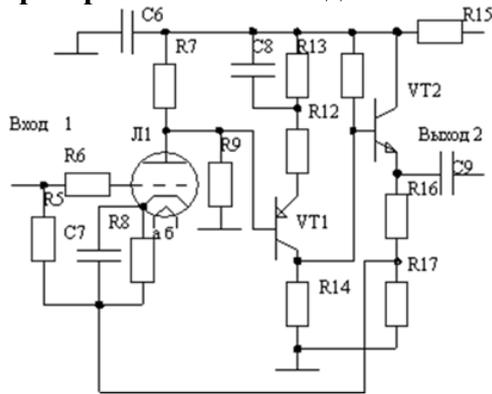


Рисунок 3 - Преобразователь импеданса

Он выполнен на лампе - нувисторе 6С63Н, обеспечивающей большое входное сопротивление и двух транзисторах. Транзистор VT1 обеспечивает усиление, а VT2, как эмиттерный повторитель, обеспечивает малое выходное сопротивление такой величины, чтобы оно не оказывало влияния на коэффициенты деления низкоомного делителя. Глубокая отрицательная обратная связь с выхода повторителя (цепь R16 - R17) обеспечивает высокую стабильность характеристик преобразователя и одновременно сохраняет усиление порядка трех.

## Аттенюатор

Аттенюатор (рисунок 4) служит для переключения пределов измерения милливольтметра и имеет шесть ступеней по 10дб. Аттенюатор собран на высокочастотных резисторах типа С2-10, а выполнен на двух платах с экраном между ними таким образом, что его эквивалентное сопротивление для эмиттерного повторителя и широкополосного усилителя всегда неизменно и составляет величину 521 Ом.

## Широкополосный усилитель

ШУ - широкополосный усилитель состоит из четырех транзисторов VT3 - VT6 (рис. 5). Транзистор VT3 подбирается со статическим коэффициентом усиления по току порядка (100 - 120). Усилитель обеспечивает усиление равное 300.

Обратная связь через резистор R22 обеспечивает стабильность характеристик ШУ. Выходной сигнал снимается с выхода повторителя, собранного на транзисторе VT6, и составляет величину, равную 1В (при этом стрелка индикатора отклоняется на предельное значение).

Элементы R37, C16\*, C22 и триммер C17 обеспечивают коррекцию амплитудно - частотной характеристики широкополосного усилителя. Эта глубокая обратная связь организована так, что в нее входит детекторный мост, собранный на диодах VD1 - VD2 и резисторах R43, R44

Снимается напряжение обратной связи с делителя R43 - R44 и подается на эмиттер транзистора VT3.

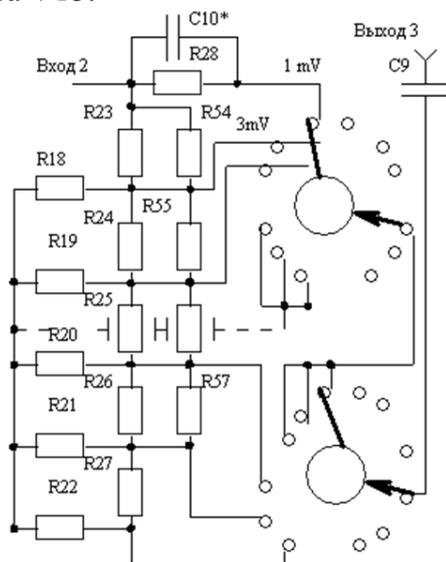


Рисунок 4 – Аттенюатор

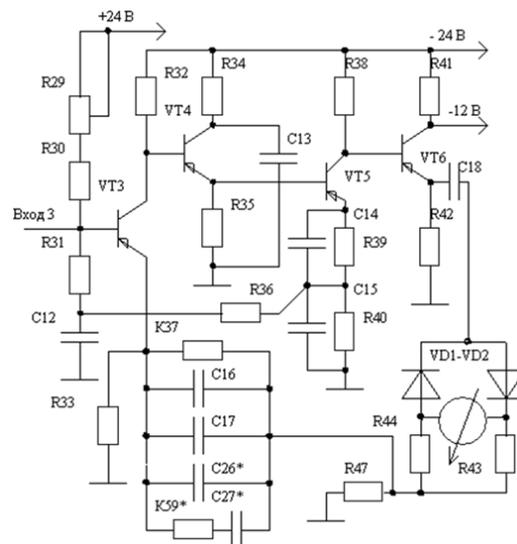


Рисунок 5 - Широкополосный усилитель

## Стрелочный отсчетный прибор

Стрелочный отсчетный прибор является микроамперметром с полным током отклонения

100 мкА. Линейность передаточной характеристики диодного моста зависит от глубины обратной связи и на частотах менее 1 МГц практически линейна.

На частоте 5 МГц глубина обратной связи уже недостаточна и нелинейность шкалы в точке 1/10 составляет величину 4%, а в точке 1/3 шкалы около 1 % от установленного поддиапазона измерения. Источник питания выполнен по мостовой схеме на диодах VD7 - VD10. Фильтры выполнены по типу RC цепей.

Выпрямленное напряжение стабилизируется стабилитронами VD3 - VD6. Величина выпрямленного напряжения (+24В и – 24) В. Переменное напряжение накала нувистора снимается с обмотки (21 – 22) трансформатора и зашунтировано потенциометром R53. Этим потенциометром добиваются наименьших шумов схемы милливольтметра. Средняя точка трансформатора 12 заземлена.

### **Ход работы**

- 1) изучить метрологические и технические характеристики средств измерения и объекта исследования;
- 2) по техническому паспорту изучить принцип действия функциональных узлов прибора;
- 3) начертить блок - схему вольтметра с выбранными функциональными узлами;
- 4) начертить для заданного функционального узла схему электрическую принципиальную;

### **Содержание отчета**

- 1) цель работы;
  - 2) таблица с метрологическими характеристиками и параметрами средства измерения;
  - 3) функциональная блок - схема электронного вольтметра;
  - 4) схему электрическую принципиальную для функционального блока;
- блок – схему для вычисления погрешностей выбранного функционального узла;
- 5) Ответы на вопросы.

### **Контрольные вопросы**

- 1) Почему на входе вольтметра выбран нувистор, а не биполярный транзистор?
- 2) Для чего в цепи катода нувистора включено сопротивление?
- 3) Почему широкополосные транзисторные усилители напряжения друг от друга отделены эмиттерными повторителями?
- 4) Сколько местных обратных связей использовано в схеме электронного вольтметра?
- 5) Какую роль выполняет в схеме общая обратная связь?
- 6) В чем преимущество мостовой схемы выпрямления перед однополупериодной?
- 7) Решена ли в данной схеме проблема уменьшения влияния нелинейности диодов на погрешность детектирования?
- 8) Как влияет на погрешность вольтметра класс точности индикатора?
- 9) В чем состоит особенность построения низкоомного многопредельного делителя напряжения?
- 10) Какие функциональные узлы вольтметра вносят шумы: высокочастотные, дрейфовые, от температуры среды, от колебаний частоты сети и величины напряжения.
- 11) Перечислить все цепи, вносящие погрешности на низких частотах в данном вольтметре.
- 12) Перечислить пассивные цепи, вносящие погрешности на высоких частотах.
- 13) Перечислить активные элементы, вносящие существенную погрешность на высоких частотах.
- 14) Перечислить элементы схемы, которые вносят большую погрешность при изменении температуры окружающей среды.
- 15) Какие цепи корректируют погрешность прибора на высоких частотах, и какой у них принцип работы?
- 16) Какие цепи корректируют погрешность прибора на низких частотах, и какой у них принцип работы?

17) Какие цепи ВЗ-38 корректируют погрешность прибора, зависящую от температуры окружающей среды и каков их принцип работы?

4) вывод

### Практическая работа №9.

Тема 2.3 Цифровые приборы.

Принцип работы цифровых измерительных приборов.

**Цель работы:** Изучение принцип работы цифровых измерительных приборов

**Теоретическая часть:**

Принцип работы цифровых измерительных приборов основан на дискретном и цифровом представлении непрерывных измеряемых физических величин. Упрощенная структурная схема цифрового вольтметра (рис. 2.12) состоит из входного устройства, АЦП, цифрового отсчетного устройства ЦОУ и управляющего устройства.

**Входное устройство** содержит делитель напряжения; в вольтметрах переменного тока оно включает в себя также преобразователь переменного тока в постоянный.

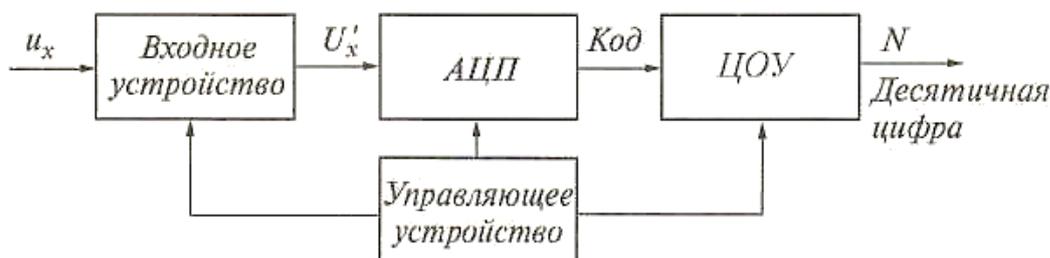


Рис.1 Упрощенная структурная схема цифрового вольтметра

Аналого-цифровой преобразователь преобразует аналоговый сигнал в цифровой, представляемый цифровым кодом. Процесс аналого-цифрового преобразования составляет суть любого цифрового прибора, в том числе и вольтметра. Использование в АЦП цифровых вольтметров двоично-десятичного кода облегчает обратное преобразование кода в десятичное число, отражаемое цифровым отсчетным устройством. Цифровое отсчетное устройство регистрирует измеряемую величину. Управляющее устройство объединяет все узлы вольтметра.

По типу АЦП цифровые вольтметры делят на две основные группы:

- кодоимпульсные (с поразрядным уравниванием);
- времяимпульсные.

Аналого-цифровой преобразователь вольтметров преобразуют сигнал постоянного тока в цифровой код, поэтому и цифровые вольтметры также считают приборами постоянного тока. Для измерения напряжения переменного тока на входе вольтметра ставится преобразователь в постоянное напряжение, чаще всего средневывпрямленного значения.

Проанализируем основные технические характеристики среднестатистического цифрового вольтметра постоянного тока:

- диапазон измерения: 100 мВ, 1 В, 10 В, 100 В, 1000 В;
- входное сопротивление - высокое, обычно более 100 МОм;
- порог чувствительности (другие названия - квант или единица дискретности) на диапазоне 100 мВ может быть 1 мВ, 100 мкВ, 10 мкВ;
- количество знаков (длина цифровой шкалы) - отношение максимальной измеряемой величины на этом диапазоне к минимальной; например: диапазону измерения 100 мВ при уровне квантования 10 мкВ соответствует  $(100 \cdot 10^{-6}) / (10 \cdot 10^{-9}) = 10^4$  знаков; помехозащищенность.

**Точность цифровых вольтметров.** Распределение погрешности по диапазону измерения определяется **пределом допускаемой относительной, основной погрешности**, характеризующей класс точности СИ:

$$\delta = \pm \left[ c + d \left( \left| \frac{U_K}{u} \right| - 1 \right) \right]$$

где  $u$  - измеряемое напряжение;  $U_k$  - конечное значение диапазона измерений.

**Быстродействие.** Современные схемы АЦП, применяемые в цифровых вольтметрах, могут обеспечить очень большое быстродействие, однако из соображений точной регистрации полученного результата у цифровых вольтметров оно уменьшается примерно до 20-50 измерений в 1с.

### Кодоимпульсные цифровые вольтметры

В кодоимпульсных (с поразрядным уравниванием) цифровых вольтметрах реализуется принцип компенсационного метода измерения напряжения. Структурная схема подобного вольтметра представлена на рис. 2.

Измеряемое напряжение  $U_x$  полученное с входного устройства, сравнивается с компенсирующим напряжением  $U_k$ , вырабатываемым прецизионным делителем и источником опорного напряжения.

Компенсирующее напряжение имеет несколько уровней, квантованных в соответствии с двоично-десятичной системой счисления. Например, двухразрядный цифровой вольтметр, предназначенный для измерения напряжений до 100 В, может включать следующие уровни напряжений: 80, 40, 20, 10, 8,4,2, 1 В.



Рисунок 2. Структурная схема кодоимпульсного вольтметра

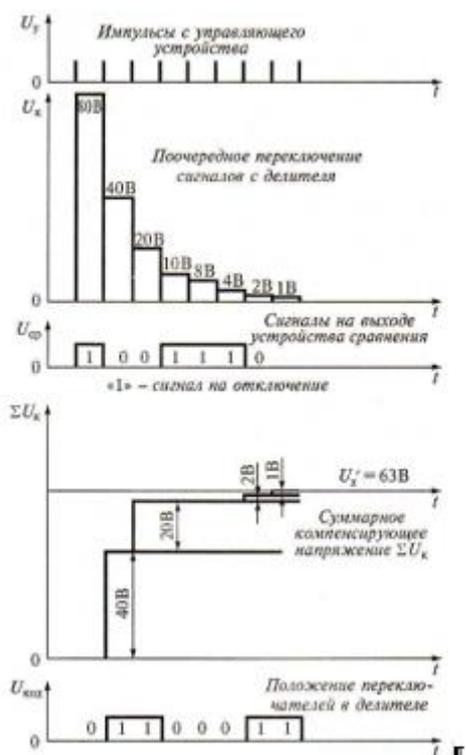


Рисунок 2-а Графики, поясняющие работу кодоимпульсного вольтметра

Сравнение измеряемого  $U_x$  и компенсирующего  $U_k$  напряжений проводят последовательно по командам управляющего устройства, Процесс сравнения показан на рис. 2.14.

Управляющие импульсы  $U_y$  через определенные интервалы времени переключают сопротивления прецизионного делителя таким образом, что на его выходе последовательно возникают напряжения: 80, 40, 20, 10, 8, 4, 2, 1В; одновременно к соответствующему выходу прецизионного делителя подключают устройство сравнения. Если  $U_k > U_x$ , то с устройства сравнения поступает сигнал  $U_{cp}$  на отключение в делителе соответствующего звена, так, чтобы снять сигнал  $U_k$ . Если  $U_k < U_x$ , то сигнал с устройства сравнения не поступает.

После окончания процесса сравнения сигнал  $U_{код}$  положения ключей прецизионного делителя и является тем кодом, который считывают цифровым отсчетным устройством.

На рис. 2 а для наглядности показан процесс кодирования аналогового напряжения с амплитудой 63В, из которого видно, что код, соответствующий этому сигналу, будет 01100011.

Процесс измерения напряжения в кодоимпульсном приборе напоминает взвешивание на весах, поэтому приборы иногда называют **поразрядно-уравновешивающими**. Точность кодоимпульсного прибора зависит от стабильности опорного напряжения, точности изготовления делителя, порога срабатывания сравнивающего устройства.

Для создания нормальной помехозащищенности (60-70 дБ) на входе приборов ставится помехоподавляющий фильтр; поэтому такой прибор обладает хорошими техническими характеристиками и используется как лабораторный.

Первые цифровые приборы создавались по методу взвешивания, но сейчас более распространены приборы времяимпульсного типа.

### Вольтметры с времяимпульсным преобразованием

В основе принципа действия вольтметра времяимпульсного (временного) типа лежит преобразование с помощью АЦП измеряемого напряжения в пропорциональный интервал времени, который заполняют счетными импульсами, следующими с известной стабильной частотой следования. В результате такого преобразования дискретный сигнал измерительной информации на выходе преобразователя имеет вид пачки счетных импульсов, число которых пропорционально уровню измеряемого напряжения.

Существует несколько схемотехнических решений, используемых при создании времяимпульсных вольтметров. Рассмотрим две такие схемы.

### Времяимпульсный вольтметр с генератором линейно изменяющегося напряжения.

Структурная схема времяимпульсного цифрового вольтметра и временные диаграммы, поясняющие ее работу, представлены на рис. 3. Данный тип вольтметра включает АЦП с промежуточным преобразованием измеряемого напряжения в пропорциональный интервал времени. В состав АЦП входят: генератор линейно изменяющегося напряжения ГЛИН; два устройства сравнения I и II; триггер Т; логическая схема И; генератор счетных импульсов; счетчик импульсов и цифровое отсчетное устройство.

Дискретный сигнал измерительной информации на выходе преобразователя имеет вид пачки счетных импульсов, число которых  $N$  пропорционально величине входного напряжения  $U_x$  (т.е.  $U_x$ ) Линейно изменяющееся во времени напряжение  $U_{ГЛИН}$  с ГЛИН поступает на входы I обоих устройств сравнения. Другой вход устройства сравнения I соединен с корпусом.

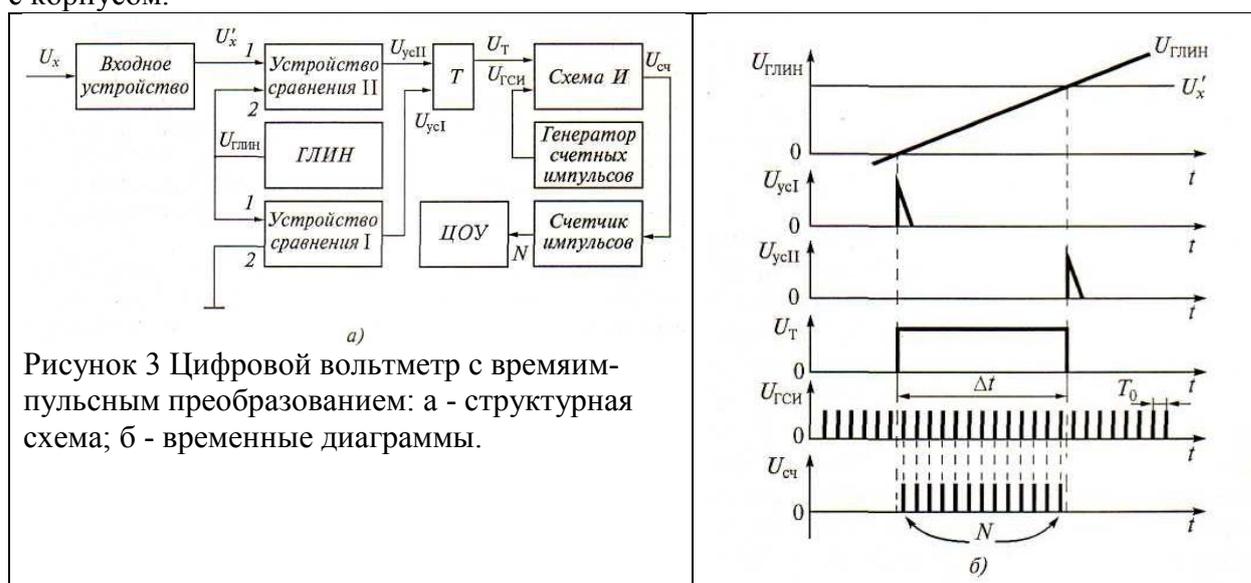


Рисунок 3 Цифровой вольтметр с времяимпульсным преобразованием: а - структурная схема; б - временные диаграммы.

В момент времени, когда на входе устройства сравнения I напряжение  $U_{ГЛИН} = 0$ , на его выходе возникает импульс  $U_{усI}$  условно фиксирующий нулевой уровень входного сиг-

нала. Этот импульс, подаваемый на единичный вход триггера Т, вызывает появление положительного напряжения на его выходе. Возвращается триггер в исходное состояние импульсом  $U_{\text{усп}}$ , поступающим с выхода устройства сравнения П. Импульс  $U_{\text{усп}}$  возникает в момент равенства измеряемого  $U'x$  и линейно изменяющегося напряжения  $U_{\text{Глин}}$ . Сформированный на выходе триггера импульс  $U_{\text{Т}}$  длительностью  $\Delta t = U'xS$  (здесь  $S$  - коэффициент преобразования) подается на вход схемы И, на второй вход которой поступает сигнал  $U_{\text{Гси}}$  с генератора счетных импульсов, следующих с частотой  $f_0 = 1/T_0$ .

На выходе схемы И сигнал  $U_{\text{сч}}$  появляется только при наличии импульсов  $U_{\text{Т}}$  и  $U_{\text{Гси}}$  на обоих ее входах, т.е. счетные импульсы проходят через схему И тогда, когда присутствует сигнал на выходе триггера. Количество прошедших через схему И счетных импульсов  $N \approx \Delta t/T_0$  подсчитывается счетчиком и отображается на индикаторе ЦОУ прибора.

Из двух последних формул находим измеряемое напряжение:

$$U'x = N/(f_0S), \quad \mathbf{2}$$

В данном вольтметре значение  $f_0S$  выбирается равным  $10^m$ , где  $m = 1, 2, 3, \dots$ , (число  $m$  определяет положение запятой в цифровом отсчете) поэтому прибор непосредственно показывает значение измеряемого напряжения.

Рассмотренный цикл работы цифрового вольтметра периодически повторяется. При этом возврат ГЛИН в исходное состояние и подготовка схемы к очередному измерению осуществляется автоматически. По такому же принципу строятся цифровые вольтметры переменного тока. В этих вольтметрах напряжение переменного тока предварительно выпрямляется и далее подается на устройство сравнения П.

Соотношение (2) не учитывает погрешности дискретности из-за несовпадения момента появления счетных импульсов с началом и концом интервала  $\Delta t$ . Однако еще большую погрешность вносит фактор нелинейности коэффициента преобразования  $S$ . Недостатком метода времяимпульсного преобразования является также его невысокая помехоустойчивость. Шумовая помеха, наложенная на измеряемое напряжение  $U_x$ , изменяет его и, следовательно, меняет момент появления импульса  $U_{\text{усп}}$  определяющего длительность  $\Delta t$  времени счета. Поэтому вольтметры, построенные по этой схеме, наименее точные в ряду цифровых.

#### **Времяимпульсные вольтметры с двойным интегрированием.**

Принцип работы вольтметра подобен принципу работы схемы с времяимпульсным преобразованием, с тем отличием, что здесь в течение цикла измерения  $T$  формируют два временных интервала  $T_1$  и  $T_2$ . В первом интервале производят интегрирование измеряемого напряжения, а во втором - некоторого опорного напряжения. Длительность цикла измерения  $T = T_1 + T_2$  заведомо устанавливают кратной периоду воздействующей на входе помехи, что приводит к повышению помехоустойчивости вольтметров.

Структурная схема цифрового вольтметра с двойным интегрированием и временные диаграммы, поясняющие ее работу, представлены на рис. 4.

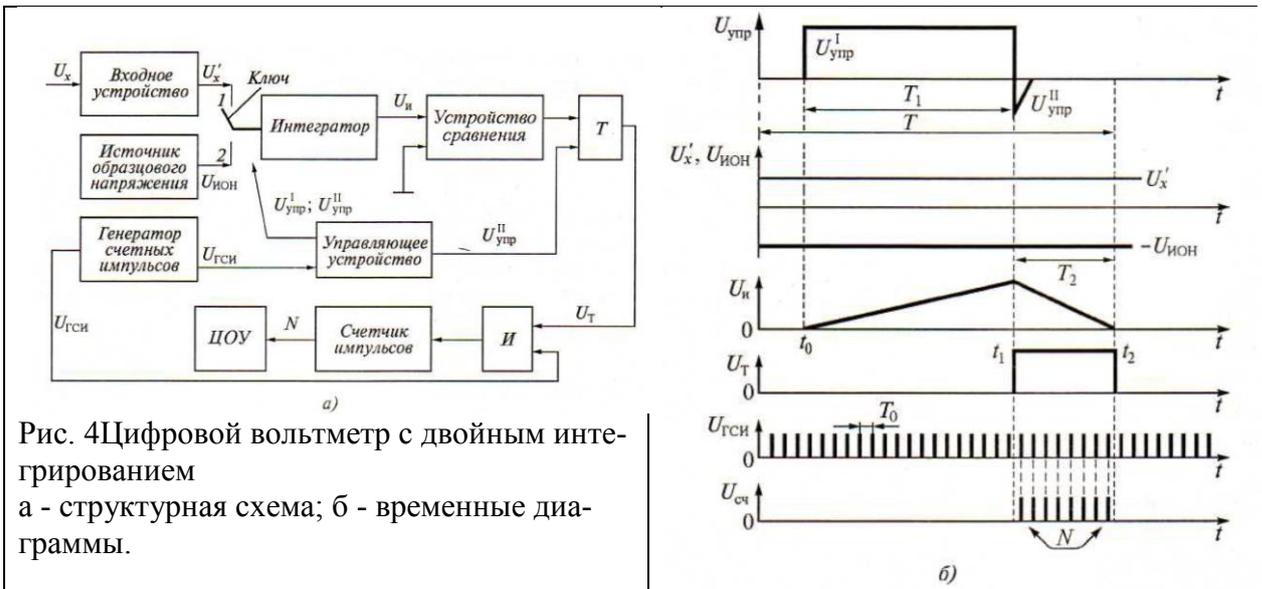


Рис. 4 Цифровой вольтметр с двойным интегрированием  
 а - структурная схема; б - временные диаграммы.

Схема содержит входное устройство, двухпозиционный ключ, интегратор, источник образцового напряжения, устройство сравнения, триггер Т, генератор счетных импульсов, управляющее устройство, логическую схему И, счетчик импульсов и цифровое отсчетное устройство.

В начале цикла измерения при  $t = t_0$  устройство управления схемы вырабатывает калиброванный импульс  $U_{упр}^I$  с длительностью  $T_1 = T_0K$ , где  $T_0$  период следования счетных импульсов;  $K$  - емкость счетчика. В момент появления фронта импульса  $U_{упр}^I$  ключ переводится в положение 1, и с входного устройства на интегратор поступает напряжение  $U'_x$ , пропорциональное измеряемому напряжению  $U_x$ . Затем, на интервале времени  $T_1 = t_1 - t_0$  происходит интегрирование напряжения  $U'_x$  (пропорционального измеряемому  $U_x$ ) в результате чего нарастающее напряжение на выходе интегратора будет:

$$U_{и} = \int_{t_0}^{t_1} U'_x dt$$

В момент  $t = t_1$  управляющий сигнал  $U_{упр}^I$  переводит ключ в положение 2 и на интегратор с источника образцового напряжения подается образцовое отрицательное напряжение  $U_{ион}$ . Одновременно с этим управляющий сигнал  $U_{упр}^I$  опрокидывает триггер.

Интегрирование напряжения  $U_{ион}$  - происходит быстрее, так как в схеме установлено  $|U_{ион}| > U'_x$ . Интегрирование образцового напряжения продолжается до тех пор, пока выходное напряжение интегратора снова не станет равным нулю (при этом  $T_2 = t_2 - t_1$ ). Поэтому в течение времени второго интервала на выходе интегратора формируется спадающее напряжение

$$U_{и} = - \int_{t_1}^{t_2} U_{ион} dt \quad 3$$

При этом длительность интервала интегрирования  $T_2$  тем больше, чем выше амплитуда измеряемого напряжения  $U'_x$ .

В момент времени  $t = t_2$  напряжение  $U_{и}$  на выходе интегратора становится равным нулю и устройство сравнения (второй вход которого соединен с корпусом) выдает сигнал на триггер, возвращая его в исходное состояние. На его выходе формируется импульс  $U_T$  длительностью  $T_2$ , поступающий на вход схемы И. На другой ее вход подается сигнал  $U_{ГСИ}$  с генератора счетных импульсов. По окончании импульса  $U_T$ , поступающего с триггера, процесс измерения прекращается.

Преобразование измеряемого временного интервала  $T_2$  в эквивалентное число импульсов  $N$  осуществляют так же, как и в предыдущем методе - заполнением интервала  $T_2$  периодическими импульсами генератора счетных импульсов и подсчетом их числа счетчиком. На счетчике, а значит и на ЦОУ, записывают число импульсов  $N_{сч}$ , пропорциональное измеряемому напряжению  $U_x$ :

$$\int_{t_0}^{t_1} U_x' dt - \int_{t_1}^{t_2} U_{\text{ИОН}} dt = 0$$

Это выражение приводит к следующим формулам:

$$T_1 = T_0 K; T_2 \approx T_0 N; U_x' T_1 = U_{\text{ИОН}} T_2,$$

Из последних равенств получим

$$U_x' = U_{\text{ИОН}} N/K, \quad 4$$

Из приведенных соотношений видно, что погрешность результата измерения зависит только от уровня образцового напряжения (а не от нескольких, как в кодоимпульсном приборе). Однако здесь также имеет место погрешность дискретности. Достоинством прибора является высокая помехозащищенность, так как он интегрирующий. На основе схем с двойным интегрированием выпускают приборы с более высоким классом точности, чем приборы с ГЛИН. Вольтметры этого типа имеют погрешность измерения 0,005...0,02 %. Цифровые вольтметры наивысшего класса точности создаются комбинированными: в схемах сочетают методы поразрядного уравнивания и времяимпульсного интегрирующего преобразования.

**Цифровые мультиметры.** Включение в схему цифрового вольтметра микропроцессора и дополнительных преобразователей позволяет превратить его в универсальный измерительный прибор - мультиметр. Цифровые мультиметры измеряют постоянное и переменное напряжение, силу тока, сопротивления резисторов, частоту электрических колебаний и т.д.

Рисунок 5 Цифровой вольтметр с микропроцессором

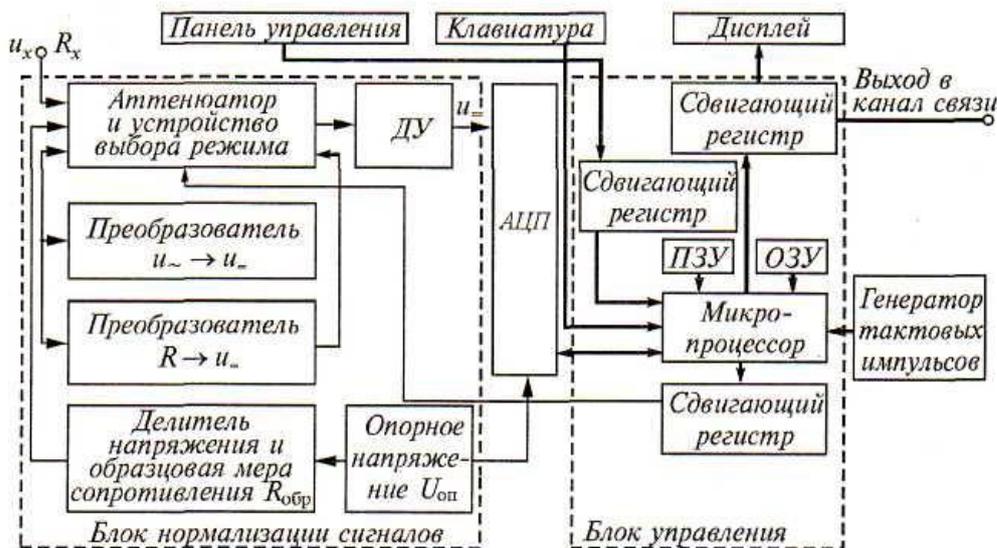


Рисунок 5 Цифровой вольтметр с микропроцессором

При совместном использовании с осциллографом мультиметры способны измерять интервалы времени (период, длительность импульсов и пр.), Наличие в электрической схеме вольтметра микропроцессора позволяет осуществлять автоматическую коррекцию погрешностей измерений, автокалибровку и диагностику отказов.

На рис. 5 в качестве примера показан цифровой вольтметр с микропроцессором. Основными устройствами вольтметра являются: микропроцессор, АЦП, блоки нормализации сигналов и управления.

Блок нормализации сигналов с помощью соответствующих преобразователей приводит входные измеряемые параметры (напряжения переменного и постоянного тока, сопротивления постоянному току и пр.) к унифицированному сигналу и который подается на вход АЦП. Последний действует обычно по методу двойного интегрирования. Блок управления обеспечивает выбор режима работы для заданного вида измерений, управление АЦП, дисплеем и создает нужную конфигурацию системы измерения.

Основой блока управления является микропроцессор, который связан с другими узлами через сдвигающие регистры. Управление микропроцессором осуществляется с помощью

клавиатуры, расположенной на панели управления или через стандартный интерфейс (блок сопряжения; стык) подключаемого канала связи. Программа работы микропроцессора хранится в постоянном запоминающем устройстве ПЗУ и обеспечивается с помощью оперативного запоминающего устройства ОЗУ.

Для измерений используют встроенные высокостабильные и прецизионные резистивные делители опорного напряжения, дифференциальный усилитель ДУ и ряд внешних элементов (аттенуатор и устройство выбора режима, блок опорного напряжения иоп). Все импульсные и цифровые устройства синхронизируют сигналами генератора тактовых импульсов.

### Ход работы.

Изучить лекционный материал и ответить в тетради на следующие вопросы:

1. Какой принцип реализован в кодоимпульсных цифровых вольтметрах?
2. На каком принципе строят вольтметры времяимпульсного типа?
3. Поясните работу цифрового вольтметра с микропроцессором.
4. Поясните работу цифрового вольтметра с двойным интегрированием.

## Практическая работа № 10.

### Тема 3. 2. Генераторы различных частотных диапазонов.

#### Изучение устройства и принципа действия генератора сигналов низких частот.

**Цель работы:** изучить устройство и порядок работы генератора ГЗ-109; оценивать ожидаемую предельную погрешность измерения.

**Перечень используемого оборудования** генератор ГЗ-109.

#### Теоретическая часть:

##### Назначение прибора.

Генератор сигналов низкочастотный ГЗ-109 предназначен для регулирования, испытания и ремонта различных радиотехнических устройств в лабораторных и производственных условиях, в телевидении, радиовещании, акустике, технике связи.



#### Технические данные.

Основные технические характеристики генератора приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Диапазон	Частота	Основная погрешность установки частоты, %	$f_n$ - установленное значение частоты, Гц	Основная приведенная погрешность установки выходного напряжения $\gamma$ ; %
I (x1)	20 Гц÷200 Гц	$\pm \left( 2 + \frac{50}{f_n} \right)$ , %	$f_n = f_x$	Класс точности встроенного вольтметра $\gamma = \pm 4$ %

II (x10)	200 Гц÷2 кГц	$\pm 1 + \frac{50}{f_n}, \%$	$f_n = f_x$
III (x100)	2 кГц÷20 кГц	$\pm 1 + \frac{50}{f_n}, \%$	$f_n = f_x$
IV (x10 <sup>3</sup> )	20 кГц÷200 кГц	$\pm 2 + \frac{50}{f_n}, \%$	$f_n = f_x$

### Принцип работы генератора сигналов.



Рис. 3 Структурная схема генератора

- Задающий генератор (ЗГ) выполнен по схеме RC – генератора.
- Сигнал с ЗГ поступает на усилитель мощности, обеспечивающий на нагрузке  $R_n = 50$  Ом максимальное напряжение  $U = 15$  В.
- Аттенюатор ослабляет выходной сигнал на 60 дБ ступенями: «15» мВ; «50» мВ; «150» мВ; «500» мВ; «1,5» В; «5» В; «15» В.

### Расположение органов управления.

На переднюю панель выведены следующие органы управления и индикации:

- 1 – ручка переключателя «**МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ**» - для переключения поддиапазонов;
- 2 – ручка тумблера включения – выключения генератора «**СЕТЬ**»; **ВКЛ.**
- 3 – шкала и ручка шкалы частот «**Hz**» - для плавной установки частоты в пределах каждого поддиапазона;
- 4 – ручка потенциометра «**РЕГУЛИРОВКА ВЫХ.**» - для плавной установки уровня выходного сигнала;
- 5 – шкала стрелочного прибора – для отсчета уровня выходного сигнала;
- 6 – ручка аттенюатора 60 дБ «**15 mV**» - «**15 V**» - для ступенчатой регулировки выходного сигнала;
- 7 – разъем «**СР**» гнезда «**ВЫХОД 1**»;
- 8 – ручка переключателя «**НАГРУЗКА Ω**» - для переключения нагрузок генератора;
- 9 – три клеммы **КП-1а** и одна клемма **КП-1б** «**ВЫХОД 2**».

### Исходное положение органов управления:

ручка «**РЕГУЛИРОВКА ВЫХ.**» - крайнее левое положение;  
 переключатель «**МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ**» - в положение «10»;  
 переключатель «**НАГРУЗКА Ω**» - в положение «**АТТ**».

### \* Расчет предельно допустимых погрешностей установки частоты и напряжения (таблица 1).

1. Класс точности вольтметра генератора ГЗ-109 выражается через приведенную погрешность  $\gamma$ . В этом случае предельно допустимая относительная погрешность установки напряжения вычисляется по формуле:

$$\delta = \gamma \frac{U_n}{U_x} \%$$

, где  $U_n$  - номинальное значение напряжения, равное конечному значению соответствующей шкалы.

**Пример:** при установке значения напряжения  $U=9В$  предельная относительная погреш-

ность будет равна  $\delta = \pm 4 \frac{15}{9} \% = \pm 6.7\%$

- Предельно допустимая относительная погрешность установки частоты зависит от диапазона (таблица 4) :

пусть  $f_x = 250 Гц$  (диапазон 2), тогда  $\delta_f = \pm \left[ 1 + \frac{50}{250} \right] \% = \pm 1.2\%$

#### **Ход работы.**

1. Изучите инструкцию пользования прибором:

1.1 Изучить порядок работы с генератором ГЗ-109.

1.2 Уметь оценивать ожидаемую предельную погрешность измерения.

### **Практическая работа №11.**

#### **Тема 3.3. Генераторы импульсных и шумовых сигналов.**

#### **Изучение устройства и принципа действия генератора импульсов.**

**Цель работы:** изучить устройство и порядок работы генератора Г5-54; оценивать ожидаемую предельную погрешность измерения.

**Перечень используемого оборудования** генератор импульсов Г5-54.

#### **Теоретическая часть:**

##### **Назначение прибора.**

Генератор импульсов Г5-54 вырабатывает периодическую последовательность прямоугольных импульсов. Он предназначен для работы при исследовании, отладке и настройке радиотехнических устройств.

##### **Технические данные (основные).**

- Прибор выдает прямоугольные импульсы переключаемой полярности в диапазоне длительностей:  
0,5÷1000 мкс – основной диапазон  
0,1÷0,5 мкс – дополнительный диапазон.
- Длительность основных импульсов  $\tau_u$  регулируется плавно (вращающаяся шкала) и ступенчато (кнопочные переключатели: 8 диапазонов) от 0,1 до 1000 мкс.:  
0,1÷0,3 мкс (1); 0,3÷1,0 мкс (2); 1÷3 мкс (3); 3÷10 мкс (4); 10÷30 мкс (5); 30÷100 мкс (6); 100÷300 мкс (7); 300÷1000 мкс (8).
- Частота повторения импульсов  $F$  регулируется плавно (вращающаяся шкала) и ступенчато (кнопочные переключатели) от 0,01 до 100 кГц.
- Амплитуда импульсов регулируется плавно (регулятор «АМПЛ») и ступенчато (4 кнопочных переключателя и три гнезда: 1:1; 1:10 и 1:100).
- Класс точности прибора выражается через абсолютную погрешность. Предельно допустимая погрешность параметров сигнала:
  - абсолютная погрешность установки длительности импульсов:  $\Delta \tau = \pm(0,1\tau + 0,03 мкс)$ ;
  - абсолютная погрешность установки амплитуды импульса:  $\Delta U = \pm(0,1A + K \cdot 1B)$ , где  $K$  – коэффициент ступенчатого ослабления;
  - длительность фронта и среза прямоугольных импульсов (неидеальность импульса) на внешней нагрузке  $R_n = 500 Ом$  не превышает 50 и 100 нс соответственно.



\* Расчет предельно допустимых погрешностей установки амплитуды и длительности импульса.

1. Класс точности генератора Г5-54 выражается через абсолютные погрешности Пример: - расчет погрешности установки длительности импульса:

Задана  $\tau_u = 1 \text{ мкс}$ , тогда  $\Delta_\tau = \pm(0.1 \text{ мкс} + 0.03 \text{ мкс}) = \pm 0.13 \text{ мкс}$ ; предельная относительная

$$\delta_\tau = \pm \frac{\Delta_\tau}{\tau_u} 100\% = \pm \frac{0.13}{1} 100\% = \pm 13\%$$

погрешность

-расчет погрешности установки амплитуды импульса:

Задана амплитуда  $U_u = 30 \text{ В}$ , тогда  $\Delta_U = \pm(0.1 U_u + K \times 1 \text{ В}) = \pm(3 \text{ В} + 1 \text{ В}) = \pm 4 \text{ В}$ ; предель-

$$\delta_U = \pm \frac{4 \text{ В}}{30 \text{ В}} 100\% = \pm 13.3\%$$

ная относительная погрешность

В приведенной формуле К-коэффициент ступенчатого ослабления.

**Порядок подготовки к работе.**

Прибор допускает по роду запуска три режима работы: внутренний запуск, внешний запуск и разовый (однократный).

**Внутренний запуск (основной режим)**

1. Нажмите самую верхнюю кнопку переключателя **ЗАПУСК**. Установите кнопками и шкальным устройством «**ЧАСТОТА ПОВТОРЕНИЯ**» заданную частоту повторения импульсов F.
2. Кнопками и шкальным устройством **ВРЕМЕННОЙ СДВИГ** установите заданный временной сдвиг основного импульса прибора относительно синхроимпульса.

**Если временной сдвиг не нужен, обязательно нажмите кнопку «0» переключателя ВРЕМЕННОЙ СДВИГ.**

- Кнопками и шкальным устройством **ДЛИТЕЛЬНОСТЬ** установите заданную длительность импульсов  $\tau$ .

**Минимальная скважность должна быть**

$$F = \frac{1}{T}$$

Здесь T – период следования импульсов.

**ВНИМАНИЕ!**

Кнопками установить заданную полярность.

Кнопками делителя амплитуды (аттенюатора) (x1; x0,3; x0,1; x0,03) и ручкой «**АМПЛ**» плавной регулировки амплитуды основных импульсов установите по шкале вольтметра заданную амплитуду импульсов.

### **Ход работы**

1. Изучите инструкцию пользования прибором, порядок работы с прибором Г5-54.
2. Обработка результатов эксперимента. Рассчитайте предельно допустимые погрешности заданных параметров импульса.
3. Запишите результат с доверительными границами.

### **Контрольные вопросы.**

1. Какие физические явления могут быть положены в основу создания шумовых генераторов?
2. Какие требования предъявляют к форме сигнала импульсного генератора?
3. Для чего используют генераторы шумоподобных сигналов?
4. Что служит образцовым источником шума.

## **Практическая работа №12.**

### **Тема 4.1. Электронно-лучевой осциллограф**

#### **Исследование универсального электронно-лучевого осциллографа.**

**Цель работы:** Изучение устройство универсального электронно-лучевого осциллографа (ЭЛО), принцип работы основных его узлов и технические характеристики.

**Перечень используемого оборудования** универсальный электронно-лучевой осциллограф С1-77.

#### **Теоретическая часть:**

Устройство и принцип работы универсального ЭЛО

*ЭЛО* - прибор для визуального наблюдения электрических сигналов, а также измерения их параметров и характеристик. Доминирующее положение в науке и на производстве пока занимают ЭЛО на основе *электронно-лучевой трубки (ЭЛТ)*. Хотя они активно вытесняются современными ЭЛО на основе плоских матричных экранов. Обобщенная структурная схема универсального ЭЛО на основе ЭЛТ приведена на рис. 4.1

Наблюдаемое па экране ЭЛО изображение формы сигнала называют *осциллограммой*.

**КАНАЛ ВЕРТИКАЛЬНОГО ОТКЛОНЕНИЯ (Y)** (канал Y, канал сигнала). Предназначен для передачи напряжения источника исследуемого сигнала на вход вертикально отклоняющих пластин ЭЛТ.

*Входной блок* содержит: дискретный аттенюатор, позволяющий ослабить исследуемый сигнал большой амплитуды в определенное число раз и согласовать входное сопротивление капаала сигнала с волновым сопротивлением кабеля, по которому поступает исследуемый сигнал; эмиттерный повторитель, уменьшающий влияние канала вертикального отклонения на источник исследуемого сигнала, и позволяющий получить высокое входное сопротивление.

*Линия задержки* (в импульсных ЭЛО) обеспечивает небольшую временную задержку исследуемого импульса относительно начала горизонтально отклоняющего напряжения, что дает возможность наблюдать фронт исследуемого импульса.

*Усилитель вертикального отклонения (Y)* усиливает исследуемый сигнал малой амплитуды до значения, достаточного для вертикального отклонения луча в пределах экрана ЭЛТ.

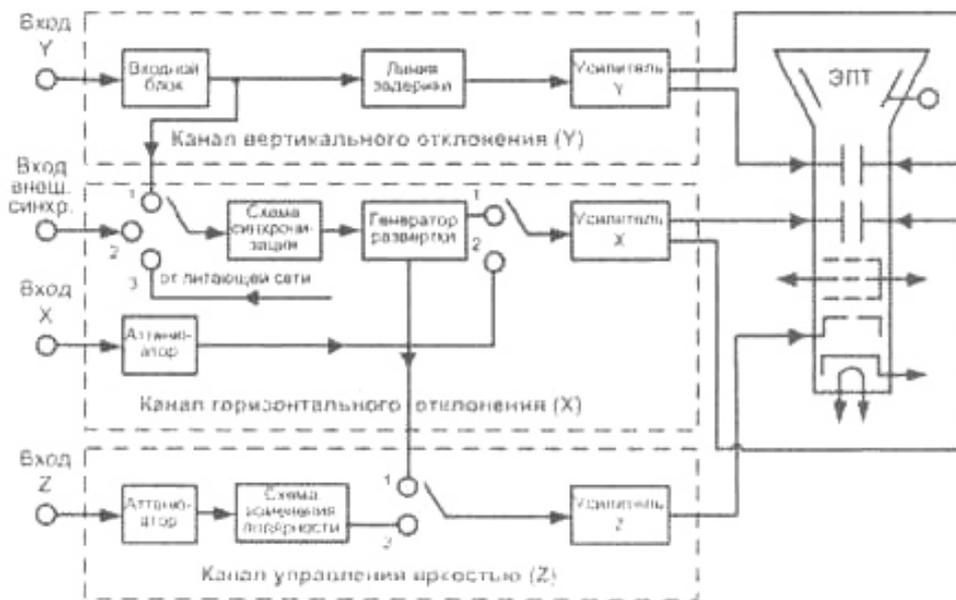


Рис. 4.1. Обобщенная структурная схема универсального ЭЛО на основе ЭЛТ

**КАНАЛ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ОТКЛОНЕНИЯ (X) (канал X, канал развертки).** Служит для создания напряжения, вызывающего горизонтальное перемещение луча, пропорциональное времени. Вторая функция этого канала - усиление (ослабление) сигнала, передаваемого от входа X на горизонтально отклоняющие пластины ЭЛТ.

*Схема синхронизации и запуска развертки* предназначена для управления генератором развертки и обеспечивает кратность периодов исследуемого сигнала и развертки для получения неподвижного изображения на экране ЭЛТ.

Процесс привязки начала развертки к характерным точкам сигнала (фронту, срезу, максимуму и пр.) называют *синхронизацией* (в автоколебательном режиме) и *запуском* (в ждущем режиме).

Различают три режима синхронизации-

- внутреннюю;
- внешнюю;
- от питающей сети.

При *внутренней синхронизации* синхроимпульсы вырабатываются из усиленного входного (исследуемого) сигнала до его задержки. Такую синхронизацию целесообразно применять при наблюдении периодических процессов.

*Синхронизация от питающей сети* удобна при осциллографировании напряжений, частоты которых равны или кратны частоте напряжения питающей сети (например, выходных напряжений трансформаторов, питаемых от сети, и т.п.).

При *внешней синхронизации* синхроимпульсы подают на специальный вход ЭЛО от внешнего источника, обеспечивая запуск генератора развертки с опережением относительно момента появления фронта исследуемого сигнала на вертикально отклоняющих пластинах ЭЛТ. При регулировании времени опережения (задержки) возможно осуществлять перемещение изображения сигнала по горизонтальной координате в удобное для наблюдения место.

*Генератор развертывающего напряжения (генератор развертки)* вырабатывает линейно-изменяющееся (пилообразное) напряжение, обеспечивающее горизонтальное отклонение луча с постоянной скоростью.

Для получения какой-либо другой развертки (например, синусоидальной) соответствующее напряжение подается на вход X канала от внешнего источника. На входе X имеется *дискретный аттенюатор* для ослабления сигналов большой амплитуды. Назначение *усилителя горизонтального отклонения (X)* то же, что и усилителя Y.

КАНАЛ УПРАВЛЕНИЯ ЯРКОСТЬЮ (Z) (канат Z, канал модуляции луча по яркости).

Предназначен, в основном, для подсветки прямого хода луча развертки.

Для формирования необходимой амплитуды импульса напряжения подсвета, поступающего с генератора развертки на модулятор ЭЛТ, служит *усилитель Z*.

Возможна также модуляция изображения по яркости внешним сигналом, поступающим со входа Z через *аттенюатор* и *схему изменения полярности* модулирующего напряжения.

### Ход работы

1 Изучить устройство и принцип работы ЭЛО, основные технические характеристики и назначение основных органов управления и присоединения ЭЛО С1-77, находя их месторасположение на приборной панели выключенного С1-77.

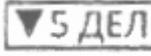
2. Все используемые в исследовании приборы подготовить к работе.

3. Включить и подготовить осциллограф к работе, согласно описания. Произвести калибровку измерительных каналов осциллографа. Для этого установить органы управления на передней панели ЭЛО в следующие положения:

- переключатель режима работы усилителя в положение «I» (то есть перевести ЭЛО в одноканальный режим работы по КАНАЛУ I);
- переключатель полярности синхронизации в положение «+»;
- тумблер режима работы генератора развертки в положение «АВТ»;
- переключатель вида синхронизации в положение «ВНУТР I»;
- переключатель вида синхронизирующего сигнала в положение «+, ~»;
- переключатель растяжки по горизонтали в положение « $\times 1$ »;
- тумблер вида входа усилителя в положение «~» (открытый вход);
- ручку «▼» КАНАЛА 1 в крайнее правое положение (до щелчка);
- ручку «ПЛАВНО» в крайнее правое положение (до щелчка);
- переключатель «ВРЕМЯ/ДЕЛ» в положение «1 mS».

4. Далее ручкой «☼» установить яркость изображения, удобную для наблюдения, а ручкой «☉» - одинаковую четкость изображения по всей линии развертки. В случае отсутствия линии развертки ручкой «↑1» вертикального перемещения вывести линию развертки на рабочую часть экрана. При необходимости ручкой «УРОВЕНЬ» установить устойчивое изображение.

5. Проверить калибровку коэффициента отклонения. Для этого переключатель «V/ДЕЛ»

КАНАЛА I установить в положение «» (не путать с положением «5В/ДЕЛ»). При этом высота изображения импульсного сигнала по вертикали на экране ЭЛТ должна быть равна 5 большим делениям шкалы.

6. Проверить калибровку коэффициента развертки ЭЛО. С помощью ручки «↔» совместить передний фронт одной из импульсов в начале развертки с первой вертикальной линией масштабной сетки на экране ЭЛТ. При этом передний фронт девятого импульса должен совпадать с последней вертикальной линией масштабной сетки на экране ЭЛТ.

7. Установить переключатель «V/ДЕЛ» КАНАЛА I в положение «0,01». Подключить к гнезду « 1MΩ 30pF» КАНАЛА I ЭЛО байонетный разъем соединительного кабеля, который с противоположного конца имеет пальчиковые выводы. Закоротить вход КАНАЛА I, замкнув пальчиковые выводы, и ручкой « $\downarrow$ 1» совместить линию развертки с горизонтальной осью масштабной сетки экрана ЭЛТ.

#### **Ход работы.**

1. Изучите инструкцию пользования прибором:

1.1 Изучить порядок работы с универсальным электронно-лучевым осциллографом С1-77.

#### **Контрольные вопросы:**

1. Перечислить основные блоки и узлы универсального осциллографа.
2. Пояснить назначение и принцип работы блока развертки осциллографа.
3. Перечислить основные и специальные виды развертки, пояснить их назначение.
4. Объяснить устройство и назначение блока синхронизации, его работу.
5. Перечислить основные элементы электронно-лучевой трубки и пояснить их назначение.
6. Пояснить принцип стробоскопического преобразования в осциллографии.
7. Как устроены элементы памяти запоминающих осциллографов? Каковы их основные характеристики?
8. В чем особенности скоростных и импульсных осциллографов
9. Перечислить основные характеристики осциллографов.
10. Какие характеристики канала ЭЛО определяют точность измерений: амплитуды, интервала времени?
11. Объяснить устройство канала вертикального отклонения (КВО). Пояснить назначение каждой структурной составляющей КВО.
12. Объяснить устройство канала горизонтального отклонения (КГО). Пояснить назначение каждой структурной составляющей КГО.
13. Объяснить устройство и назначение канала управления яркостью.

### **Практическая работа №13.**

**Тема 4.2. Основные способы отсчета напряжения и временных интервалов. Исследование формы сигнала.**

**Измерение частоты, амплитуды, временных интервалов, фазового сдвига.**

**Цель работы:** Изучить основные способы отсчета напряжения и временных интервалов. Исследование формы сигнала.

**Перечень используемого оборудования** конспект.

#### **Теоретическая часть:**

В универсальных осциллографах используют **метод измерения амплитуд** сигналов с помощью масштабной сетки, помещенной на экране ЭЛТ. Цену деления сетки устанавливают с помощью калибратора амплитуды

Иллюстрация данного метода измерения представлена на рис.1, где показаны периодические сигналы. Параметры импульсов определяют следующим образом:  $U_p = C_y I_y$ ;  $U_p$  - размах (амплитуда импульса);  $|C_y|$  - цена деления сетки по вертикали, В/дел;  $T = C_x L_x$  - период следования импульсов;  $\tau_n = C_x l_x$  - длительность импульса;  $|C_x|$  - цена деления сетки по горизонтали, с/дел;  $l_y, L_x, l_x$  - выражены в делениях сетки.

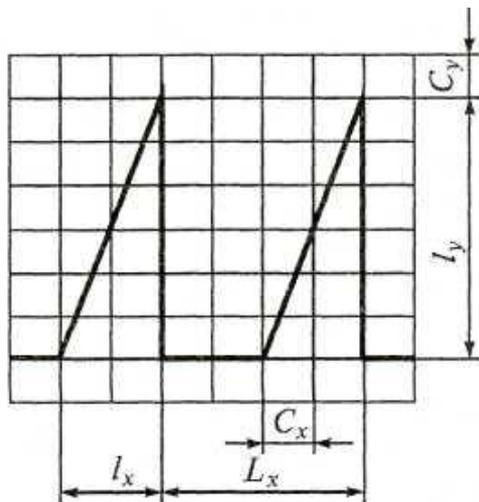


Рисунок 1 Определение параметров сигнала с помощью масштабной сетки

Погрешность измерения амплитуды сигнала не ниже 3...5%. Существуют методы повышения точности измерения амплитуды исследуемого сигнала, например компенсационные. Эти методы чаще всего применяют только в цифровых осциллографах, что позволяет получить численные значения параметров с погрешностью 1...2 %.

#### **Измерение частоты и временных интервалов.**

Частота  $f$  или период  $T$  относятся к основным параметрам любого гармонического или периодического процесса. В общем случае под частотой понимают число идентичных событий, происходящих за единицу времени. Для периодических, но не гармонических колебаний строго справедливо лишь понятие периода. Однако и в этом случае часто говорят о частоте, понимая под этим величину, обратную периоду.

Единица циклической частоты  $f$  - герц (Гц) - соответствует одному колебанию за 1с. Исторически в радиотехнике высокие частоты принято обозначать буквой  $f$ , а низкие -  $F$ .

Известно, что гармонический сигнал записывается в следующем виде:

$$u(t) = Um \cos(\omega t + \varphi_0) = U \cos\varphi(t), \quad (1)$$

где  $Um$  - амплитуда;  $\omega$  - угловая (круговая) частота;  $\varphi_0$  - начальная фаза;

$\varphi(t) = \omega t + \varphi_0$  - полная (текущая, мгновенная) фаза.

Угловая частота  $\omega = 2\pi f$  выражается в рад/с и равна изменению текущей фазы сигнала  $\varphi(t)$  за единицу времени (секунду). Угловая частота записывается для высоких и низких частот соответственно, как  $\omega = 2\pi f$  и  $\Omega = 2\pi F$ . Для гармонических сигналов (частоту определяют числом переходов через ось времени (т.е. через нуль) за единицу времени.

При непостоянстве частоты используется понятие мгновенной угловой частоты  $\omega(t) = d\varphi(t)/dt = 2\pi f(t)$ ,

где  $f(t)$  - мгновенная циклическая частота.

При описании методов измерения частоты имеется в виду ее среднее значение за время измерения. Различают также долговременную и кратковременную нестабильности частоты, связанные соответственно с постоянным изменением частоты за длительный и короткий интервалы времени и с ее флуктуационными изменениями. Граница между этими нестабильностями условна и задается путем указания времени измерения.

Интервал времени  $\Delta t$  - время, прошедшее между моментами двух последовательных событий. К числу таких интервалов относятся, например, период колебаний, длительность импульса или интервала, определяемая разномом по времени двух импульсов.

Периодом  $T$  называют интервал времени, через который регулярно повторяются мгновенные значения гармонического или периодического сигнала  $u(t)$ . Отсюда следует, что  $u(t) = u(t + nT)$ ,

где  $n = 1, 2, 3, \dots$ .

Для гармонического сигнала, например для  $u(t) = U_m \sin(2\pi t/T) = U_m \sin\varphi(t)$ , период колебания  $T$  можно также определить, как интервал времени, в течение которого фаза сигнала  $\varphi(t)$  (в радианах) изменяется на  $2\pi$ .

Частота  $f$  и период любого периодического колебания  $T$  связаны формулой  $f = 1/T$ , и поэтому измерение одной величины можно заменить другой. На практике чаще измеряют частоту.

Аппаратура для частотно-временных измерений образует единый комплекс приборов, обеспечивающий возможность проведения измерений с непосредственной их привязкой к Государственному эталону частоты и времени. Это фактически гарантирует возможность принципиально высокой точности измерений.

Основными измерительными приборами и средствами частотно-временных измерений являются осциллографы, частотомеры резонансные, цифровые измерители частоты и интервалов времени пр.

В зависимости от участка частотного спектра и допустимой погрешности для измерения частоты используют различные способы и приемы измерения, основанные на методах сравнения и непосредственной оценки.

В методах сравнения (резонансный, гетеродинный и осциллографический) измеряемую частоту сравнивают с частотой источника образцовых колебаний. Эти методы применяют в основном для градуировки генераторов измерительных приборов. Для их реализации необходим образцовый генератор более высокой точности и устройство сравнения (сличения) частот.

К осциллографическим методам относят:

- определение частоты методом фигур Лиссажу;
- определение интервалов времени (периода, длительности импульса или пачки импульсов и т.д.) с использованием калиброванной развертки осциллографа;
- определение частоты с помощью яркостных меток на круговой развертке.

В отличие от частотомеров и измерителей временных интервалов, с помощью осциллографов можно измерять параметры сигналов сложной временной структуры, например ступенчатых сигналов или сигналов кодовых последовательностей. Можно измерять параметры случайных и переходных процессов. Наиболее простым методом исследования является **метод калиброванной развертки** (калиброванных меток) (рис. 2).

Реальная погрешность метода составляет порядка 10 % и зависит от количества меток. Калибровочные метки известной частоты наносятся на изображение сигнала длительностью  $\tau_n$  путем модуляции яркости луча, т.е. подачей на сетку ЭЛТ напряжения известной частоты  $f_0 = 1/T_0$ . При этом длительность сигнала  $\tau_n = nT_0$ , где  $n$  - количество калибровочных меток.

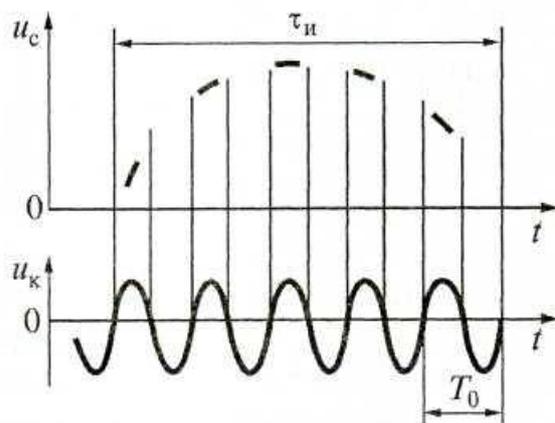


Рисунок 2 Измерение интервалов времени с помощью калибровочных меток: напряжения:  $u_c$  - исследуемое;  $u_k$  – калибровочное

Таблица 4.1 Интерференционные фигуры (фигуры Лиссажу)

$\frac{f_o}{f_x}$	Начальный фазовый сдвиг колебания на входе Y, град				
	0	45	90	135	180
1					
2					
3					

Остановимся на способе измерения частоты по интерференционным фигурам, называемым **фигурами Лиссажу**. Измерение основано на сравнении неизвестной частоты  $f_x$  с известной частотой  $f_o$ , воспроизводимой мерой. С этой целью колебания известной (образцовой) частоты  $f_o$  подают на один вход осциллографа (например, Y), на вход X (при этом собственную развертку осциллографа отключают) поступают колебания измеряемой частоты  $f_x$ . Частоту  $f_o$  образцового генератора подстраивают так, чтобы на экране осциллографа наблюдалась простейшая устойчивая фигура, примерные виды которой при разных фазовых сдвигах показаны в табл.1. Форма фигур Лиссажу зависит от отношения частот  $m/n$  и начальных фаз сравниваемых колебаний.

Соотношение частот двух гармонических колебаний может быть определено как отношение числа точек пересечения фигуры Лиссажу  $m$  по вертикали к числу точек пересечения  $n$  по горизонтали. Например, из рис.7 легко видеть, что это отношение равно:  $f_x = f_o = m/n = 2/4 = 1/2$ . Отсюда измеряемую частоту определяют как:  $f_x = f_o/2$ .

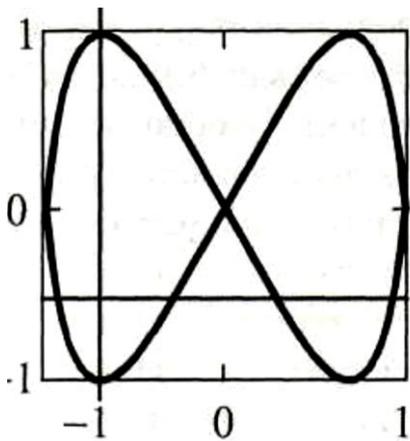


Рисунок 7 К определению отношения частот

Точность данного метода определения частоты гармонического колебания оказывается достаточно высокой и определяется стабильностью образцового генератора, однако получение и наблюдение таких фигур - достаточно сложная измерительная задача.

### **Цифровой метод измерения частоты**

Цифровой (дискретного счета) метод измерения частоты реализован в цифровых частотомерах. Принцип действия цифрового частотомера основан на измерении частоты в соответствии с ее определением, т.е. на счете числа импульсов за интервал времени. Эти приборы удобны в эксплуатации, имеют широкий диапазон измеряемых частот (от нескольких герц до сотен мегагерц) и позволяют получить результат измерения с высокой точностью (относительная погрешность измерения частоты составляет  $10^{-6}$ - $10^{-9}$ ).

Поскольку цифровые частотомеры являются многофункциональными измерительными приборами, то в зависимости от режима их работы можно проводить измерение не только частоты и отношения двух частот, но и интервалов времени (периода следования периодических сигналов и интервала, заданного временным положением двух импульсов).

Принцип измерения частоты гармонического сигнала цифровым методом поясняет рис. 1, где приведены структурная схема цифрового частотомера, работающего в режиме измерения частоты, и временные диаграммы к его работе.

Исследуемый сигнал частоты  $f_x$  подается на входное устройство ВУ (см. рис. 1,а), усиливающее или ослабляющее его до требуемого значения. Снимаемый с выхода ВУ гармонический сигнал  $u_1$ , (см. рис.1,б) поступает на формирователь импульсов ФИ, преобразующий его в последовательность коротких однополярных импульсов  $u_2$ , следующих с периодом  $T_x = 1/f_x$  и называемых счетными. Передние фронты этих импульсов практически совпадают с моментами перехода сигнала их через нулевое значение на оси времени при его возрастании. Схемотехнический формирователь ФИ состоит из усилителя-ограничителя и компаратора (триггера Шмитта).

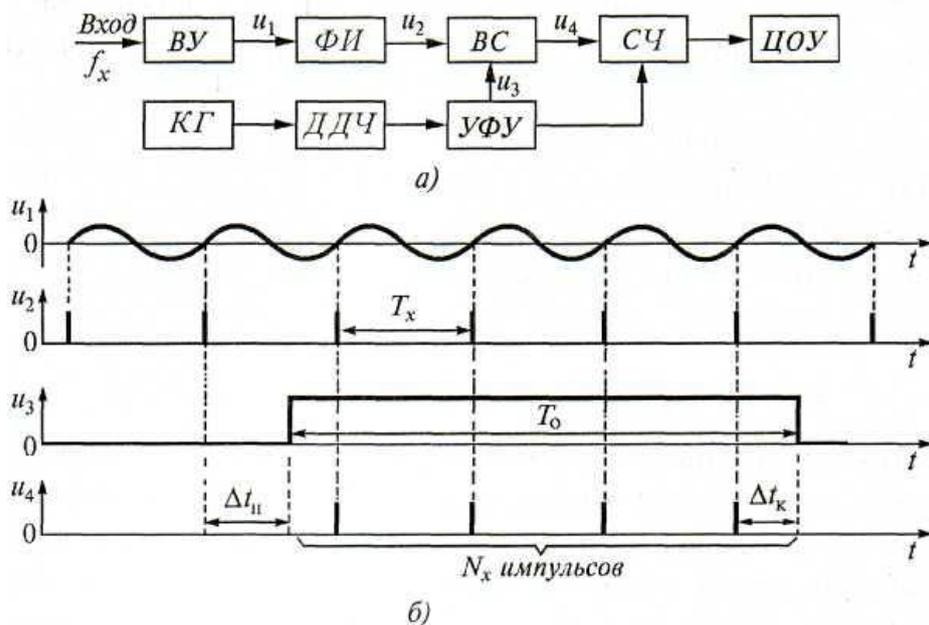


Рисунок 1 Цифровой частотомер:

а - структурная схема; б - временные диаграммы

Счетные импульсы  $u_2$  поступают на один из входов временного селектора ВС, на второй вход которого от устройства формирования и управления УФУ подается строб-импульс  $u_3$  прямоугольной формы и калиброванной длительности  $T_0 > T_x$ . Интервал времени  $T_0$  называют временем счета. Временной селектор открывается строб-импульсом  $u_3$ , и в течение всей его длительности пропускает группу (пакет) несколько импульсов  $u_2$  на вход счетчика СЧ. В результате с временного селектора на счетчик поступает пакет из  $N_x$  импульсов  $u_4$ . Первый счетный импульс  $u_2$ , попавший во временные ворота  $T_0$  строб-импульса, запаздывает относительно их фронта на время  $\Delta t_n$ , а срез ворот и последний счетный импульс, появляющийся до этого среза, разделяет интервал  $\Delta t_k$  (см. рис. 1,б).

Из рис. 5.1,б следует, что

$$T_0 = N_x T_x - \Delta t_n + \Delta t_k = N_x T_x - \Delta t_d, \quad (2)$$

где  $\Delta t_n$  и  $\Delta t_k$  - методические абсолютные погрешности дискретизации (дискретности) начала и конца интервала  $T_0$ , вызванные случайным положением строб-импульса относительно счетных импульсов  $u_2$ , поскольку строб и счетные импульсы не синхронизированы;  $\Delta t_d = \Delta t_n - \Delta t_k$  - общая погрешность дискретности.

Пренебрегая в формуле (2) погрешностью  $\Delta t_d$ , получаем, что число импульсов в пакете  $N_x = T_0/T_x = T_0$  и, следовательно, измеряемая частота пропорциональна числу счетных импульсов, поступающих на счетчик,

$$f_x = N_x/T_0, \quad (3)$$

Для формирования строб-импульса на УФУ поступают короткие импульсы с периодом  $T_0$  (на рисунке для упрощения не показаны) от схемы, включающей кварцевый генератор КГ образцовой частоты  $f_{кв}$  и декадный делитель частоты ДДЧ следования импульсов с коэффициентом деления  $K_d$  (каждая декада уменьшает частоту  $f_{кв}$  в десять раз). Период импульсов на выходе декадного делителя частоты и длительность строб-импульса равны периоду сигнала на выходе делителя частоты, т.е.  $T_0 = K_d/f_{кв}$ . Поэтому выражение (5.3) удобнее представить в виде:

$$f_x = N_x f_{кв}/K_d, \quad (4)$$

Отношение  $f_{кв}/K_d$  можно дискретно изменять вариацией  $K_d$  т.е. за счет изменения числа декад декадного делителя частоты.

Счетчик подсчитывает число импульсов  $N_x$  и выдает соответствующий код в цифровое отсчетное устройство ЦОУ. Отношение  $f_{кв}/K_d$  выбирается равным  $10^n$  Гц, где  $n$  - целое

число. При этом ЦОУ отображает число  $Nx$ , соответствующее измеряемой частоте  $f_x$  в выбранных единицах. Например, если за счет изменения Кд выбран коэффициент  $n = 6$ , то число  $Nx$ , отображаемое на ЦОУ, соответствует частоте  $f_x$ , выраженной в МГц. Перед началом измерений УФУ сбрасывает показания счетчика в нуль.

### **Цифровой метод измерения интервалов времени**

Решение многих радиотехнических задач связано с измерением интервалов времени.

Обычно приходится измерять как очень малые (единицы пикосекунд) так и очень большие (сотни секунд) интервалы времени. Интервалы времени могут также быть не только повторяющимися, но и однократными. Различают два основных способа измерения интервалов времени: осциллографический и цифровой.

Измерение интервалов времени с помощью осциллографа проводится по осциллограмме исследуемого напряжения с использованием «линейной» развертки. Из-за нелинейности развертки, а также больших погрешностей отсчета начала и конца интервала общая погрешность измерения составляет единицы процентов. В последние годы интервалы времени в основном измеряются цифровыми методами.

Принцип измерения периода гармонического сигнала с помощью цифрового частотомера поясняет рис. 2, где приведены структурная схема устройства и соответствующие его работе временные диаграммы. Измерение интервала времени  $T_x$  цифровым методом основано на заполнении его импульсами, следующими с образцовым периодом  $T_0$ , и подсчете числа  $M_x$  этих импульсов за время измерения  $T_x$ .

Основные элементы устройства и их действие были проанализированы в предыдущем разделе.

В данном случае гармонический сигнал, период  $T_x$  которого требуется измерить, после прохождения входного устройства ВУ ( $u_1$  - выходной сигнал ВУ) и формирователя импульсов ФИ преобразуется в последовательность коротких импульсов  $u_2$  с измеряемым периодом.

В устройстве формирования и управления из них формируется строб-импульс  $u_3$  прямоугольной формы и длительностью  $T_x$ , поступающий на один из входов временного селектора ВС. На второй вход этого селектора подаются короткие импульсы  $u_4$  с образцовым периодом следования  $T_0$ , сформированные декадным делителем частоты ДДЧ из колебаний кварцевого генератора КГ. Временной селектор пропускает на счетчик СЧ число  $M_x$  счетных импульсов  $u_5$  в течение интервала времени  $T_x$ , равном длительности строб-импульса  $u_3$ .

Из рисунка 2,б следует, что измеряемый период:

$$T_x = M_x T_0 - \Delta t_d, \quad (5)$$

где  $\Delta t_d = \Delta t_H - \Delta t_K$  - общая погрешность дискретизации (дискретности);

$\Delta t_H$  и  $\Delta t_K$  - погрешности дискретизации начала и конца периода  $T_x$ .

Без учета в формуле (5) погрешности  $\Delta t_d$  число импульсов, поступившее на счетчик,  $M_x = T_x / T_0$ , а измеряемый период пропорционален  $M_x$ .

$$T_x = M_x T_0, \quad (6)$$

Выходной код счетчика, поступающий на цифровое отсчетное устройство, соответствует числу подсчитанных им счетных импульсов  $M_x$ , а показания ЦОУ - периоду  $T_x$ , поскольку период следования счетных импульсов  $u_5$  необходимо выбирать из соотношения  $T_0 = 10^{-n}$  ( $n$ -целое число). В частности, при  $n = 6$ , ЦОУ отображает число  $M_x$  соответствующее периоду  $T_x$  выраженному в микросекундах.

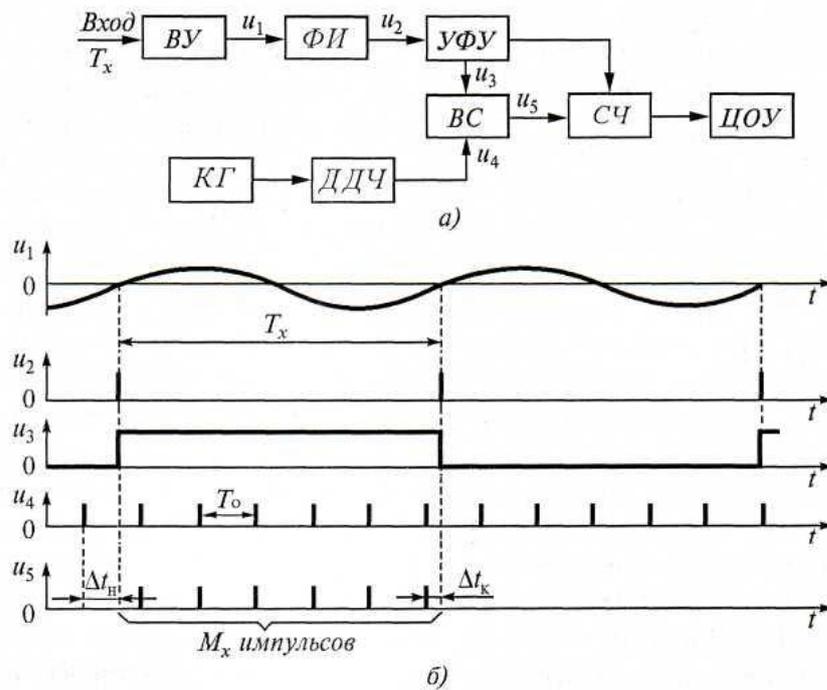


Рисунок 2 Цифровой частотомер в режиме измерения периода синусоиды: а - структурная схема; б - временные диаграммы

### Ход работы:

Изучить лекционный материал и ответить в тетради на следующие вопросы:

1. Основные требования, предъявляемые к «развертывающему» напряжению.
2. Как работает генератор пилообразного напряжения?
3. Перечислите основные виды разверток.
4. Когда используют линейную развертку? Как осуществляют круговую развертку?
5. Как измеряют амплитуду сигналов с помощью осциллографа?
6. Как осуществляют измерение временных интервалов с помощью калиброванной развертки и яркостных меток?
7. Как проводят измерение частоты сигнала методом фигур Лиссажу?
8. Перечислите осциллографические методы измерения частоты.
9. Какие методы сравнения используются для измерения частоты?
10. Поясните цифровой метод измерения частоты.
11. В чем заключается цифровой метод измерения интервалов времени?

### Практическая работа №14.

**Тема 4.2. Основные способы отсчета напряжения и временных интервалов. Исследование формы сигнала.**

**Изучение техники измерения временных параметров импульсных сигналов осциллографом.**

**Цель работы** приобретение навыков по измерению временных параметров сигналов с помощью ЭЛО методом калиброванных шкал.

**Перечень используемого оборудования** универсальный электронно-лучевой осциллограф С1-77, генератор сигналов низкочастотный ГЗ-33, генератор импульсов Г5-66 (или Г5-15), осциллограф цифровой RIGOL DS1052E, переключаемая линия задержки.

**Ход работы**

1 Изучить порядок измерения интервалов времени и методику оценки погрешности измерения длительности временных интервалов осциллографом С1-77. Собрать измерительную схему, показанную на рис. 4.7, используя макет с линией задержки (ЛЗ), закрепленный на корпусе генератора Г5-15. Установить положительную полярность и максимальную амплитуду импульса синхронизации генератора Г5-15.

2. Изменяя положение переключателя линии задержки определить время задержки импульса с выхода ЛЗ по отношению к импульсу синхронизации при различных положениях переключателя ЛЗ прямым методом по шкале осциллографа С1-77.

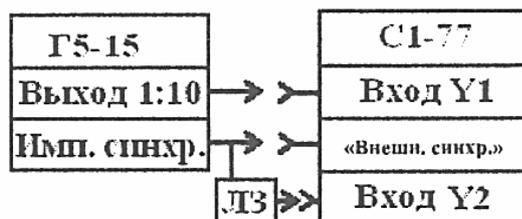


Рис 4.7. Схема соединения приборов для изучения методов измерения временных интервалов

3. Измерить  $\tau_{\text{зад}}$  методом сравнения. Используя регулировку временного сдвига между выходным и синхронизирующим импульсами генератора Г5-15 и торой канал осциллографа С1-77, добиться совмещения на экране осциллографа среднего фронта импульса запуска, прошедшего через ЛЗ, и переднего фронта основного импульса (рис. 4.8). Результаты измерений по п. 4.4.6.1 и п.4.4.6.2 внести в таблицу 4.4. Определить погрешность измерения  $\tau_{\text{зад}}$  прямым методом и методом сравнения.

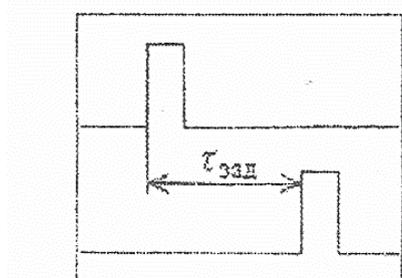


Рис. 4.8. Форма импульсов на экране С1-77 (условно)

Таблица 4.4

Время задержки импульса, прошедшего через перестраиваемую ЛЗ

Измеряемый параметр	Положение переключателя линии задержки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Время задержки $\tau_{\text{зад}}$ , мкс (прямой метод)										
Время задержки $\tau_{\text{зад}}$ , мкс (метод сравнения)										

### Содержание отчета.

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Перечень используемого оборудования.
4. Задание.

5. Результаты измерений и вычислений.
6. Выводы по работе
7. Ответы на вопросы.

### Практическая работа №15.

**Тема 4.2. Основные способы отсчета напряжения и временных интервалов. Исследование формы сигнала.**

**Изучение техники измерения временных параметров импульсных сигналов осциллографом.**

**Цель работы** приобретение навыков по измерению временных параметров сигналов с помощью ЭЛО методом калиброванных шкал.

**Перечень используемого оборудования** универсальный электронно-лучевой осциллограф С1-77, генератор сигналов низкочастотный ГЗ-33, генератор импульсов Г5-66 (или Г5-15), осциллограф цифровой RIGOL DS1052E, переключаемая линия задержки.

#### Ход работы

1 Изучить порядок измерения интервалов времени и методику оценки погрешности измерения длительности временных интервалов осциллографом С1 -77. Собрать измерительную схему, показанную на рис. 4.7, используя макет с линией задержки (ЛЗ), закрепленный на корпусе генератора Г5-15. Установить положительную полярность и максимальную амплитуду импульса синхронизации генератора Г5-15.

2. Изменяя положение переключателя линии задержки определить время задержки импульса с выхода ЛЗ по отношению к импульсу синхронизации при различных положениях переключателя ЛЗ прямым методом по шкале осциллографа С1-77.

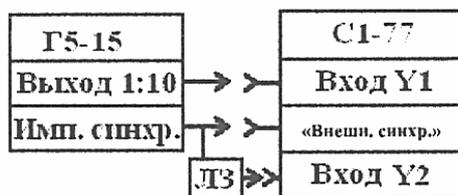


Рис 4.7. Схема соединения приборов для изучения методов измерения временных интервалов

3. Измерить  $\tau_{\text{зад}}$  методом сравнения. Используя регулировку временного сдвига между выходным и синхронизирующим импульсами генератора Г5-15 и одной из каналов осциллографа С1-77, добиться совмещения на экране осциллографа среднего фронта импульса запуска, прошедшего через ЛЗ, и переднего фронта основного импульса (рис. 4.8). Результаты измерений по п. 4.4.6.1 и п.4.4.6.2 внести в таблицу 4.4. Определить погрешность измерения  $\tau_{\text{зад}}$  прямым методом и методом сравнения.

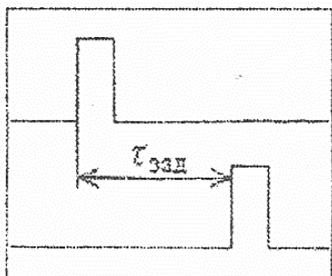


Рис. 4.8. Форма импульсов на экране С1-77 (условно)

Таблица 4.4

Время задержки импульса, прошедшего через перестраиваемую ЛЗ

Измеряемый параметр	Положение переключателя линии задержки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Время задержки $\tau_{\text{зад}}$ , мкс (прямой метод)										
Время задержки $\tau_{\text{зад}}$ , мкс (метод сравнения)										

#### Содержание отчета.

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Перечень используемого оборудования.
4. Задание.
5. Результаты измерений и вычислений.
6. Выводы по работе
7. Ответы на вопросы.

### Практическая работа №16.

#### Тема 5.2. Измерение характеристик электромеханических цепей.

##### Изучение шумов и шумовых параметров усилителя.

**Цель работы:** ознакомление с физическими механизмами шумообразования, методами учета и описания шумов и флуктуаций параметров в радиоэлектронных приборах (в основном твердотельных).

##### Перечень используемого оборудования

Экспериментальная установка (интернет-ресурс)

##### Теоретическая часть:

Термины “шум” и “флуктуации” можно рассматривать как синонимы.

Однако, как правило, под шумами подразумеваются электрические шумы, например, шумы напряжения и тока. Термин “флуктуации” ассоциируется с флуктуациями параметров, например, сопротивления, либо ёмкости радиоэлектронного элемента.

Шумы являются фактором, ограничивающим функциональные возможности практически всех радиоэлектронных устройств.

$$V(t) = V_0 + e_T(t)$$

Здесь  $V_0 = I_0 \cdot R$  – падение напряжения на резисторе,  $e_T(t)$  – эдс теплового шума, генерируемого резистором.

Тепловой шум моделируется на представленном рисунке эквивалентным генератором напряжения. Этот шум всегда присутствует на выводах резистора. Его статистические характеристики не зависят от величины тока  $I_0$ , протекающего через резистор.

Эти шумы (а также флуктуации параметров) ограничивают как дальность, так и надёжность передачи полезного сигнала.

**Дробовой шум.** Дробовой шум возникает, когда носители заряда случайно пересекают некоторый потенциальный барьер. При этом каждый носитель генерирует в цепи импульс тока, и суперпозиция этих импульсов образует флуктуирующий ток.

Примерами являются флуктуации тока электронной лампы, обусловленные случайным выходом электронов из катода вследствие термоэлектронной эмиссии; флуктуации тока фотодиода из-за случайной генерации носителей под действием падающего излучения;

флуктуации тока, протекающего через р-п переход, также имеют характер дробового шума. Термин «дробовой шум» происходит из-за аналогии этого явления шуму сыплющихся дробинок. Дробовой шум наряду со многими другими флуктуационными явлениями описывается с помощью модели импульсного случайного процесса. Протекающий в цепи ток  $I(t)$  представляется в виде суперпозиции отдельных импульсов:

$$I(t) = \sum_K I_K(t-t_K)$$

где  $I_K(t)$  форма  $K$ -го случайного импульса тока,  $t_K$  - случайный момент его появления. Обычно предполагается, что все импульсы тока одинаковы:  $I_K(t) = I_0(t)$

Число импульсов  $N$ , возникающих на некотором интервале времени, случайно. Во многих реальных ситуациях (импульсы возникают равновероятно во времени, независимо друг от друга, и вероятность одновременного появления нескольких импульсов равна нулю) это число импульсов подчиняется распределению вероятности.

Влияние дробового шума в электронных схемах зависит не только от тока, протекающего через прибор, но и от нагрузки, подключенной к прибору. Как правило, приборы и системы, генерирующие дробовой шум (электровакuumные приборы, фотодиоды, коллекторные переходы транзисторов) имеют внутреннее сопротивление, намного превышающее сопротивление нагрузки. На электрической схеме дробовой шум прибора (например, фотодиода) обычно представляют в виде источника тока, включенного параллельно внутреннему сопротивлению прибора.

При рассмотрении избыточных шумов широко используется понятие о флуктуациях параметров системы. Например, в силу некоторых причин могут случайным образом изменяться емкость конденсатора или сопротивление резистора, высота потенциального барьера р-п перехода полупроводникового прибора. Если к электрической цепи, содержащей такие элементы, приложить напряжение, в цепи возникнут избыточные флуктуации тока. Наиболее простой является модель равновесных флуктуаций сопротивления. Термин равновесные означает, что флуктуации сопротивления существуют вне зависимости от того, протекает ли по сопротивлению ток или нет, и что свойства этих флуктуаций не зависят от тока. Если через такое флуктуирующее сопротивление пропустить постоянный электрический ток  $I_0$ , на сопротивлении возникнут флуктуации напряжения

$$u(t) = I_0 r(t)$$

$r(t)$ -флуктуирующая составляющая полного сопротивления. Отсюда следует, что спектральная плотность избыточного шума определяется спектральной плотностью флуктуаций сопротивления:

$$S_U(f) = I_0^2 S_R(f)$$

Мощность избыточного шума, вызванного флуктуациями сопротивления, пропорциональна квадрату протекающего тока, и это отличает его от дробового шума, имеющего линейную зависимость мощности от тока.

Физическими причинами флуктуаций сопротивления могут быть, например, флуктуации числа подвижных носителей в полупроводниковом материале из-за случайного характера процессов генерации/рекомбинации; флуктуации подвижности носителей из-за случайного рождения/уничтожения дефектов кристаллической решетки проводника, на которых происходит рассеяние носителей; случайный захват/освобождение носителей заряда ловушками, расположенными в обедненном слое р-п перехода, и другие.

Избыточный шум, вызванный флуктуациями параметров, в нелинейных элементах часто имеет другие зависимости мощности флуктуаций напряжения от тока.

В качестве примера рассмотрим полупроводниковый диод, вольтамперная характеристика которого описывается выражением:

$$I = I_0 (\exp(\alpha U) - 1),$$

$I_0$  - обратный ток насыщения диода,  $U$  - напряжение на р-п переходе,  $\alpha$  - некоторая постоянная. Если чисто формально предположить, что параметры р-п перехода  $I_0$  и  $\alpha$  флуктуируют, и что ток диода  $I$  поддерживается постоянным, соответствующее шумовое напряжение.

Шум, создаваемый флуктуациями в диоде, имеет более слабую зависимость от тока, чем шум, создаваемый флуктуациями сопротивления. Этот пример демонстрирует, что зависимость избыточного шума от тока может быть достаточно сложной. Детальное обсуждение избыточного шума в полупроводниковых диодах выходит за рамки данного описания.

Спектральные свойства избыточных шумов могут быть различными. Так, процессы генерации/рекомбинации, характеризуемые некоторой постоянной времени  $\tau$ , дают частотную зависимость спектральной плотности, для теплового шума RC-цепочки. Спектр такого вида называется спектром Лоренца и характеризует шум в релаксационной системе, имеющей одну постоянную времени. Особое место занимает фликкерный шум или шум  $1/f$ . Частотная зависимость спектра этого шума имеет вид:

$$S(f) \propto 1/f^\gamma$$

показателем спектра  $\gamma$ , близким к единице. Такой вид спектральной плотности означает, что шум  $1/f$  проявляется, главным образом на низких частотах. Необычность спектра заключается в том, что его интеграл по частоте расходится, и, следовательно, мощность флуктуаций должна быть бесконечной. Реальным фактором, ограничивающим рост мощности шума на низких частотах, является конечная длительность измерения шума. В полупроводниковых усилителях зависимость типа  $1/f$  прослежена вплоть до частот порядка  $10^6$  Гц.

Шум  $1/f$  при тех или иных условиях наблюдается практически во всех электронных приборах и компонентах. Флуктуации этого типа также присутствуют в биологических, экономических, геофизических, астрофизических и других системах.

Столь универсальный характер этого явления в настоящее время не объяснен. В электрических системах шум  $1/f$  обычно связан с флуктуациями сопротивления. Физическими процессами, наиболее подходящими для объяснения шума на инфранизких частотах, являются захват носителей медленными ловушками в полупроводниках и рождение/уничтожение дефектов решетки в металлах. Модели, описывающие этот шум, в большинстве случаев основаны на предположении о суперпозиции шумовых релаксационных процессов, имеющих различные постоянные времени. Главная трудность таких теорий состоит в физическом обосновании распределения весовых коэффициентов, согласно которым должны складываться отдельные релаксационные процессы для получения спектра  $1/f$ .

## **ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ ШУМА**

Измерение любой статистической характеристики шума включает операцию усреднения. При теоретическом анализе случайных процессов средние значения определяются путем усреднения по статистическому ансамблю реализаций: все допустимые значения усредняемой величины суммируются с весами, равными вероятности этих значений. Экспериментатор же располагает лишь одной реализацией  $x(t)$ , и определение средних значений производится путем усреднения по этой единственной реализации – **усреднения по времени**.

Возможность такого усреднения основана на том, что случайный процесс обладает конечной памятью – временем корреляции. Поэтому одну реализацию в принципе можно разбить на отдельные независимые участки, и получить тем самым подобие статистического ансамбля.

Процессы, для которых усреднение по времени (предполагается, что интервал усреднения можно брать сколь угодно большим) эквивалентно усреднению по ансамблю, называются **эргодическими**.

Операция усреднения по времени в спектральном представлении является фильтром низких частот, который пропускает низкочастотные компоненты входного сигнала, включая постоянную составляющую, и подавляет высокочастотные, начиная с частоты порядка  $1/T$ . Для временного усреднения флуктуаций в принципе могут использоваться любые низкочастотные фильтры. В частности, при аналоговой обработке сигналов часто применяются интегрирующие RC цепочки.

Функциональная схема измерения мощности шума показана на Рис.6. Она содержит: источник шумового сигнала, представленный генератором напряжения  $e_R(t)$  и внутренним сопротивлением источника  $R$ , усилитель с регулируемым коэффициентом усиления  $K$ , фильтр, задающий полосу частот измерения шума  $\Delta f$ , квадратичный или линейный детектор, фильтр низких частот, выполняющий функцию усреднения, и выходной индикатор.

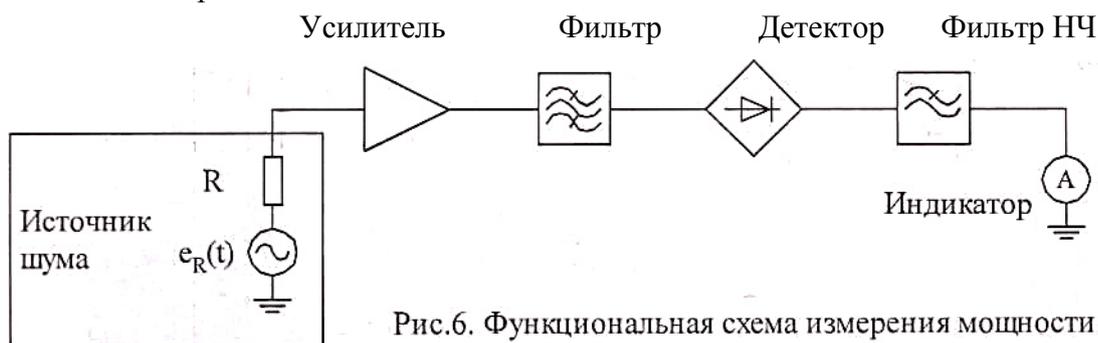


Рис.6. Функциональная схема измерения мощности шума.

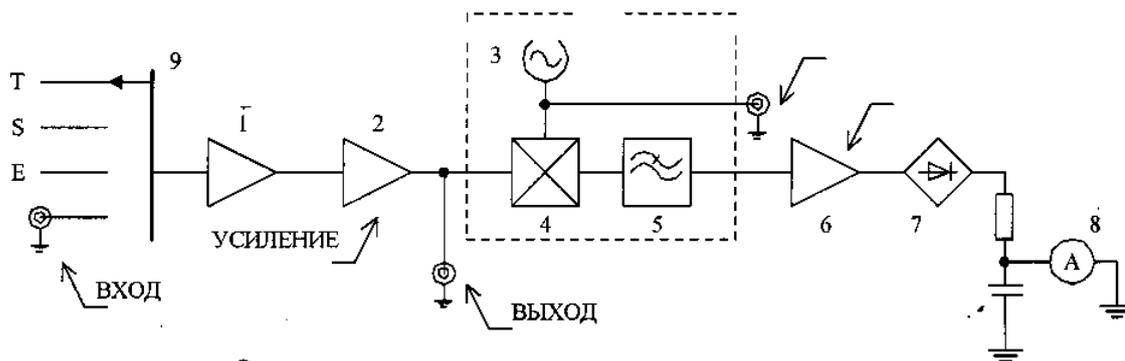
Для квадратичного детектора (выходной сигнал детектора пропорционален квадрату входного сигнала) и в предположении, что спектральная плотность источника шума  $S_R(f)$  постоянна в пределах полосы пропускания фильтра, показание индикатора  $A$  пропорционально спектральной плотности.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Экспериментальная установка состоит из трех электронных блоков - источников электрических шумов различного типа, и измерительного блока, с помощью которого регистрируется спектральная плотность шума.

**Измерительный блок** представляет собой узкополосный усилитель с детектором выходного сигнала. Основные узлы измерительного блока и органы управления представлены на Рис.7.

Рис.7 Схема измерительного блока. Пунктиром обведены элементы полосового фильтра. Стрелками указаны узлы схемы, к которым относятся соответствующие органы управления установкой.



Входной усилитель /1/ имеет постоянный коэффициент усиления, равный 60. С его выхода шумовой сигнал подается на усилитель /2/ с регулируемым коэффициентом усиления. Выходной сигнал регулируемого усилителя выведен на разъем ВЫХОД для визуального контроля с помощью осциллографа. Полоса частот усиления составляет **20Гц-25кГц**.

Усиленный шумовой сигнал поступает на фильтр, который выделяет спектральные составляющие сигнала, лежащие вокруг центральной частоты фильтра в полосе частот, примерно равной 50 Гц. Работа фильтра основана на преобразовании частоты входного сигнала. Фильтруемый шум и синусоидальное опорное напряжение, которое вырабатывает специальный генератор /3/, называемый гетеродином, подаются на аналоговый умножитель сигналов /4/. В результате умножения происходит сдвиг спектра шума вверх и вниз по частоте на величину, равную частоте гетеродина. В окрестности нулевой частоты оказываются спектральные составляющие входного шума, расположенные в окрестности частоты гетеродина. Эти составляющие выделяются фильтром низких частот /5/, который включен на выходе умножителя. Все устройство действует как фильтр с полосой пропускания, равной полосе пропускания фильтра низких частот (50 Гц), и имеющий центральную частоту фильтрации, равную частоте гетеродина. Изменяя частоту гетеродина, можно изменять частоту настройки фильтра.

В результате фильтрации шума мощность сигнала на выходе фильтра уменьшается по сравнению с мощностью на входе. Для компенсации этого ослабления на выходе фильтра установлен усилитель низкой частоты /6/ с регулируемым коэффициентом усиления.

Средняя амплитуда выделенных спектральных составляющих шума измеряется с помощью двухполупериодного выпрямителя /7/ и интегрирующей RC-цепочки. К выходу цепочки подключен стрелочный индикатор /8/.

С помощью переключателя /9/ на входе измерительного блока к нему могут быть подключены встроенные в установку источники шумовых сигналов (положения переключателя Т, S, E) или внешний генератор.

### Практическая работа № 17.

**Тема 5.2. Измерение параметров компонентов электротехнических цепей.  
Измерение параметров компонентов электротехнических цепей.**

**Цель работы:** изучить измерение параметров компонентов электротехнических цепей.

**Теоретическая часть:**

### **Измерение параметров компонентов с сосредоточенными параметрами**

Радиотехнические цепи, физические размеры которых гораздо меньше рабочей длины волны, называют цепями с сосредоточенными параметрами. Свойства таких цепей практически не зависят от конфигурации выводов (электродов) активных и пассивных элементов и размеров соединительных проводов. Радиотехнические цепи, физические размеры которых соизмеримы с рабочей длиной волны колебаний, относятся к цепям с распределенными параметрами. Каждый элемент или соединительный провод этой цепи обладает сопротивлением (активными, т.е. невозвратимыми, потерями мощности), индуктивностью и емкостью. Подобные цепи называют длинными линиями или СВЧ-трактами.

Элементы радиотехнической цепи можно соединить в двухполюсники и четырехполюсники. Двухполюсник (одионочный элемент или сложная электрическая цепь) имеет два вывода - полюса; четырехполюсник - пару входных и пару выходных выводов - четыре полюса.

В электрических цепях с сосредоточенными параметрами широко применяют линейные компоненты общего назначения: резисторы, катушки индуктивности и конденсаторы. При определенных допущениях эти элементы рассматривают как линейные пассивные двухполюсники, характеризуемые некими идеальными параметрами - сопротивлением  $R$  (величина, обратная сопротивлению - проводимость  $Y$ ), индуктивностью  $L$ , емкостью  $C$ .

При измерениях не всегда удается определить значение того или иного параметра, соответствующее идеальному виду элемента. Несовершенство конструкции и характеристик применяемых материалов является причиной появления паразитных параметров элементов. Так, наряду с главным параметром резистора - активным сопротивлением, он имеет и определенную индуктивность; катушка индуктивности, обладая индуктивностью, имеет паразитную емкость и активное сопротивление (сопротивление потерь) и т.д.

С учетом паразитных параметров резистор, конденсатор или катушку индуктивности можно соответственно характеризовать некоторым эффективным значением сопротивления, емкости, индуктивности, которые зависят от частоты протекающих по ним токов. Поэтому эффективные параметры компонентов необходимо измерять на рабочих частотах, если их влиянием на результат измерения нельзя пренебречь. Необходимо еще знать и ряд вторичных параметров этих элементов, например: добротность  $Q$

катушки индуктивности, тангенс угла потерь  $\delta$  конденсатора, характеристическое сопротивление  $\rho$  контура, что позволяет более точно определять измеряемые параметры.

Параметрами длинных линий, по аналогии с цепями с сосредоточенными постоянными, являются погонные активное сопротивление, индуктивность и емкость. Однако в отличие от цепей с сосредоточенными постоянными, эти параметры не имеют такого четкого физического смысла и поэтому их не измеряют. В то же время элементы СВЧ-трактов служат аналогами двух - и четырехполюсников, из которых состоят цепи с сосредоточенными постоянными. Эта аналогия позволяет рассматривать параметры: СВЧ-трактов как параметры двух - и четырехполюсников.

### **Измерение активных сопротивлений методом амперметра и вольтметра**

Измерение методом амперметра и вольтметра сводится к определению тока или напряжения в цепи с измеряемым двухполюсником и последующему расчету его параметров по закону Ома. Метод можно использовать для измерения активного и полного сопротивления, индуктивности и емкости. На рис. 7.1 показана структурная реализация этих методов при измерениях активного сопротивления. Измерение активных сопротивлений проводят на постоянном токе, при этом включать резистор  $R_x$  в измерительную цепь можно по двум схемам.

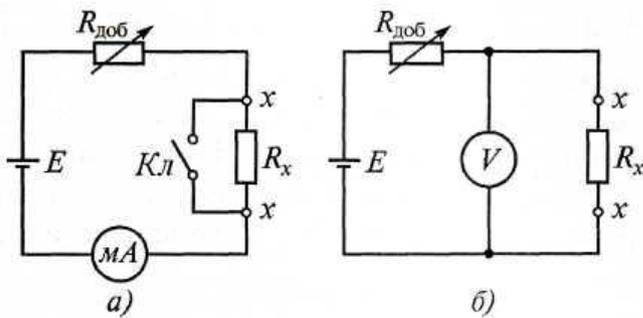


Рисунок Измерение активных сопротивлений методом:

а - амперметра; б - вольтметра

В схеме с амперметром (рис. 7.1, а) отклонение показаний миллиамперметра пропорционально току

$$I = \frac{E}{R_{доб} + R_x},$$

и обратно пропорционально измеряемому сопротивлению  $R_x$ . По такой схеме измеряют достаточно большие сопротивления (от 1 Ом до 200 МОм). Перед измерениями зажимы  $x$  замыкают ключом  $KЛ$  (тем самым закорачивают резистор  $R_x$ ) и переменным резистором  $R_{доб}$  устанавливают такой ток, чтобы стрелка отклонилась на всю шкалу, что соответствует точке 0 Ом.

Для измерения небольших сопротивлений (0,01...100 Ом) используют схему с вольтметром (рис. 7.1, б). Показания вольтметра определяют по формуле:

$$U = E \frac{R_x}{R_{доб} + R_x},$$

при условии, что  $R_{доб} \gg R_x$ ,  $U \approx ER_x/R_{доб}$ , т.е. имеет место прямая зависимость напряжения (показания вольтметра) от измеряемого сопротивления  $R_x$ . Перед измерением стрелку на приборе совмещают с отметкой «∞» при разомкнутых зажимах  $x$ .

Обе схемы приводят к методическим погрешностям измерения  $\Delta R_x$ , зависящим от внутренних сопротивлений приборов. Очевидно, что в схеме, изображенной на рис. 7.1, а, методическая погрешность измерения тем меньше, чем меньше внутреннее сопротивление амперметра (при  $R_A \rightarrow 0$ ,  $\Delta R_x > 0$ ), а в схеме, показанной на рис. 7.1, б, эта погрешность тем меньше, чем больше внутреннее сопротивление вольтметра (при  $R_V \rightarrow \infty$ ,  $\Delta R_x \rightarrow 0$ ). Итак, схемой, показанной на рис. 7.1, а, следует пользоваться для измерения больших сопротивлений, а схемой, показанной на рис. 7.1, б, - для измерения малых сопротивлений. Точность обоих методов невысока - погрешность измерения составляет 1,5...2 %.

### Омметры

Омметром называют прямо показывающий прибор для измерения электрического сопротивления на постоянном токе.

Действие омметра основано на применении закона Ома: измеряется падение напряжения на неизвестном сопротивлении при заданном токе или измеряется ток через неизвестное сопротивление при определенном напряжении. В простейших омметрах в качестве отсчетного устройства используется магнитоэлектрический механизм достаточной чувствительности (ток полного отклонения  $IK = 50 \dots 100 \mu A$ ). Различают омметры с последовательным и параллельным включением измеряемого сопротивления. Принципиальная электрическая схема омметра последовательного типа изображена на рис. 7.2 При коротком замыкании выводов  $A$  и  $B$  переменным резистором  $R_{доб}$  устанавливают в цепи такой ток, чтобы стрелка прибора  $PAI$  отклонилась на всю шкалу. Это - «нуль омметра». При присоединении к выводам  $AB$  измеряемого сопротивления  $R_x$  установленный ранее ток уменьшится и стрелка прибора займет другое положение.

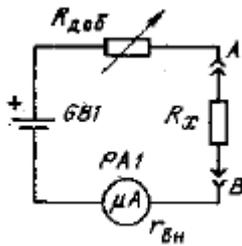
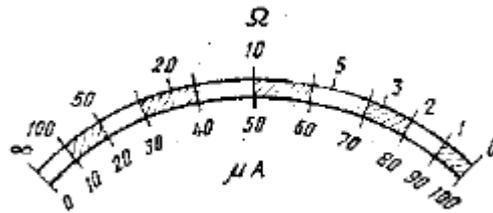


Схема омметра.

Если обозначить относительную величину отклонения стрелки прибора  $a = \frac{I}{I_{\text{ном}}}$ , а отношение измеряемого сопротивления к внутреннему сопротивлению омметра через  $A = R_x/R_{0M}$ , то выражение  $a = 1/(1 + A)$  определит уравнение шкалы омметра (рис. 7.3). Из приведенного выражения видно, что при бесконечно большом сопротивлении  $R_x$  (разрыв цепи)  $A \rightarrow \infty$ ,  $a$ , ток равен нулю и стрелка прибора не отклоняется. Это положение стрелки на шкале отмечается знаком  $\infty$ . То, что на шкале рассматриваемого омметра имеются отметки 0 и  $\infty$ , не означает, что им можно измерять любое сопротивление. Шкала прибора по краям сильно сжата и практически используется лишь ее Средняя часть. Середина шкалы омметра соответствует его входному сопротивлению (при  $R_x = R_{0M}$ ,  $a = 0,5$ ). Это сопротивление и определяет пределы сопротивлений, измеряемых прибором.

Обычно

$R_x$  лежит в пределах от  $0,01R_{0M}$  до  $100R_{0M}$ . Если задан верхний  $R_v$  и нижний  $R_n$  пределы измерения сопротивления по данной шкале омметра, то его внутреннее сопротивление  $R_{0M}R_nR_v$ .



Шкала омметра.

Погрешность измерений:

$$(1+A)^2 kAAr \pm \Delta = \delta$$

где  $k$  — относительная приведенная погрешность (класс точности прибора  $PA1$ ).

Измеряемое сопротивление может включаться не только последовательно, но и параллельно микроамперметру. В этом случае шкала прибора получается не обратной, а прямой: «нуль» — слева, а « $\infty$ » — справа, но по-прежнему нелинейной. Ток через прибор  $PI$ :  $I_{\text{изм}} = IR_x / (R_x + r_{вн})$  (7.4)

Приняв во внимание, что общий ток в цепи  $I = E / (R_{доб} + R_x + r_{вн})$  можно получить:  $I_{\text{изм}} = E / (R_{доб} + r_{вн} + r_{вн}R_{доб}/R_x)$  (7.5)

Омметрами с прямой шкалой удобнее измерять сопротивления, соизмеримые с внутренним сопротивлением  $r_{вн}$  прибора, т. е. меньшие, чем омметрами с обратной шкалой.

Для расширения диапазона измерений применяют многопредельные омметры. Для этого изменяют значение сопротивления  $R_{доб}$  в 10, 100, 1000 раз. К многопредельным относятся М212, М371, а также омметры, входящие в состав универсальных приборов. При измерении больших сопротивлений приходится увеличивать напряжение питания.

### Измерение с помощью логометра

Уменьшить влияние источника питания  $E$  на точность измерения активных сопротивлений позволяет применение магнитоэлектрического прибора - логометра, встречающегося в лабораторной измерительной практике. Устройство и схема включения магнитоэлектрического логометра представлены на рис. 7.6.

Логометр содержит две жестко скрепленных между собой рамки, помещенные в неравномерное поле постоянного магнита (рис. 7.6,а), которое реализуется за счет специальной конфигурации полюсных наконечников. Неравномерным поле создают для того, чтобы

вращающие моменты, приложенные к рамкам, зависели не только от токов, протекающих в рамках, но и от положения рамок в магнитном поле, т.е.  $M_1 = \psi_1(\alpha)I_1$ ;  $M_2 = \psi_2(\alpha)I_x$ , где  $I_1$ ,  $I_x$  - токи, протекающие в рамках;  $\psi_1(\alpha)$ ,  $\psi_2(\alpha)$  - значения

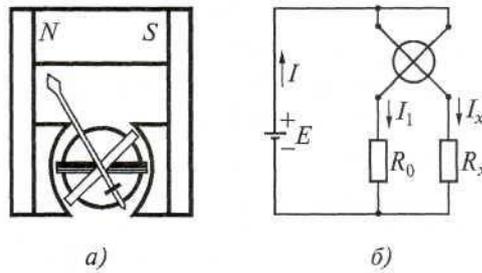


Рисунок Магнитоэлектрический логометр:

а - устройство; б - схема включения

потокосцеплений магнитов с их рамками. Положение равновесия наступит при  $M_1 = M_2$ ;  $\psi_1(\alpha)I_1 = \psi_2(\alpha)I_x$  и, следовательно, угол отклонения подвижной системы определится как

$$\alpha = F(I_1 / I_x),$$

Для схемы, приведенной на рис. 7.6,б

$$I_1 = \frac{E}{R_p + R_0}; I_x = \frac{E}{R_p + R_x}; \alpha = F \left[ \frac{R_p + R_x}{R_p + R_0} \right],$$

где  $R_p$  - сопротивление рамок;  $R_0$  - образцовое сопротивление. Итак согласно (10.4), показания логометра не зависят от колебания напряжения питания. Зависимость показаний от  $R_x$  позволяет создавать лабораторные логометры с погрешностью измерений, не превышающей 0,5 %. Нечувствительность логометра к колебаниям напряжения питания позволила также разработать класс приборов, питающихся от генераторов, ротор которых вращают вручную и еще иногда использующиеся для определения сопротивления изоляции телефонных сетей и на производстве.

### Электронные омметры

Электронные омметры аналогового типа выполняют на основе инвертирующего усилителя на ОУ, охваченного отрицательной обратной связью с помощью измеряемого сопротивления  $R_x$  (рис. 7.7). Напряжение на выходе усилителя омметра нетрудно вычислить по формуле:

$$U_{\text{вых}} = -U \frac{R_x}{R_1},$$

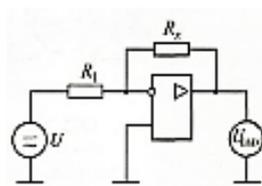


Рисунок 7.7 Схема электронного омметра

Поскольку выходное напряжение в схеме линейно связано с измеряемым сопротивлением  $R_x$ , то шкала прибора может быть проградуирована непосредственно в единицах сопротивления. Шкала получается равномерной в широких пределах и практически не зависит от внешних (навесных) элементов усилителя. Погрешности измерения электронных омметров значительные - 2...4 %.

В приборах для измерения особо больших активных сопротивлений (**тераомметрах**) сопротивления  $R_x$  и  $R_1$  меняют местами, при этом шкала измерительного прибора получается обратной и напряжение

$$U_{max} = -U \frac{R_1}{R_x},$$

Погрешность измерения сопротивлений тераомметрами достигает 10 %.

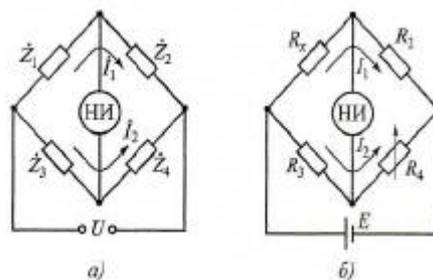
Электронные измерители сопротивлений, построенные по приведенным схемам, используют для измерения сопротивлений и на переменном токе.

### Мостовые измерители параметров элементов

Для измерения параметров элементов цепей методом сравнения применяют мосты.

Сравнение измеряемой величины (сопротивления, индуктивности, емкости) с образцовой мерой при помощи моста в процессе измерения осуществляют вручную или автоматически, на постоянном или переменном токе.

Мостовые схемы обладают высокой чувствительностью, большой точностью, широким диапазоном измеряемых значений параметров элементов. На основе мостовых методов строят средства измерения, предназначенные как для измерения какой-либо одной величины, так и универсальные аналоговые и цифровые приборы.



Схемы четырехплечих мостов:

а - обобщенная; б - для измерения активных сопротивлений

НИ - нуль-индикатор

Существует несколько разновидностей мостовых схем измерения параметров  $R$ ,  $L$ ,  $C$ : четырехплечие, уравновешенные, неуравновешенные и процентные. Управление этими мостами может осуществляться как вручную, так и автоматически. Наибольшее распространение получили схемы четырехплечих уравновешенных мостов (рис. 7.8). Обобщенная структурная схема такого моста показана на рис. 7.8,а. Сопротивления четырехплечего моста в общем случае имеют комплексный характер.

Условия равновесия четырехплечего моста определяются равенствами:

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3,$$

$$\varphi_1 + \varphi_4 = \varphi_2 + \varphi_3,$$

где  $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4$  - модули комплексных сопротивлений;  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$  - их соответствующие фазы.

Для выполнения этих равенств необходимо наличие в плечах моста элементов с регулируемыми параметрами. Для обеспечения условия равенства амплитуд (7.7) наиболее удобно применять эталонное регулируемое активное сопротивление. Элементом, обеспечивающим условие равновесия фаз (7.8), служит эталонный конденсатор емкостью  $C_0$  с малыми потерями.

Схема четырехплечего уравновешенного моста постоянного тока для измерений активных сопротивлений представлена на рис. 7.8, б. Электронный или цифровой нуль-индикатор

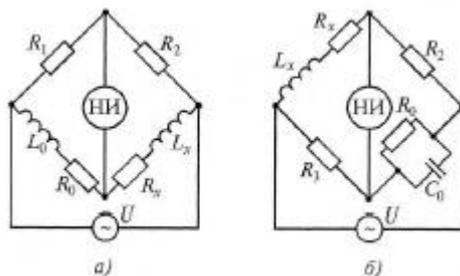
НИ включают в диагональ уравновешенного моста. Ток в диагонали моста в момент измерения активного сопротивления устанавливают равным нулю. Для равновесия моста необходимо, чтобы выполнялось равенство  $R_x R_4 = R_2 R_3$  откуда неизвестное сопротивление

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

Для достижения равновесия моста с активными сопротивлениями достаточно иметь один регулируемый параметр (например, сопротивление резистора  $R_4$ ), как показано на рис. 7.8, б. Пределы измеряемых сопротивлений для этих мостов составляют от  $10^{-2}$  до  $10^7$  Ом; погрешности измерения - от долей процента до нескольких процентов в зависимости от диапазона измерения.

Показанная на рис. 7.8, б схема моста может быть частично реализована на цифровых элементах. Для этого регулируемый резистор изготавливают в виде набора сопротивлений, выполненных в соответствии с двоично-десятичным кодом. Сопротивления поочередно включают в плечо измерительного моста до тех пор, пока мост не уравновесится. Положение ключей характеризует собой код измеряемой величины, поступающий затем на цифровое отсчетное устройство.

Ряд схем мостов на переменном токе для измерения индуктивности и добротности катушек представлен на рис. 7.9. В них используют источники гармонического тока с напряжением  $U$  и угловой частотой  $\omega$ . Эти четырехплечие мосты обеспечивают наилучшее уравновешивание. Эквивалентные схемы замещения для катушек индуктивности с потерями могут быть последовательными или параллельными в зависимости от потерь, отраженных активным сопротивлением.



Схемы мостов для измерения индуктивностей и их добротностей с образцовыми элементами:  
а — катушкой; б — конденсатором

Условие равновесия четырехплечего моста для схемы, показанной на рис. 7.9, а, имеет вид:

$$R_1(R_x + j\omega L_x) = R_2(R_0 + j\omega L_0),$$

где  $L_x$  и  $R_x$  - измеряемые индуктивность и сопротивление омических потерь в катушке;  $L_0$  и  $R_0$  - образцовые индуктивность и сопротивление.

Приравняв действительные и мнимые члены формулы (7.9) получим:

$$L_x = L_0 R_2 / R_1; R_x = R_0 R_2 / R_1,$$

Поскольку изготовление высокодобротных образцовых катушек вызывает определенные трудности, часто в качестве образцовой меры в мостах переменного тока применяют конденсатор (рис. 7.9, б). Для этой схемы

$$R_x + j\omega L_x = R_2 R_3 (1/R_0 + j\omega C_0),$$

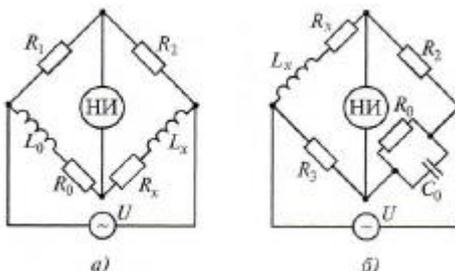
Если в данном уравнении приравнять отдельно вещественную и мнимую части, то получим следующие выражения для определения параметров катушки индуктивности:

$$R_x = R_2 R_3 / R_0; L_x = C_0 R_2 R_3,$$

Добротность катушки:

$$Q_x = \omega L_x / R_x = R_0 \omega C_0,$$

Для измерения емкости и тангенса угла потерь конденсаторов с достаточно малыми потерями применяют мостовую схему, представленную на рис. 7.10,а (последовательное соединение элементов  $C_x$  и  $R_x$ ), а с большими потерями - на рис. 7.10,б (параллельное соединение элементов  $C_x$  и  $R_x$ ).



Схемы мостов для измерения емкости и тангенса угла потерь:

а - с малыми потерями; б - с большими потерями

Условие равновесия для схемы, показанной на рис. 7.10,а, имеет вид:

$$R_4 [R_x + 1/(j\omega C_x)] = R_2 [R_0 + 1/(j\omega C_0)],$$

Разделив вещественную и мнимую части последнего выражения, получаем следующие формулы для определения параметров конденсатора:

$$C_x = C_0 R_4 / R_2; R_x = R_2 R_0 / R_4,$$

Тангенс угла потерь конденсатора:

$$\operatorname{tg} \delta_x = \omega C_x R_x = \omega C_0 R_0,$$

Для моста с параллельным соединением элементов  $C_x$  и  $R_x$  (см. рис. 7.10,б) условие равновесия имеет следующий вид:

$$R_4 R_x (1 + j\omega C_0 R_0) = R_2 R_0 (1 + j\omega C_x R_x),$$

Отсюда

$$C_x = C_0 R_4 / R_2; R_x = R_2 R_0 / R_4,$$

Тангенс угла потерь конденсатора при параллельной схеме его замещения:

$$\operatorname{tg} \delta = 1/(\omega C_x R_x) = 1/(\omega C_0 R_0),$$

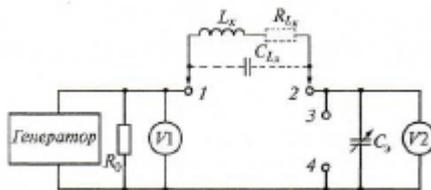
Уравновешивание схем обеспечивают поочередным регулированием переменных образцовых сопротивлений или емкостей. Эту процедуру называют шагами, а количество шагов определяет сходимость моста. Мост с хорошей сходимостью имеет не более пяти шагов.

Мосты переменного тока используют на низких частотах: 500...5000 Гц. При работе на повышенных частотах погрешности измерения резко возрастают. Погрешность измерений моста переменного тока определяют погрешности элементов образующий мост, переходных сопротивлений контактов и чувствительность схемы. Мосты переменного тока больше чем мосты постоянного тока подвержены влиянию помех и паразитных связей между плечами, плечами и землей и т.д. Поэтому, даже при тщательном экранировании моста и принятии других мер защиты, погрешности у мостов переменного тока больше, чем у мостов постоянного тока.

### Резонансный метод измерения параметров элемента

Резонансный метод измерения основан на настройке в резонанс колебательного контура, включающего образцовый и измеряемый элементы (индуктивности или емкости), и опре-

делении его резонансной частоты. Метод применяют для измерения индуктивностей и емкостей на высоких частотах, так как в области низких частот резонансные явления проявляются недостаточно резко, что не позволяет получить высокую точность измерения. С помощью резонансных схем осуществляют измерение путем замещения, при котором один и тот же эффект (например, резонанс на фиксированной частоте) повторяют дважды: первый раз - с измеряемым элементом, второй - с мерой той же физической природы. За результат измерения принимают значение, равное величине меры при резонансе. Резонансные схемы удобны при точных измерениях относительно малых значений индуктивностей и взаимной индуктивности, емкостей и т.д.



Упрощенная структурная схема куметра

Наиболее универсальным прибором для измерения параметров цепей резонансным методом является куметр (от латинской буквы Q - характеристики добротности катушки индуктивности), в котором основной измерительной цепью служит последовательный резонансный контур. Упрощенная структурная схема куметра показана на рис. 7.11. Источником синусоидальных сигналов, подаваемых на последовательный резонансный контур, является генератор тока, нагруженный на малое активное сопротивление  $R_0 \approx 0,05$  Ом. Частота выходных колебаний генератора может изменяться в широких пределах.

Уровень входного сигнала необходимо поддерживать постоянным (что контролируют по вольтметру V1).

При измерении индуктивности исследуемую катушку подключают к зажимам 1, 2. При этом резонансный контур будет образован катушкой измеряемой индуктивности  $L_x$  с активными потерями  $R_{Lx}$  и межвитковой емкостью ее проводов  $C_{Lx}$  а также перестраиваемой эталонной емкостью  $C_0$ . Резонанс в контуре на заданной частоте устанавливают изменением величины емкости  $C_0$ , эталонного конденсатора. Состояние резонанса контура определяют по вольтметру V2, отградуированному в значениях добротности Q. Измерение индуктивности  $L_x$  с учетом емкости  $C_{Lx}$  проводят на двух резонансных частотах, которые равны:

$$f_{p1} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_x(C_{s1} + C_{Lx})}}; f_{p2} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_x(C_{s2} + C_{Lx})}},$$

где  $C_{s1}$  и  $C_{s2}$  - эталонные емкости на частотах  $f_{p1}$  и  $f_{p2}$ .

Пусть соотношение частот  $f_{p1} = Kf_{p2}$ , где коэффициент K - вещественное число. Тогда совместное решение уравнений (7.20) позволяет вычислить ранее неизвестные значения параметров  $L_x$  и  $C_{Lx}$  по формулам:

$$L_x = \frac{K^2 - 1}{(2\pi f_{p1})^2 (C_{s2} - C_{s1})}; C_{Lx} = \frac{C_{s2} - C_{s1} K^2}{K^2 - 1},$$

помощью куметра можно также определять неизвестные параметры R, C, tgδс, подключая измеряемые резистор или конденсатор к зажимам 3, 4.

Погрешности измерения куметром параметров L, C, tgδс, K в зависимости от используемой схемы составляют 1...5 %. Причинами появления этих погрешностей являются: нестабильность генератора, наличие в контуре сопротивления  $R_0$ , неточность шкалы конденсатора эталонной емкости  $C_0$ , погрешности измерительных приборов V1, V2, погрешность считывания показаний.

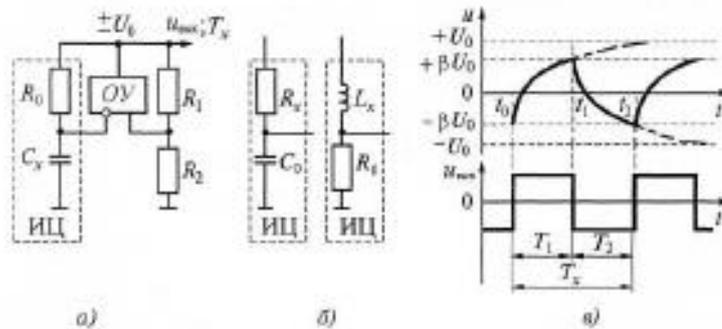
### Цифровые средства измерения параметров элементов

Цифровые средства измерения параметров элементов электрических цепей чаще всего используют сочетание аналогового преобразователя, преобразующего определяемый параметр элемента в активную величину, и соответствующего цифрового прибора для измерения этой величины. Одним из методов измерения сопротивления, индуктивности и емкости является метод прямого преобразования их значений в пропорциональный интервал времени и измерение этого интервала путем заполнения счетными импульсами. Метод измерения называют методом дискретного счета. Второй способ цифрового измерения параметров элементов использует уравнивающее преобразование сопротивления, индуктивности и емкости, основанное на сравнении измеряемой величины с образцовой.

**При методе дискретного счета** используют закономерности апериодического процесса, возникающего при подключенной заряженного конденсатора или катушки индуктивности с протекающим в ней током к образцовому резистору. При измерении активного сопротивления применяют процесс разряда образцового конденсатора через измеряемый резистор. При этом измеренный интервал времени функционально связан с преобразуемым параметром. Преобразователи отличаются высокой точностью, быстродействием, линейностью функции преобразования, удобная для преобразования в цифровой код видо выходного сигнала.

Схема преобразователя сопротивлений, индуктивностей и емкостей в интервал времени (период меандрового напряжения) показана на рис. 7.12, а.

Измерительная цепь ИЦ интегрирующего типа с постоянной времени  $\tau_x = R_0 C_x$  (или  $R X C_0$ , или  $L_x / R_0$  - рис. 7.12, б) питается выходным напряжением операционного усилителя ОУ, являющегося компаратором. Порог его срабатывания задают делителем  $R_1$  и  $R_2$ . Временные диаграммы работы преобразователя параметров элементов приведены на рис. 7.12, в.



Преобразователь параметров элементов в интервал времени:

а - схема; б - измерительные цепи; в - временные диаграммы;

ИЦ - измерительная цепь; ОУ - операционный усилитель

При поступлении в момент времени  $t_0$  на ИЦ с выхода ОУ напряжения  $U_0$  происходит его интегрирование измерительной цепью. Очевидно, что напряжение на инвертирующем входе ОУ:

$$u(t) = U_0(1 + \beta)(1 - e^{-t/\tau_x}) - \beta U_0,$$

где  $\beta = R_2 / (R_1 + R_2)$  - коэффициент передачи цепи положительной ОС.

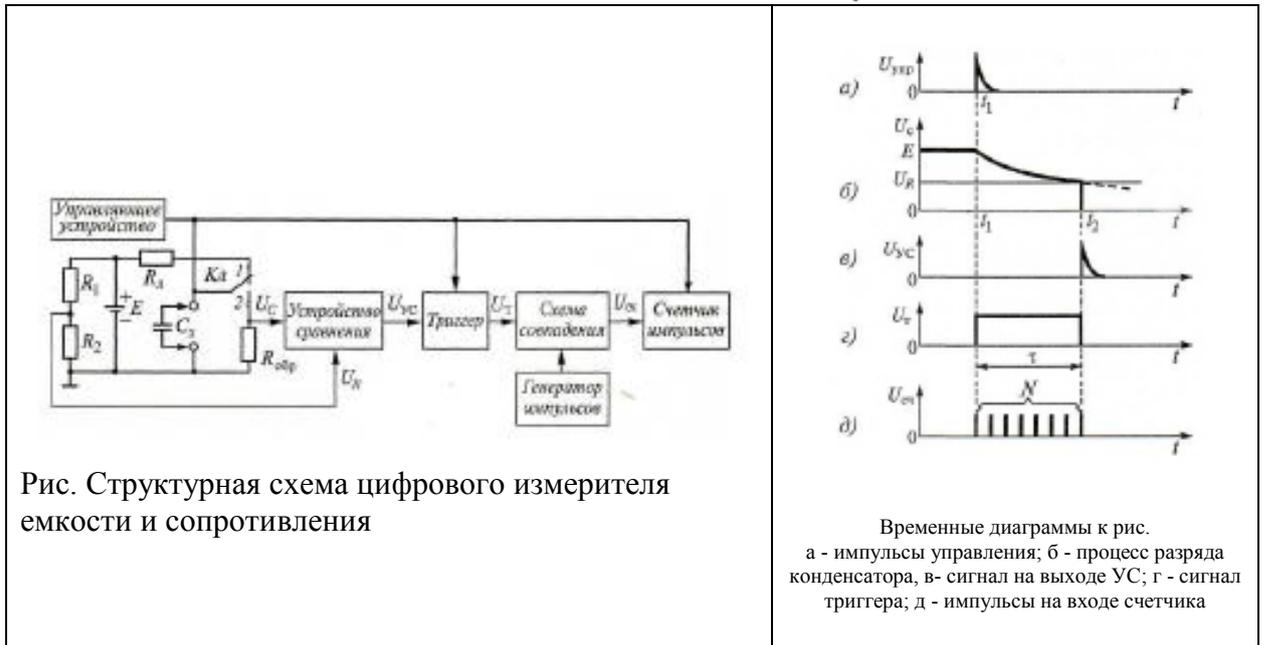
При достижении этой функцией порогового значения  $+\beta U_0$  (момент времени  $t_1$ ) компаратор срабатывает и изменяет на выходе знак напряжения  $U_0$  на противоположный. Можно показать, что интервал интегрирования равен

$$T_1 = t_1 - t_0 = \tau_x \ln \frac{1 + \beta}{1 - \beta}.$$

На следующем интервале времени  $T_2 = t_2 - t_1$  происходит формирование развертывающей функции с противоположным знаком производной. Очевидно, что при равенстве значений

положительного и отрицательного порогов срабатывания  $|\beta U_0| = |-\beta U_0|$ , интервалы  $T_1$  и  $T_2$  равны. Период напряжения на выходе ОУ:

$$T_x = T_1 + T_2 = 2 \tau_x \ln \frac{1 + \beta}{1 - \beta}$$



Перед измерением ключ Кл (рис. 7.13) устанавливают в положение 1 и конденсатор Сх заряжается через ограничительный резистор Rд до значения стабилизированного источника напряжения E.

В момент начала измерения емкости  $t_1$  (рис. 7.14, а) управляющее устройство импульсом управления переключает триггер из состояния 0 в состояние 1, очищает предыдущие показания счетчика импульсов и переводит ключ Кл в положение 2. Измеряемый конденсатор Сх начинает разряжаться через образцовый резистор Rобр по экспоненциальному закону (рис. 10.10, б), который описывают уравнением:

$$U_c = E e^{-(t-t_1)/\tau}$$

где  $\tau = R_{обр} C_x$  - постоянная времени цепи разряда конденсатора.

В момент времени  $t_1$  единичный импульс напряжения  $U_T$  с выхода триггера открывает схему совпадения и счетчик начинает счет тактовых импульсов генератора, следующих с некоторой частотой  $f$ . Напряжение  $U_c$  подают на один из входов устройства сравнения, ко второму входу которого подводится напряжение с делителя, состоящего из резисторов R1 и R2. Это напряжение равно

$$U_R = E \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Сопротивления R1 и R2 выбирают такими, чтобы при разряде конденсатора уменьшающееся напряжение  $U_c$  по истечении времени  $\tau$  стало равным напряжению  $U_R$ . В момент  $t_2$ , когда эти напряжения будут равны, на выходе устройства сравнения возникает импульс напряжения  $U_{ус}$ , переключающий триггер в исходное состояние, при котором задним фронтом его импульса  $U_T$  закрывается схема совпадения, и счетчик прекращает счет тактовых импульсов (рис. 7.14, б - д).

Поскольку при  $t = t_2$  напряжения  $U_c = U_R$  И  $\tau = t - t_1$ , то

$$e^{-(t_2-t_1)/\tau} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = e^{-1} = \frac{1}{2,718} = 0,368,$$

Таким образом, напряжение  $U_R$ , снимаемое с делителя  $R_1 R_2$  имеет определенное значение ( $U_R = 0,368E$ ), что достигается подбором сопротивлений резисторов. За интервал времени  $\tau = R_{обр}C_x$  на счетчик поступает число импульсов

$$N = f \tau, (7.28)$$

где  $f$  - частота следования счетных импульсов.

Поскольку  $\tau = R_{обр}C_x$ , то при фиксированных значениях частоты  $f$  и сопротивления  $R_{обр}$

$$C_x = N / (f R_{обр}) = N / K_1, (7.29)$$

Здесь коэффициент  $K_1 = f R_{обр}$ .

Согласно (7.29), величина измеряемой емкости прямо пропорциональна числу импульсов  $N$ , поступивших на счетчик.

Наличие образцового конденсатора  $C_{обр}$  позволяет аналогичным образом измерить сопротивление резистора:

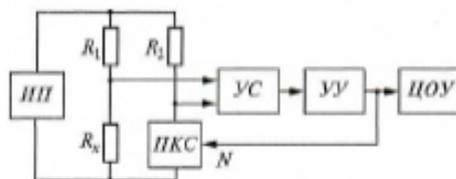
$$R_x = N / (f C_{обр}) = N / K_2, (7.30)$$

где коэффициент  $K_2 = f C_{обр}$ .

Цифровые измерительные приборы, построенные по методу дискретного счета, получили широкое распространение при измерении параметров электрических цепей. К достоинствам метода следует отнести достаточно высокую точность измерений погрешность измерений цифровым методом составляет  $0,1 \dots 0,2 \%$  и зависит в основном от нестабильности сопротивлений резисторов  $R_1 R_2$ ,  $R_{обр}$  или конденсатора  $C_{обр}$ , нестабильности частоты  $f$  генератора счетных импульсов, а также неточности срабатывания устройства сравнения. К недостаткам таких приборов можно отнести трудность измерения параметров на рабочей частоте.

Наряду с методами прямого преобразования (дискретного счета) в практике используют также **методы уравнивающего преобразования** измеряемых значений сопротивления, индуктивности и емкости, основанные на сравнении измеряемой величины с образцовой. Сравнение измеряемой величины с образцовой, чаще всего осуществляют путем уравнивания мостовой измерительной цепи, в одно из плеч которой включают исследуемый двухполюсник. В смежное плечо моста вводят образцовый элемент, представляющий собой набор квантованных образцовых мер, соответствующих весовым коэффициентам разрядов используемого цифрового кода. Изменением параметров образцового двухполюсника добиваются равенства нулю напряжения в измерительной диагонали.

На рис. 7.15 показана структурная схема цифрового моста постоянного тока уравнивающего типа для измерения активного сопротивления резистора или другого элемента с омическими потерями.



Структурная схема цифрового моста постоянного тока уравнивающего типа. Измеряемый резистор  $R_x$ , образцовые резисторы  $R_1$  и  $R_2$  и преобразователь кода в сопротивление ПКС образуют мост, который питается источником постоянного напряжения ИП. Разбаланс моста фиксируют устройством сравнения УС. Устройство управления УУ анализирует выходной сигнал УС и в зависимости от его знака увеличивает или уменьшает значение цифрового кода  $N$ , выдаваемый на ПКС. Уравнивание производится до тех пор, пока напряжение в выходной диагонали моста не станет меньше порога чувствительности УС. При этом измеряемое сопротивление

$$R_x = R_1 R_{ПКС} / R_2 = k_{ПКС} N R_1 / R_2, (7.31)$$

где  $R_{ПКС}$  - сопротивление ПКС;  $k_{ПКС} = R_{ПКС}/N$  - коэффициент преобразования ПКС. Как следует из формулы (7.31), результат измерения (он фиксируется ЦОУ) не зависит от напряжения питания. Пределы измерения подбирают путем изменения отношения сопротивление резисторов  $R_1$  и  $R_2$  цепи положительной обратной связи. Цифровые мосты постоянного тока уравнивающего типа обеспечивают погрешность измерения параметров около 0,01 % и поэтому их широко применяют для точного измерения активного сопротивления резисторов.

Более сложными по структуре построения являются мосты переменного тока, предназначенные для измерений комплексного сопротивления, индуктивности и емкости при определенной фиксированной частоте (обычно около 1 кГц). Эти мосты выполняют уравнивание по двум параметрам, т.е. производят раздельное и независимое уравнивание двух составляющих комплексного сопротивления  $Z_x$ .

#### **Ход работы:**

Изучить лекционный материал и ответить в тетради на следующие вопросы:

1. Какие параметры электрических цепей считают сосредоточенными, а какие распределенными?
2. Перечислите основные методы измерения активных сопротивлений.
3. Дайте краткую характеристику методам измерения активных сопротивлений.
4. Условие равновесия моста постоянного тока.
5. Условия равновесия моста переменного тока.
6. Поясните работу куметра.
7. Какие методы измерения параметров используют в цифровых приборах?

#### **Практическая работа № 18.**

##### **Тема 5.3. Измерение параметров компонентов электрических цепей.**

##### **Выявление неполадок полупроводниковых приборов цифровым мультиметром.**

**Цель работы:** оценить исправность полупроводниковых приборов.

##### **Теоретическая часть:**

Многие устройства, с которыми приходится иметь дело электротехнику собраны с применением изделий промышленной электроники. Чаще всего они выходят из строя из-за неисправностей в силовых цепях, где протекают большие токи или присутствует высокое напряжение.

Маломощные схемы управления силовыми цепями выходят из строя редко.

Прибор необходимый для оценки работоспособности радиотехнических компонентов называется мультиметром.

Выявление неполадок диодов и стабилитронов.

Исправные полупроводниковые диоды и стабилитроны обладают односторонней проводимостью, а большинство неисправных - двусторонней проводимостью. Возможен также внутренний обрыв.

Для выявления неполадок диода один из его выводов отпаивают от печатной схемы, и пользуясь омметром проверяют наличие односторонней проводимости диода. При прямом включении омметра положительный полюс внутренней батареи омметра подключают к аноду диода.

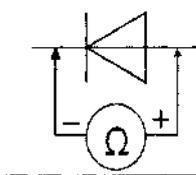
В цифровых мультиметрах в режиме испытания р-п-переходов используется ток порядка 1 мА, а на дисплее отображается падение напряжения на этом переходе в милливольтках. У исправных кремниевых диодов падение напряжения составляет около 600 мВ, у германиевых - 100-200 мВ. При обратном включении исправного перехода дисплей показывает переопределение счетчика.

При пробое диода прямое сопротивление будет почти таким же как обратное. При обрыве цепи в диоде как прямое, так и обратное сопротивление будет бесконечно большим.



Рис.1 Цифровые мультиметры

Выявление неполадок стабилитронов выполняют либо не отделяя стабилитрон от платы, либо отсоединив его. В первом случае включают ток питания платы и измеряют рабочее напряжение на стабилитроне: если оно окажется в пределах нормального значения для данного типа стабилитрона, то он исправен. Во втором случае как и при проверке диодов измеряют сопротивление при прямом и обратном приложении напряжения.



### Выявление неполадок биполярных транзисторов

В биполярном транзисторе р-п- переходы являются аналогами переходов обычных диодов. В транзисторе типа р-п-р имеются как бы два последовательно включенных диода, у которых катоды, п-области переходов, соединены вместе и подключены к выводу базы, а аноды подключены к выводам эмиттера и коллектора. В транзисторах п-р-п типа с базой соединены аноды диодов.

Если в исправном транзисторе типа р-п-р к базе подключить положительный полюс внутренней батареи омметра, то переходы запираются и омметр покажет большое сопротивление между базой и коллектором, или базой и эмиттером. Если же к базе подключают отрицательный полюс внутренней батареи омметра, то он показывает малое сопротивление относительно эмиттера или коллектора. Для транзистора типа п-р-п полярности подключаемого напряжения будут обратными.

Измеряя сопротивление нельзя допускать перегрузки переходов током, так как она может привести к выходу транзистора из строя. Наиболее безопасно применять омметры с внутренним источником напряжения 1.5В, а в многопредельных омметрах использовать шкалы с пределами 100 или 1000 Ом.

### Выявление неполадок полевого транзистора

Наиболее часто повреждение полевого транзистора возникает в результате электрического пробоя изолятора затвора.

Возникшие токи могут вызвать полный отказ транзистора (короткое замыкание между затвором и электродами стока и истока, или обрыв цепи любого электрода) или частичную утрату его работоспособности в виде ухудшения электрических параметров.

При ремонте аппаратов с применением полевого транзистора часто возникает задача проверки этих транзисторов. Чаще всего приходится иметь дело с вышедшими из строя мощными полевыми транзисторами импульсных блоков питания.

Полевой транзистор имеет три вывода. Расположение этих выводов на транзисторах разных производителей может быть различным.

Чаще всего выводы транзистора можно определить по маркировке на плате.

У всех современных мощных полевых транзисторах между стоком и истоком имеется паразитный встроенный диод, поэтому при подаче на исток положительного, а на сток отрицательного напряжения мультиметр покажет сопротивление порядка 600 Ом.

Надо помнить о наличии такого диода и не принять его наличие за неисправность. Убедиться в наличии такого диода просто: надо поменять полярность тестового прибора, и он должен показать бесконечное сопротивление между стоком и истоком, а если этого не

произошло, то скорее всего транзистор пробит.

Если приложить + измерительного прибора к затвору 3 транзистора, а - к истоку И (для транзисторов с p-каналом), то произойдет заряд емкости затвора, затвор приобретет положительный потенциал относительно истока, возникнет проводящий канал и транзистор откроется. При проверке транзистора лучше пользоваться цифровым мультиметром с переключением пределов измерений, установленным на значок диода. Между щупами такого мультиметра при таком положении переключателя имеется напряжение около 3В, которое как правило превышает пороговое напряжение современных транзисторов. Если далее замерить сопротивление между стоком С и истоком И, то прибор покажет сопротивление, которое зависит от многих причин, но никак не бесконечное сопротивление, транзистор будет открыт, до тех пор пока не разрядится емкость затвора, по скорости роста сопротивления исток- можно судить о качестве изолятора затвора.

Перед прозвонкой участка сток-исток замыкается накоротко все ножки транзистора, это приводит к разряду емкости затвора. После этого при измерении сопротивления сток-исток оно должно быть бесконечным. Если этого не произошло значит транзистор не исправен.

#### **Выявление неполадок конденсаторов.**

К отказам конденсаторов относят пробой, потерю емкости, увеличение тока утечки.

Используя омметр или мультиметр со стрелочным измерительным механизмом, можно применить метод баллистического гальванометра.

Для этого мультиметр включают на предел измерения сопротивления и щупами дотрагиваются до выводов предварительно разряженного конденсатора. Ток зарядки вызовет кратковременное отклонение стрелки, тем больше, чем больше емкость конденсатора. Пробитый конденсатор имеет сопротивление близкое к нулевому, а конденсатор с оборванным выводом не вызовет никакого отклонения стрелки.

#### **Ход работы**

- 1) изучить метрологические и технические характеристики средства измерения;
- 2) по техническому описанию изучить принцип действия прибора;
- 3) описать неисправности и оценить исправность диодов и стабилитронов;
- 4) описать неисправности и оценить исправность биполярных транзисторов;
- 5) описать неисправности и оценить исправность полевого транзистора;
- 6) описать неисправности и оценить исправность конденсаторов.

#### **Содержание отчета**

- 1) цель работы;
- 2) таблица с метрологическими характеристиками и параметрами средства измерения;
- 3) порядок действий при измерениях;
- 4) вывод

#### **Практическая работа № 19.**

##### **Тема 5.3. Измерение параметров компонентов электрических цепей.**

##### **Определение входного сопротивления вольтметра.**

**Цель работы:** определение входного сопротивления вольтметра, основных метрологических характеристик вольтметров: основной погрешности, вариация показаний и поправку вольтметра; определение чувствительности и цены деления вольтметра.

##### **Теоретическая часть:**

Основные технические характеристики приборов для измерения напряжения и тока: диапазон измерения напряжения и тока, погрешность измерения, диапазон рабочих частот, входное сопротивление, время одного измерения или число измерений в единицу времени, чувствительность или цена деления.

Диапазон измерений представляет собой область значений напряжения или тока, измеряемых прибором с нормированной погрешностью.

Для многопредельных приборов диапазон измерений указывают на каждом пределе с различной нормированной погрешностью.

Переключение пределов измерений производится вручную или автоматически. Способность приборов работать при сигналах, превышающих предел измерения, называют их перегрузочной способностью. Перегрузочная способность современных цифровых вольтметров достигает 300%.

Различают полный и рабочий диапазоны измерений. Полный диапазон определяют по формуле

$$D_n = \frac{U_{\max}}{U_{\min}} \quad (1)$$

где  $U_{\max}$  и  $U_{\min}$  ~ максимальное и минимальные значения измеряемого напряжения.

Если максимальное  $U'_{\max}$  и минимальное  $U'_{\min}$  значения измеряемого напряжения определяют с заранее установленными погрешностями, то используют понятие рабочего диапазона

$$D_p = \frac{U'_{\max}}{U'_{\min}} \quad (2)$$

который обычно меньше полного диапазона.

Полный и рабочий диапазоны измерений прибора обычно измеряют в децибелах, пользуясь формулами.

$$D_n = 20 \lg \frac{U_{\max}}{U_{\min}}, \text{ дБ} \quad (3,а)$$

$$D_p = 20 \lg \frac{U'_{\max}}{U'_{\min}}, \text{ дБ} \quad (3,б)$$

Погрешность измерений, является основной метрологической характеристикой прибора. Различают абсолютную, относительную и приведенную погрешности приборов.

Абсолютная погрешность  $\Delta$  определяется разностью между показанием прибора  $U_n$  и истинным значением измеряемого напряжения (или тока)  $U_u$

$$\Delta = U_n - U_u \quad (4)$$

Абсолютная погрешность, взятая с обратным знаком, называется поправкой

$$\Pi = -\Delta \quad (4,а)$$

Относительная погрешность  $\delta$  определяется отношением абсолютной погрешности  $\Delta$  к истинному значению измеряемого напряжения  $U_u$  и выражается в процентах

$$\delta = \frac{\Delta}{U_u} = \frac{U_n - U_u}{U_u} 100\% \quad (5)$$

Относительная погрешность зависит от значения измеряемого напряжения и с уменьшением напряжения увеличивается.

Приведенная погрешность  $\gamma$  определяется отношением абсолютной погрешности к некоторому нормирующему значению  $U_n$  напряжения и выражается в процентах

$$\gamma = \frac{\Delta}{U_n} = \frac{U_n - U_u}{U_n} 100\% \quad (6)$$

В качестве нормирующего напряжения принимают предельное значение шкалы приборов с односторонней шкалой или сумму предельных значений шкалы для приборов с двухсторонней шкалой. Приведенная погрешность не зависит от значения измеряемого напряжения.

Если погрешность измерения определяют при нормальных условиях применения прибора, то ее называют основной. Для нормальных условий применения нормируются величины,

влияющие на результат измерения: температура, давление, влажность, напряжение питания, частота, внешние электрические и магнитные поля и др. Изменение этих влияющих величин приводит к появлению дополнительных погрешностей.

Вариация показания представляет собой наибольшую разность показаний прибора при одном и том же значении измеряемого напряжения и неизменных условиях применения.

Обычно вариацию показаний определяют по формуле

$$\Delta U = U_+ - U_- \quad (7)$$

где  $U_+$  - измеренное значение напряжения при возрастании напряжения,  $U_-$  - измеренное значение напряжения при убывании напряжения.

Вариация показаний характеризует степень устойчивости показаний прибора при одних и тех же условиях измерения одного и того же значения напряжения (или тока). Вариация показаний приближенно равна удвоенной основной погрешности.

Одной из основных характеристик приборов для измерения напряжения и тока является чувствительность. Под чувствительностью понимают отношение приращения выходной величины  $\Delta Y$  к соответствующему приращению измеряемого напряжения или тока

$$S = \frac{\Delta Y}{\Delta U} \quad (8, a)$$

где выходная величина  $\Delta Y$  - угловое или линейное перемещение указателя, цифровой отсчет или кодовый набор.

Для приборов с линейной шкалой чувствительность во всем диапазоне измерений постоянна. Для приборов с нелинейной шкалой чувствительность зависит от значения измеряемого напряжения. Величина, обратная чувствительности,

$$C = S^{-1} \quad (8, б)$$

называется постоянной прибора и определяет цену деления его шкалы, Цена деления цифровых приборов соответствует значению единицы младшего разряда.

### Ход работы

1. Определение основной погрешности, вариация показаний и поправку вольтметра.
2. Определение чувствительности и цены деления вольтметра.
3. Определение входного сопротивления вольтметра.

### Порядок выполнения работы.

1. Определение основной погрешности, вариация показаний и поправки вольтметра выполняют по схеме, изображенной на рис. 1. В качестве поверяемого прибора используют вольтметр типа МПЛ-46, а образцовый служит цифровой вольтметр типа В2-23. Перед проведением измерений прибор В2-23 включить в сеть и выждать 10...15 мин. Затем произвести установку нуля и калибровку вольтметра В2-23 в соответствии с инструкцией по пользованию прибором. Кроме того, необходимо выполнить установку нуля вольтметра МПЛ-46, пользуясь корректором.

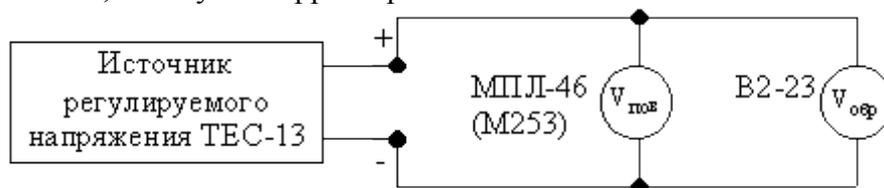


Рис.1

Для выполнения п.1 программы поверяемый вольтметр МПЛ-46 устанавливают на диапазон 15 В и измеряют напряжение на всех оцифрованных делениях шкалы, изменяя входное напряжение регулируемого источника ТЕС-13. Измерение напряжения на каждом оцифрованном делении шкалы МПЛ-46 производят дважды: один раз при возрастании напряжения (показание образцового вольтметра  $U'_{обр}$ ), а второй раз при убывание напряжения (показание образцового вольтметра  $U''_{обр}$ ). При этом на образцовом вольтметре В2-

23 необходимо выбрать поддиапазон, обеспечивающий не менее трех значащих цифр. Результаты измерений занести в ф.1.

Действительные значения на оцифрованных делениях шкалы поверяемого вольтметра определяют как среднее значение двух измерений  $U_{cp}=(U'_{обр}+U''_{обр})/2$ .

Расчет погрешности измерений выполняют по формулам:

Абсолютная погрешность  $\Delta U=U_{пов}-U_{cp}$ ,

Относительная погрешность  $\delta=(\Delta U/ U_{пов})*100\%$ ,

Приведенная погрешность  $\gamma_{п}=(\Delta U/ U_{ном})*100\%$ ,

где  $U_{ном}=15 В$  – номинальное значение напряжения поверяемого.

Вариацию показаний вольтметра определяют по формулам:

Абсолютное значение вариации  $\Delta U=U'_{обр}-U''_{обр}$ ,

Приведенное значение вариации  $\gamma_{в}=(\Delta U_{обр}/ U_{ном})*100\%$ ,

Поправку вольтметра вычисляют по формуле  $\Pi=\Delta U$ .

Из полученных значений  $\gamma_{п}$  и  $\gamma_{в}$  необходимо выбрать наибольшее и сравнить их с классом точности  $K_u$  поверяемого вольтметра. Если  $\gamma_{п макс}$  и  $\gamma_{в макс}$  окажутся больше  $K_u$ , то поверяемый вольтметр нельзя использовать с указанным классом точности.

Форма 1.

Показания поверяемого прибора	$U_{пов}, В$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Показание образцового прибора	$U'_{обр}, В$																
	$U''_{обр}, В$																
Действительное значение напряжения	$U_{cp}, В$																
Погрешность градуировки	$\Delta U, В$																
	$\delta, \%$																
	$\gamma_{п}, \%$																
Поправка	$\Pi, В$																
Вариация показаний	$\Delta U_{обр}, В$																
	$\gamma_{в}, \%$																

Использование табличных значений поправки позволяет существенно уменьшить погрешность измерения напряжения поверяемым вольтметром. Вводя поправку в результат измерения, получаем действительное значение напряжения  $U=U_{пов}-\Delta U=U_{пов}+\Pi$ .

2. Определение чувствительности и цены деления выполняют на всех поддиапазонах вольтметра МПЛ-46 и электронного вольтметра ВЗ-38. Чувствительность приборов рассчитывается по формуле

$$S=N_{ном}/U_{ном},$$

где  $N_{ном}$  – номинальное число делений шкалы прибора,  $U_{ном}$  – номинальное (предельное) значение напряжения на выбранном поддиапазоне.

Цену деления прибора определяет по формуле  $C = S^{-1}$ .

Исходные данные и результат расчёта свести в ф.2.

Форма 2.

Номинальное напряжение поддиапазона $U_{\text{ном}}$ , дел				
Номинальное число делений шкалы $N_{\text{ном}}$ , дел				
Чувствительность $S$ , дел/В				

Для цифрового вольтметра цену деления определяют как значение единицы младшего разряда на выбранном поддиапазоне. Отношение номинальное напряжение  $U_{\text{ном}}$  для выбранного поддиапазона к цене деления  $\Delta U_{\text{м}}=C$  характеризуется количество уровней дискретизации  $N_{\text{г}}=U_{\text{ном}}/\Delta U_{\text{м}}$ .

Величину, обратную количеству уровней дискретизации, называют разрешающей способностью цифрового вольтметра. Обычно разрешающую способность определяют с учётом возможной перегрузки вольтметра по входу  $\eta= \Delta U_{\text{м}}/U_{\text{п}}$ , где  $U_{\text{п}}$  – напряжение перегрузки вольтметра.

Результаты определения основных характеристик цифрового вольтметра В2-23 на различных поддиапазонах измерения свести в ф.3.

Номинальное напряжение поддиапазона $U_{\text{ном}}$ , В				
Напряжение перегрузки поддиапазона $U_{\text{п}}$ , В				
Цена деления $\Delta U_{\text{м}}$ , В				
Количество уровней дискретизации $N_{\text{г}}$ , дел				
Разрешающая способность $\eta$ , 1/дел				

3. Определение входного сопротивления вольтметров выполняют по схеме, изображенной на рис.2 входное сопротивление измеряют для двух вольтметров типа МПЛ-46 и В2-23 на всех поддиапазонах измерений.

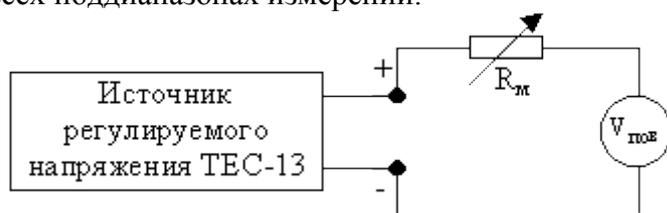


Рис2

При измерении входного сопротивления вольтметра последовательно с его входной цепью включают магазин сопротивлений  $R_{\text{м}}$ . Перед началом измерений на выходе источника ТЕС-13 устанавливают минимальное напряжение, а сопротивление магазина устанавливают на нуль. После этого, изменяя напряжение источника ТЕС-13, устанавливают минимальное его равным или близким к номинальному напряжению выбранного поддиапазона.

Затем увеличивают сопротивление магазина  $R_{\text{м}}$  до тех пор, пока показание вольтметра не уменьшится на 20...50%. Входное сопротивление вычисляют по формуле  $R_{\text{вх}}=U_2R_0/(U_1-U_2)$ , где  $U_1$  – измеренное напряжение при  $R_{\text{м}}=0$ ;  $U_2$  - измеренное напряжение при  $R_{\text{м}}=R_0$ . Если установить  $U_2=0,5 U_1$ , то  $R_{\text{вх}}= R_0$ .

Примечание. При измерении  $R_{вх}$  цифрового вольтметра В2-23 на всех диапазонах использовать сопротивление  $R_0=100$  кОм.

Мощность, потребляемую входной цепью вольтметра, рассчитывают по формуле  $P_{вх}=U_{ном}^2/R_{вх}$ .

Результаты измерений и вычислений для вольтметров МПЛ-46 и В2-23 свести в ф.1.

Форма 1

Тип вольтметра	Входное сопротивление и мощность на поддиапазонах					
	$U_{ном1}=, В$		$U_{ном2}=, В$		$U_{ном3}=, В$	
	$R_{вх}, Ом$	$P_{вх}, Вт$	$R_{вх}, Ом$	$P_{вх}, Вт$	$R_{вх}, Ом$	$P_{вх}, Вт$
МПЛ-46						
В2-23						

### Содержание отчёта

1. Краткие сведения об измерительных приборах, используемых в работе.
2. Схемы измерений.
3. Расчётные формулы.
4. Заполненные таблицы измерений и вычислений.
5. Выводы по работе.

### Контрольные вопросы.

1. Как определяют диапазон измерения?
2. Что такое поправка измерения
3. Что называют приведенной погрешностью?
4. Как определяют вариацию показаний прибора?
5. Как определяют чувствительность и цену деления вольтметров и амперметров?
6. Как вычисляют разрешающую способность прибора?

### Практическая работа № 20.

#### Тема 5.3. Измерение параметров компонентов электрических цепей.

#### Измерение параметров элементов цепей мостовым методом.

**Цель работы:** Закрепление знаний, методов и структурных схем приборов для измерения параметров пассивных элементов цепей (R, L, C): резисторов, конденсаторов и катушек индуктивностей. Развитие навыков измерения параметров элементов цепей с помощью мостов переменного и постоянного токов.

**Перечень используемого оборудования** в состав лабораторной установки входят: лабораторный макет с набором элементов цепей различных типоминалов; мост постоянного тока Р4060; измеритель иммитанса Е7-20; мультиметр Ф 4800; генератор звуковой частоты ГЗ-33; вольтметр переменного тока ВЗ-38; генератор шума Г2-37; селективный микровольтметр В6-9; магазин емкостей.

#### Теоретическая часть:

Функциональная схема мультиметра Ф4800, поясняющая принцип преобразования емкости и индуктивности во временной интервал и измерения указанных параметров методом дискретного счета, показана на рис. 5.6.

При измерении С замыкаются контакты 1, 3 и 2, 4 (переключатель В); при измерении L замыкаются контакты 5, 7 и 6, 8.

Источник опорного напряжения ИОН, управляемый сравнивающим устройством СУ1, подает разнополярное напряжение на делитель  $R_1, R_2, R_{3,4}$  и одновременно на RC (RL) цепочку с измеряемой емкостью  $C_x$  (индуктивностью  $L_x$ ) и образцовым сопротивлением  $R_0$ .

С выхода делателя  $R_1$  опорное напряжение поступает на входы НИ (неинверсные) сравнивающих устройств  $СУ1$  и  $СУ2$ . На вторые входы И (инверсные) наступает экспоненциальное напряжение с выхода  $RC$  ( $RL$ ) цепочки. Благодаря использованию двух разнополярных опорных напряжений и двух сравнивающих устройств обеспечивается уменьшение влияния потерь в измеряемых емкостях (индуктивностях).

С выходов  $СУ1$  и  $СУ2$  сигналы поступают на формирователь  $\Phi$ , который выделяет два последовательных интервала времени при измерении  $C_x$  и двадцать интервалов при измерении  $L_x$  между срабатыванием  $СУ1$  при одной полярности питающего напряжения и срабатыванием  $СУ2$  – при другой полярности питающего напряжения. Сигнал с выхода  $СУ1$  управляет также переключением полярности питающего напряжения в ИОН. С выхода формирователя сигнал поступает на ключ  $K$ . В открытом состоянии ключа  $K$  счетные импульсы, вырабатываемые генератором опорной частоты ГОЧ, через делитель частоты ГОЧ, через делитель частоты 2 (ДЧ) поступают на счетчик-индикатор  $СЧИ$ , показывающий результат измерения на индикаторном табло.

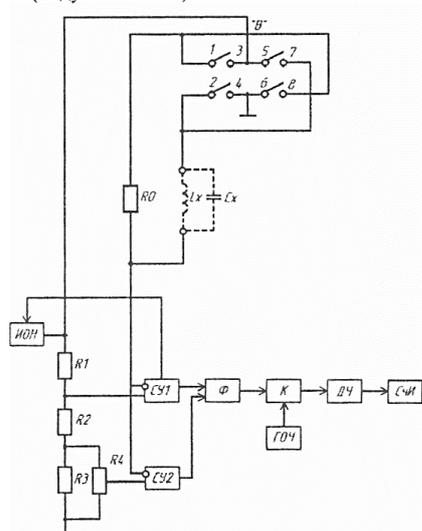


Рис. 5.6. Функциональная схема измерения емкости и индуктивности мультиметром  $\Phi$  4800

К линейным пассивным компонентам электрических цепей с сосредоточенными постоянными относятся резисторы, катушки индуктивности и конденсаторы.

Для резистора (рис. 5.7) основным параметром является активное сопротивление  $R$  электрическому току, а паразитными – индуктивность  $L_R$  проводов обмотки (для проволочных резисторов) и выводов, а также емкость  $C_R$  между витками и выводами. У поверхностных и композиционных резисторов значения  $L_R$  и  $C_R$  много меньше, чем у проволочных.

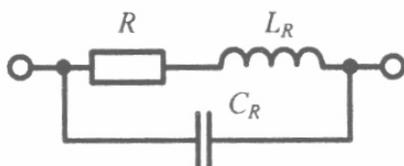


Рис. 5.7. Полная эквивалентная схема резистора

Для **катушки индуктивности** (рис. 5.8, а) основным параметром является индуктивность  $L$ , а паразитными – сопротивление потерь  $R_L$  и собственная емкость катушки  $C_L$ . При измерениях на низких частотах эквивалентную схему катушки индуктивности представляют в другом виде (рис. 5.8, б), где  $L_d$  и  $R_d$  – действующие значения индуктивности и сопротивления потерь.

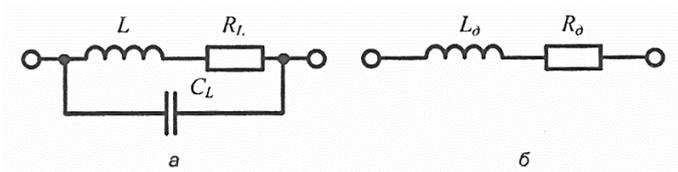


Рис. 5.8. Эквивалентная схема катушки индуктивности: а - полная; б - на низких частотах  
 Для конденсатора (рис. 5.9, а) основным параметром является емкость  $C$ , а паразитными – индуктивность  $L_C$  пластин и выводов и сопротивление потерь  $R_C$  (главным образом в диэлектрике). У большинства конструкций конденсаторов  $L_C$  пренебрежимо мала (особенно на низких частотах) и эквивалентная схема упрощается (рис. 5.9, б, в).

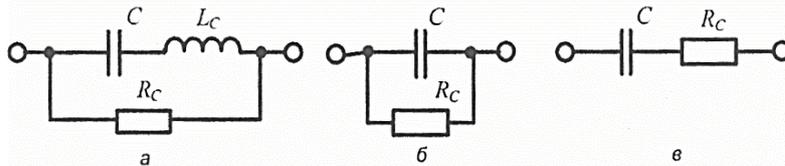


Рис. 5.9. Эквивалентная схема конденсатора: а – полная; б, в – на низких частотах  
 Для измерения активного сопротивления резистора, емкости конденсатора и индуктивности катушки применяют следующие методы:

- метод вольтметра и амперметра;
- мостовой метод; • резонансный метод;
- метод дискретного счета.

**Мостовой метод** используется для измерения сопротивления, емкости и индуктивности компонентов низкочастотных цепей, а также тангенса угла потерь конденсаторов и добротности катушек. Основан на сравнении измеряемых активных и реактивных сопротивлений с сопротивлениями рабочих элементов, включенных в соответствующие плечи мостовой схемы.

В измерительных приборах используют разные виды **мостовых схем** – четырехплечие, шестиплечие, Т-образные и др. Наиболее распространены четырехплечие мосты.

**Мосты постоянного тока** (рис. 5.11, а) применяют для измерения активного сопротивления  $R_x$  резисторов. Из условия баланса, фиксируемого по нулевому показанию индикатора (И):  $R_x = (R_1/R_2) \cdot R_3$ , где  $R_1, R_2, R_3$  – сопротивления резисторов высокой точности остальных плеч моста.

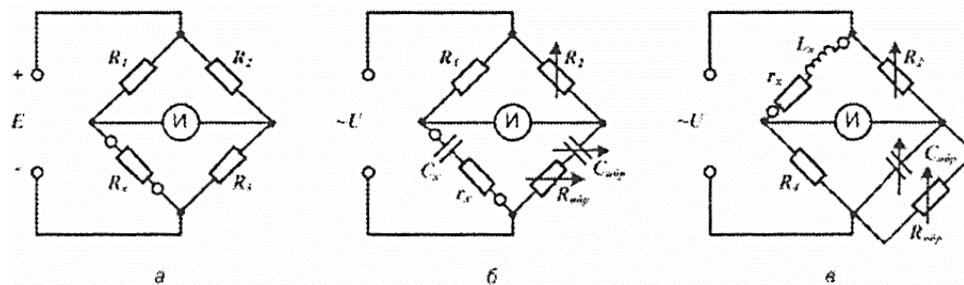


Рис. 5.11. Мостовые схемы: а – постоянного тока (для измерения активных сопротивлений); б, в – переменного тока (для измерения емкостей (б) и индуктивностей (в))

**Мосты переменного тока** (на рис. 5.11, б, в приведены некоторые схемы) используют для измерения емкости  $C_x$  и тангенса угла потерь  $\text{tg} \delta_C$  конденсаторов (рис. 5.11, б), а также индуктивности  $L_x$  катушек и их добротности  $Q_L$  (рис. 5.11, в).

Когда мосты полностью сбалансированы:

$$C_x = C_{обр} (R_2/R_1) \quad r_x = R_{обр} (R_1/R_2) \quad tg\delta_C = 1/\omega C_{обр} R_{обр}$$

$$L_x = C_{обр} R_2 \cdot R_4 \quad r_x = R_2 R_4/R_{обр} \quad Q_L = \omega C_{обр} R_{обр}$$

где  $C_{обр}$ ,  $R_{обр}$  – образцовые конденсатор переменной емкости и переменный резистор, соответственно;  $\omega = 2\pi f$  – циклическая частота переменного напряжения питания моста  $\sim U$ .

### Ход работы

5.4.1 Измерение электрических сопротивлений элементов цепей мостом постоянного тока Р4060, мультиметром Ф 4800 и измерителем иммитанса Е7-20. Для выполнения задания ознакомиться с техническим описанием и инструкцией по эксплуатации указанных приборов. Изучить разделы технических описаний по подготовке приборов к работе и порядок проведения измерений. Включить приборы и подготовить их к работе.

5.4.1.1 У всех резисторов  $R_1 \dots R_5$  поочередно измерить их активные сопротивления. При этом для каждого резистора получить зависимость показаний индикатора равновесия моста «I  $\mu A$ » от величины разбаланса моста, то есть от величины сопротивления, установленного в регулируемом плече моста на отсчетном устройстве пятидекадного переключателя «Rotс». Измерения произвести, установив переключатель «ГРУБО-ТОЧНО» моста в положение «ТОЧНО». Результаты отсчетов записать в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 Зависимость показаний индикатора моста (I  $\mu A$ ) от разбаланса моста

Измеряемый параметр		Ток индикатора баланса моста Р4060 I, $\mu A$								
		-10,0	-6,0	-4,0	-2,0	0	2,0	4,0	6,0	10,0
$R_1$	Rotс., Ом									
...	Rotс., Ом									
$R_5$	Rotс., Ом									

По результатам измерений построить графики зависимостей показаний индикатора от величины разбаланса моста  $I_{\mu A} = \psi(R_{отс})$  для всех измеренных резисторов  $R_1 \dots R_5$ .

5.4.1.2 Произвести измерение омических сопротивлений катушек индуктивности  $L_1 \dots L_5$  и конденсаторов  $C_1 \dots C_5$  мостом Р 4060, измерителем иммитанса Е7-20 и мультиметром Ф 4800. Результаты измерений записать в таблицу 5.2. Оценить погрешности результатов измерений.

Таблица 5.2 Омические сопротивления потерь конденсаторов и катушек индуктивности

Прибор, которым выполнено измерение	Сопротивление потерь, Ом									
	$\Gamma_{C1}$	$\Gamma_{C2}$	$\Gamma_{C3}$	$\Gamma_{C4}$	$\Gamma_{C5}$	$\Gamma_{L1}$	$\Gamma_{L2}$	$\Gamma_{L3}$	$\Gamma_{L4}$	$\Gamma_{L5}$
Р 4060										
Ф 4800										
Е7-20										

5.4.2 Провести измерения сопротивлений резисторов, емкостей конденсаторов и индуктивностей катушек индуктивности мультиметром Ф 4800, измерителем иммитанса Е7-20. Результаты измерений записать в таблицу 5.3. При проведении измерений измерителем иммитанса Е7-20 амплитуду зондирующего сигнала установить равной 1 В, а частоту зондирующего сигнала выбирать в соответствии с измеряемой величиной для обеспечения наивысшей точности измерения. Оценить погрешность результатов измерений параметров двухполюсников.

Таблица 5.3 Результаты измерений параметров двухполюсников

Прибор	Сопротивление, Ом					Емкость, мкФ					Индуктивность, мГн				
	R1	R2	R3	R4	R5	C1	C2	C3	C4	C5	L1	L2	L3	L4	L5
Е7-20															
Ф 4800															

5.4.3 По данным таблиц 5.2 и 5.3 рассчитать добротность конденсаторов С1...С5 и катушек индуктивности L1...L5 на частотах 100 кГц и 1 МГц.

5.4.4. Произвести измерение емкостей С1...С5 с помощью измерителя иммитанса Е7-20 и мультиметра Ф 4800 методом замещения, используя в качестве образцовой меры магазин емкостей ME5040. Результаты записать в таблицу 5.4.

Таблица 5.4 Измерение емкости методом замещения

Прибор, используемый как индикатор	Измеряемая емкость, мкФ				
	C1	C2	C3	C4	C5
Е7-13					
Ф 4800					

## Практическая работа № 21.

### Тема 5.3. Измерение параметров компонентов электрических цепей.

#### Измерение параметров элементов цепей методом вольтметра и амперметра.

**Цель работы:** Закрепление знаний, методов и структурных схем приборов для измерения параметров пассивных элементов цепей (R, L, C): резисторов, конденсаторов и катушек индуктивностей. Развитие навыков измерения параметров элементов цепей с помощью вольтметра и амперметра.

**Перечень используемого оборудования** в состав лабораторной установки входят: лабораторный макет с набором элементов цепей различных типоминалов; мост постоянного тока Р4060; измеритель иммитанса Е7-20; мультиметр Ф 4800; генератор звуковой частоты ГЗ-33; вольтметр переменного тока ВЗ-38; генератор шума Г2-37; селективный микровольтметр В6-9; магазин емкостей.

#### Теоретическая часть:

**Метод вольтметра и амперметра** наиболее простой и используется для измерения активного сопротивления, основан на законе Ома и заключается в измерении тока  $I_x$  или напряжения  $U_x$ , функционально связанного с измеряемым сопротивлением  $R_x$  (рис. 5.10).

При измерении малых сопротивлений (рис. 5.10, а):

$$R_x = \frac{U_x}{I - I_V} = \frac{U_x}{I - (U_x/R_V)} \approx \frac{U_x}{I},$$

где  $I_V$  – ток через вольтметр;  $R_V$  – внутреннее сопротивление вольтметра.

При измерении больших сопротивлений (рис. 5.10, б):

$$R_x = \frac{U}{I_x} - R_A \approx \frac{U}{I_x}, \text{ где } R_A - \text{внутреннее сопротивление амперметра.}$$

#### Ход работы

Для выполнения задания ознакомиться с техническим описанием и инструкцией по эксплуатации указанных приборов. Изучить разделы технических описаний по подготовке приборов к работе и порядок проведения измерений. Включить приборы и подготовить их к работе.

1 Произвести измерение параметров элементов цепей методом вольтметра-амперметра, для чего собрать измерительную установку по схеме, показанной на рис. 5.13. В качестве образцового резистора  $R_{обр}$  использовать резистор R4 (или R5).

2 Подключая к клеммам измерительной установки поочередно конденсаторы  $C1 \dots C5$  и катушки индуктивностей  $L1 \dots L5$ , как показано на рис. 5.13, измерить напряжение  $U_1$  на выходе генератора (точка 1) и  $U_2$  – на измеряемом элементе (точка 2). Результат занести в табл. 5.5. Обратит внимание на выбор частоты напряжения  $f_r$ , при которой напряжение в точке 2 будет примерно в два раза меньше напряжения на выходе генератора.

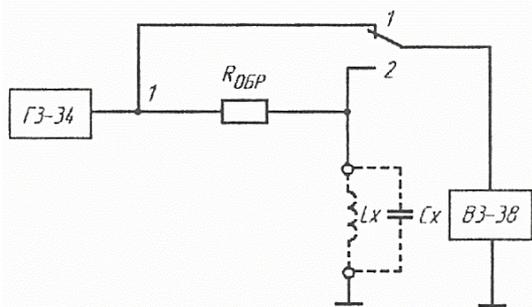


Рис. 5.13. Схема измерения емкости и индуктивности методом «вольтметра-амперметра»

Таблица 5.5 Результаты измерения параметров элементов цепей методом вольтметра-амперметра

Измеряемое напряжение	Конденсаторы				Катушки индуктивности			
	$C1$	$C2$	$C3$	$C4$	$L1$	$L2$	$L3$	$L4$
На входе делителя $U_1$ , В								
На измеряемом элементе $U_2$ , В								

3 Определить искомые значения емкостей  $C1 \dots C5$  конденсаторов и индуктивностей  $L1 \dots L5$  катушек индуктивностей из решения уравнения:

$$\frac{|Z_x|}{|Z_x + R_{OBR}|} = \frac{U_2}{U_1}, \quad (5.1)$$

где  $Z_x$  – комплексное сопротивление измеряемого элемента: для емкости  $Z_C = \frac{1}{j\omega C}$ ; для индуктивности  $Z_L = j\omega L$ .

4 Измерить параметры параллельной RC-цепи методом «вольтметра-амперметра» с использованием широкополосного шумового сигнала. Для этого собрать измерительную установку по схеме, показанной на рис. 5.14. В качестве образцового резистора использовать резистор с сопротивлением, на два порядка меньше  $R_x$ . Измеряя селективным вольтметром В6-9 в узкополосном режиме напряжение  $U_1$  на выходе генератора шума Г2-37 (положение 1), поддерживать напряжение на входе делителя величиной 100 мВ и переводя переключатель в положение 2, измерить напряжение  $U_2$  – на образцовом резисторе (точка 2) в диапазоне частот 20 Гц – 100 кГц. Результаты измерений занести в табл. 5.6.

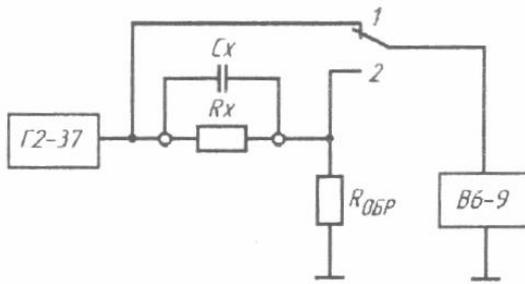


Рис. 5.14. Схема измерения параметров многоэлементных двухполюсников методом «вольтметра-амперметра»

Измеряемая величина	Частота настройки селективного вольтметра $f$ , кГц												
	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20	50	100	
Показания В6-9 на входе делителя $U_1$ , мВ													
Показания В6-9 на образцовом резисторе $U_2$ , мВ													
Модуль импеданса элемента $ Z(f) $ , Ом													

Таблица 5.6 Измерение параметров многоэлементных двухполюсников методом «вольтметра-амперметра» с использованием шумового сигнала

5. Рассчитать значение модуля импеданса исследуемого двухполюсника на каждой частоте по формуле:

$$|Z(f)| \approx \frac{U_1}{U_2} R_{\text{ОБР}}. \quad (5.2)$$

Построить график зависимости  $|Z(f)|$ . По графику определить частоту  $f_c$ , на которой модуль импеданса двухполюсника уменьшается в  $\sqrt{2}$  раз относительно начального значения  $|Z(0)|$ . Рассчитать искомые значения  $R_x$  и  $C_x$  двухполюсника, исходя из условий:

$$R_x = |Z(0)|, \quad 2\pi f_c R_x C_x = 1$$

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Описать работу мультиметра Ф 4800 при измерении: а) резисторов; б) ёмкостей; в) индуктивностей

## Литература

### Основные печатные издания

1. Лифиц, И.М. Стандартизация, метрология и подтверждение соответствия: учебник и практику для среднего профессионального образования / И.М. Лифиц. – 14-е изд., перераб. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2021. – 423 с. – (Профессиональное образование).

### Основные электронные издания

1. Ким, К. К. Средства электрических измерений и их поверка : учебное пособие для спо / К. К. Ким, Г. Н. Анисимов, А. И. Чураков. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 316 с. — ISBN 978-5-8114-6981-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/153944> .

2. Кошечая, И. П. Метрология, стандартизация, сертификация [Электронный ресурс]: учебник / И. П. Кошечая, А. А. Канке. — М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2021. — 415 с. - Режим доступа: <https://znanium.com/catalog/product/1141784>.

3. Метрология, стандартизация, сертификация [Электронный ресурс]: учебное пособие / А. И. Аристов, В. М. Приходько, И. Д. Сергеев, Д. С. Фатюхин. — М.: ИНФРА-М, 2021. — 256 с. -Режим доступа: <https://znanium.com/catalog/product/1190667>.

4. Угольников, А. В. Электрические измерения: практикум для СПО / А. В. Угольников. — Саратов: Профобразование, Ай Пи Ар Медиа, 2019. — 140 с. — ISBN 978-5-4488-0266-9, 978-5-4497-0025-4. — Текст: электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование: [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/82687>.

5. Хромоин, П. К. Электротехнические измерения [Электронный ресурс]: учебное пособие / П. К. Хромоин. — 3-е изд., испр. и доп. — М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2021. — 288 с. — Режим доступа: <https://znanium.com/catalog/product/1196452>.

6. Юрасова, Н. В. Метрология и технические измерения. Лабораторный практикум / Н. В. Юрасова, Т. В. Полякова, В. М. Кишулов. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 188 с. — ISBN 978-5-8114-9998-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/202199>

### Дополнительные источники

1. Смирнов, Ю. А. Контроль и метрологическое обеспечение средств и систем автоматизации. Основы метрологии и автоматизации : учебное пособие для спо / Ю. А. Смирнов. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 240 с. — ISBN 978-5-8114-9177-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/187784> .