

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шебзухова Татьяна Александровна

Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского

федерального университета

Дата подписания: 08.06.2023 15:32:43

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

Пятигорск 2022

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 _____ 2022г.

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 м/с^2 ; единица давления — паскаль (Па), за единицу давления принимается такое равномерно распределенное давление, при котором на 1 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.

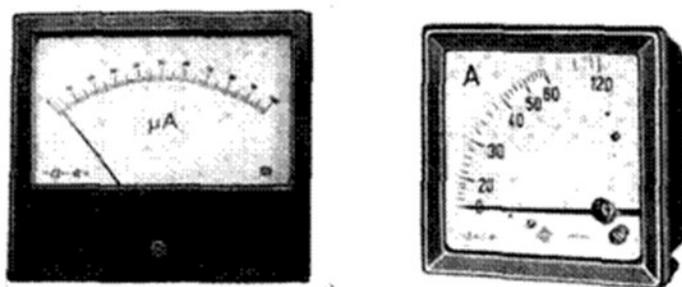


рис.1

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, соответствующее 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 α 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 α 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 значение измеряемой величины, соответствующее одному делению шкалы прибора. Цена деления прибора - C легко определяется как отношение предела измерений $A_{\text{ном}}$ к числу делений шкалы N :
$$C = A_{\text{ном}} / N.$$

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 значе-

ниям 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 β 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 Δx 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:

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

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 вершины 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 ± 1 $84,5 \pm 1$

2780 ± 14 2782 ± 14

350 ± 38 352 ± 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 ± 28 5391 ± 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 «= \Rightarrow », для измерения действующих значений переменных токов – в позицию « \sim ». 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 ϕ (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 φ 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

Характеристика электроизмерительного прибора		
Наименование прибора	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. Премахи отбрасывают.

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

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 Δx_{np} . Если при сравнении окажется, что **больше** Δx_{np} , то конечный результат записывают в виде:

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

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

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:

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

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):

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

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

Так как $\langle \Delta R \rangle$ меньше $\langle \Delta R_{\text{нп}} \rangle$, то за абсолютную погрешность измерения принимаем

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

5. Записываем конечный результат измерения сопротивления резистора:

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

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.
2. Милливольтметром на 400 В (номинальное значение шкалы) измерены напряжения в 50мВ, 200мВ, 300мВ. Определить абсолютную и относитель-

ную погрешности для каждого случая, если класс точности прибора 1,0. Дополнительно 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) белого шара $P(A) = \frac{m_A}{n} = \frac{5}{8} = 0,625$ и чёрного $P(B) = \frac{m_B}{n} = \frac{3}{8} = 0,375$

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

Практическая работа № 4.

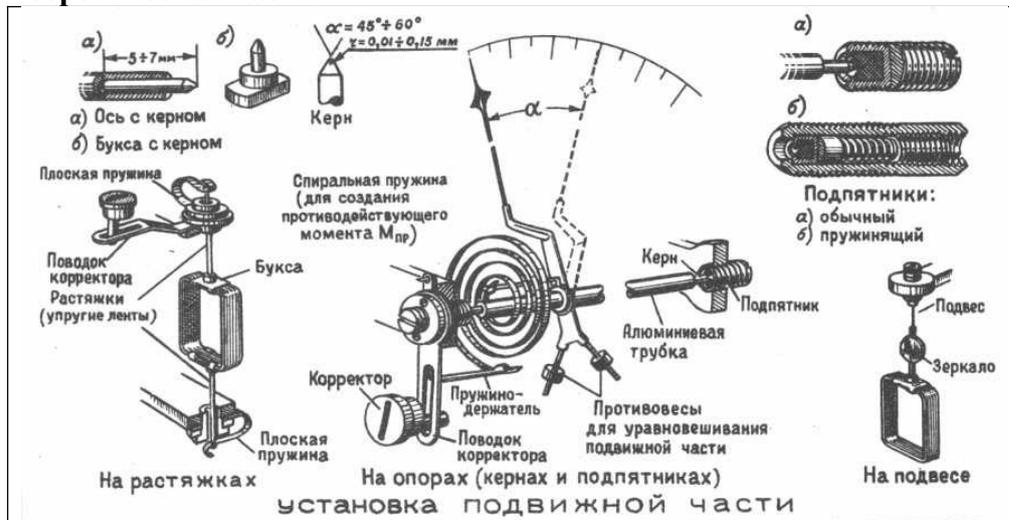
Тема 2.1. Электромеханические приборы.

Изучение узлов и деталей электроизмерительных приборов.

Цель работы: Изучение узлов и деталей электроизмерительных приборов.

Перечень используемого оборудования чертежи, макеты и таблицы электромеханических приборов

Теоретическая часть:

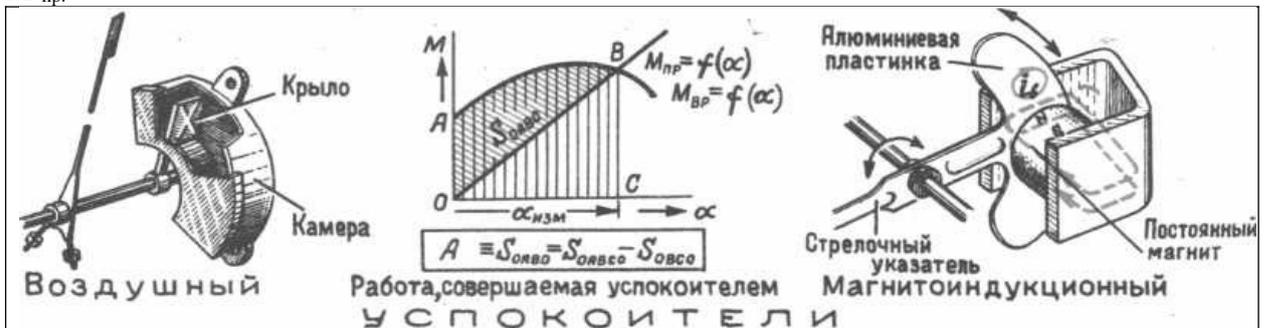


На подвижную часть измерительного прибора действуют вращающий $-M_{вр}$ и противодействующий $-M_{пр}$ моменты. $M_{вр}$ должен являться функцией измеряемой величины, а $M_{пр}$, создаваемый пружиной, растяжками или подвесом, должен быть пропорционален

только углу отклонения α ($M_{вр} = \alpha W$, где W -удельный противодействующий момент, определяемый только размерами и материалом спиральной пружины, растяжек или подвеса). При $M_{вр} = M_{пр}$, наступает установившееся отклонение α .



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



Успокоители обеспечивают быстрое достижение установившегося отклонения α , малое время успокоения - меньше 4 сек

Порядок выполнения работы.

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

Таблица 2

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

Содержание отчета

1. наименование работы и цель работы;
2. краткое описание основных деталей и узлов;
3. выводы по работе.

3. Ответить на вопросы

1. Поясните устройство подвижной части электромеханических приборов.
2. Назовите основные детали и узлы электромеханических приборов.
3. Назовите разновидности отсчетных устройств.

Практическая работа №5.

Тема 2.1. Электромеханические приборы.

Изучение измерительных приборов различных систем.

Цель работы: 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

Электроизмерительные приборы. ГОСТ 15094-89 «Приборы электронные радиоизмерительные».

Теоретическая часть:

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.

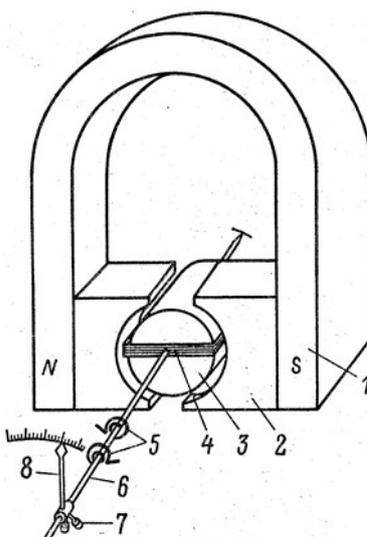
Классификация предусматривает следующие подгруппы и виды приборов:

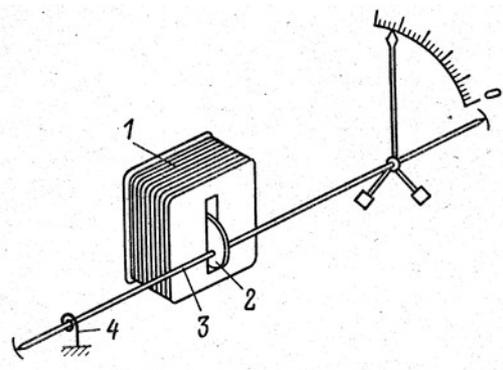
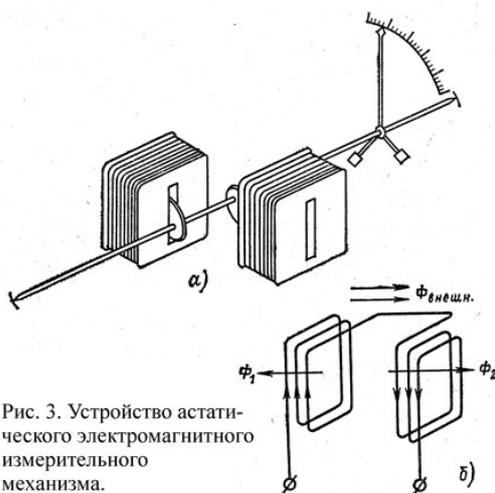
<p>Подгруппа А. Приборы для измерения силы тока. А1 - установки или приборы для поверки амперметров; А2 - амперметры постоянного тока; А3 - амперметры переменного тока; А7 - амперметры универсальные; А9 - преобразователи тока.</p>	<p>Подгруппа Б. Источники питания для измерений или измерительных приборов. 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.</p>
<p>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.</p>	<p>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.</p>
<p>Подгруппа Д. Атенаторы и приборы для измерения ослабления.</p>	<p>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;</p>

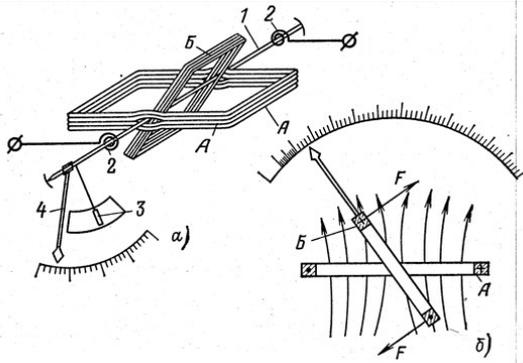
	<p>Е4 - измерители добротности; Е6 - измерители сопротивлений; Е7 - измерители параметров универсальные; Е8 - измерители емкостей; Е9 - преобразователи параметров компонентов и цепей.</p>
Подгруппа И. Приборы для импульсных измерений.	Подгруппа К. Комплексные измерительные установки
<p>Подгруппа Л. Приборы 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.</p>	Подгруппа М. Приборы для измерения мощности.
Подгруппа П. Приборы для измерения напряженности поля и радиопомех.	<p>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.</p>
<p>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 (девиаметры); С4 - анализаторы спектра; С6 - измерители нелинейных искажений; С7 - осциллографы скоростные, стробоскопические; С8 - осциллографы запоминающие; С9 - осциллографы специальные.</p>	Подгруппа У. Усилители измерительные.
<p>Подгруппа Ф. Приборы для измерения фазового сдвига и группового времени запаздывания. Ф1 - установки или приборы для проверки измерителей фазового сдвига или группового времени запаздывания;</p>	<p>Подгруппа Х. Приборы для наблюдения и исследования характеристики радиоустройств. Х1 - приборы для исследования амплитуды частотных характеристик; Х2 - приборы для исследования переход-</p>

<p>Ф2 - измерители фазового сдвига; Ф3 - фазовращатели измерительные; Ф4 - измерители группового времени запаздывания.</p>	<p>ных характеристик; 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 проверки измерителей характеристик радиоустройств.</p>
<p>Подгруппа Ч. Приборы для измерения частоты и времени. Ч1 - установки для поверки измерителей частоты, воспроизведения образцовых частот, сличения частот сигналов; Ч2 - частотометры резонансные; Ч3 - частотометры электронно-счетные; Ч4 - частотометры гетероидные, емкостные, мостовые; Ч5 - преобразователи частоты сигнала; Ч6 - синтезаторы частот; делители и умножители частоты; Ч7 - приемники сигналов эталонных частот; компараторы частотные, фазовые, временные; синхрометры; Ч9 - преобразователи частоты.</p>	<p>Подгруппа Ш. Приборы для измерения электрических и магнитных свойств материалов.</p>
<p>Подгруппа Э. Измерительные устройства коаксиальных и волновых трактов.</p>	<p>Подгруппа Я. Блоки радиоизмерительных приборов.</p>

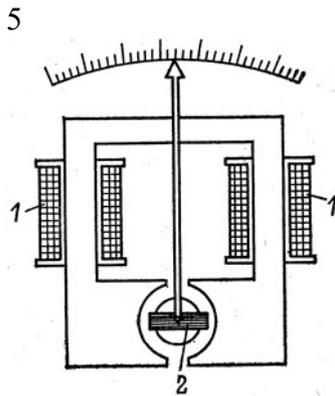
Измерительные механизмы магнитоэлектрической системы.

<p>Магнитоэлектрическая система.</p>  <p>1 Устройство магнитоэлектрического измерительного механизма с неподвижным магнитом.</p>	<p>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.</p> <p>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-</p>
---	--

	<p>здают противодействующий момент и одновременно служат для подвода тока к обмотке. На одной из полуосей закреплена указательная стрелка 8 с противовесами 7.</p>
<p>2Измерительные механизмы электромагнитной системы.</p>  <p>Устройство измерительного механизма с плоской неподвижной катушкой.</p>	<p>Существует две основные разновидности измерительных механизмов электромагнитной системы: с плоской катушкой и с круглой катушкой.</p> <p>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).</p>
<p>3Астатические измерительные механизмы.</p>  <p>Рис. 3. Устройство астатического электромагнитного измерительного механизма.</p>	<p>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 Φ_1 и Φ_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.</p>
<p>4Измерительные механизмы электродинамической и ферродинамической систем.</p>	<p>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. Магнитоиндукционные успокоители в электродинамиче-</p>

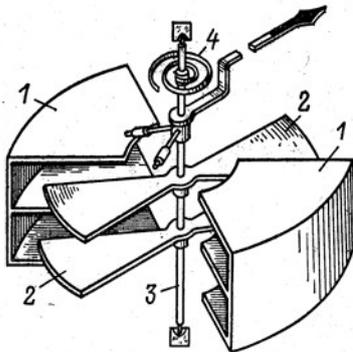


Устройство измерительного механизма электродинамической системы (а) и схема, поясняющая принцип его действия (б)



Устройство ферродинамического измерительного механизма

6. Измерительные механизмы электростатической системы



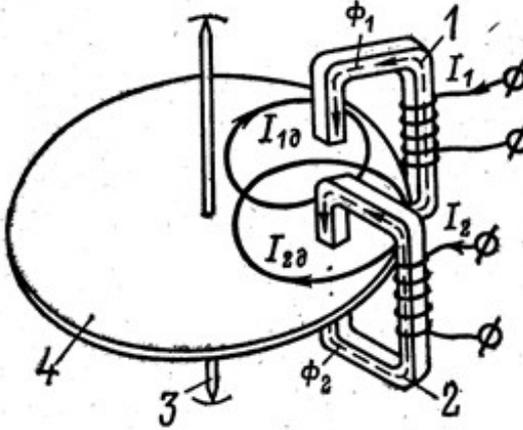
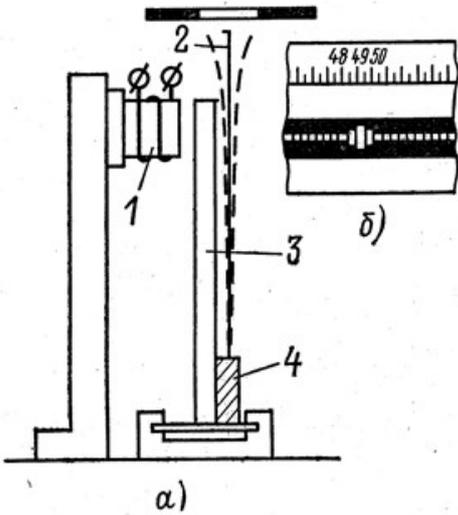
ских приборах применяются редко. Ток к подвижной катушке подводится через спиральные пружины (или растяжки), которые одновременно служат для создания противодействующего момента.

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

	<p>увеличивают количество подвижных и неподвижных пластин. Успокоители в электростатических приборах применяются магнитоиндукционные или воздушные.</p>
<p>7. Измерительные механизмы индукционной системы.</p>  <p>Устройство индукционного измерительного механизма.</p>	<p>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 ϕ. Эти токи создают два магнитных потока Φ_1 и Φ_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 Φ_1 вызывает появление тока I_{1d}, поток Φ_2 - тока I_{2d} (направления всех токов и магнитных потоков даны для определенного момента времени). В результате взаимодействия потока Φ_1 с током I_{2d} и потока Φ_2 с током I_{1d} появляются вращающие моменты. Следует отметить, что обязательным условием работы индукционного измерительного механизма является сдвиг по фазе между потоками Φ_1 и Φ_2.</p>
<p>Измерительные механизмы вибрационной системы.</p>  <p>Рис. 8. Устройство вибрационного частотомера.</p>	<p>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.</p>

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, она отличаются относительно сложной конструкцией.

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 1 и 2.

Таблица 1.

№	
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	A7-, B5-, B7-, Г5-, E6-, Л4-, P3-, C4-, Ф3-, X1-, Ч9-
10	A2-, B7-, B7-, Г6-, E8-, Л2-, P4-, C6-, Ф2-, X2-, Ч3-

Таблица 2.

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 № 6.

Тема 2.1. Электромеханические приборы.

Устройство, подготовка и принцип работы авометра.

Цель работы: изучить устройство, подготовку и принцип работы комбинированного прибора (авометра).

Перечень используемого оборудования авометр

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 $1 \text{ В} \cdot 19 = 19 \text{ В}$.

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 $750 \text{ мА} = 0,75 \text{ А}$. Отсчет выполняют по нижней шкале.

Допустим, стрелка прибора отклонилась на 27 делений. определим сила 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:

$750 \text{ мА} : 30 \cdot 27 = 675 \text{ мА}$; $300 \text{ мА} : 30 \cdot 27 = 270 \text{ мА}$;
 $30 \text{ мА} : 30 \cdot 27 = 27 \text{ мА}$; $3 \text{ мА} : 30 \cdot 27 = 2,7 \text{ мА}$;
 $0,3 \text{ мА} : 30 \cdot 27 = 0,27 \text{ мА}$.

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 «r_x»;
- 2) включить один провод в гнездо «—», а другой — в гнездо 4 с надписью x1; x10; x100; x1000 в зависимости от порядка значения измеряемого сопротивления;
- в) коротко 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 кОм = 200 Ом. Каково же на самом деле измеряемое сопротивление?

Если у гнезда 4, в которое включен провод, написано «x1», то сопротивление равно $200 \text{ Ом} \cdot 1 = 200 \text{ Ом}$. Если провод включен в гнездо «x100», значит, сопротивление равно $200 \text{ Ом} \cdot 100 = 20\,000 \text{ Ом} = 0,02 \text{ МОм}$.

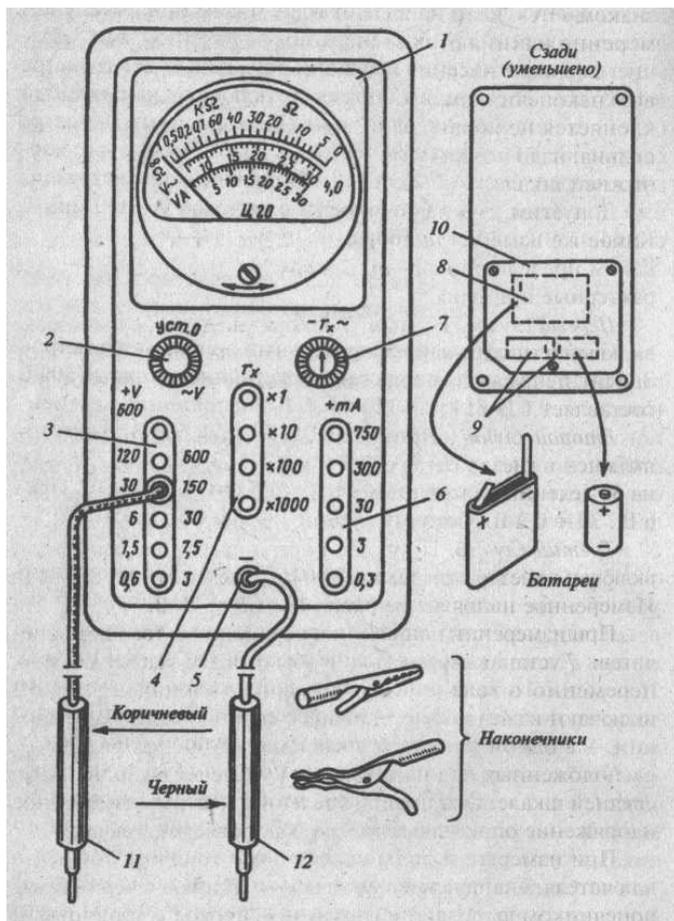


Рис. 1

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

Практическая работа № 7.

Тема 2.1. Электромеханические приборы

Измерение параметров транзистора ампервольтметром (авометром).

Цель работы: Измерение параметров транзистора ампервольтметром ТЛ-4М.

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

Теоретическая часть:

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:

Ико — обратного тока коллекторного перехода;

Изо — обратного тока эмиттерного перехода;

$I_{кн}$ — начального тока коллектора;

β — 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:

$I_{к0}$, мкА 0...100

$I_{кн}$, мкА 0...100

$I_{э0}$, мкА 0...100

β 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 ± 4

силы переменного тока синусоидальной формы частотой 50 Гц, не более ± 4

постоянного напряжения, не более ± 4

переменного напряжения синусоидальной формы в- пределах номинальной области частот, не более ± 4

омических сопротивлений от длины рабочей части

шкалы, не более $\pm 2,5$

параметров транзисторов от конечного значения

шкалы, не более $\pm 2,5$

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 кернах;

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

Отсчет показаний прибора производится при установке переключателя «вид работ» в положение «транзистор». Измерение $I_{к0}$ — рис. 2.1.

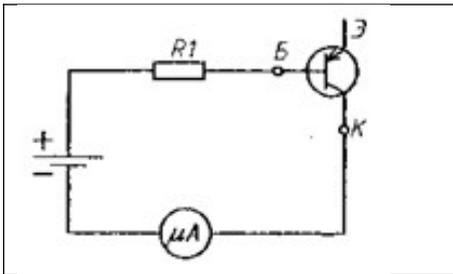


Рис. 1 Схема измерения обратного тока коллекторного перехода:
R1- резистор в приборе; Б,К- клеммы для присоединения базы и коллектора транзистора

Установить следующее положение переключателей:
«тип транзистора» — согласно типу проверяемого транзистора;
«цепь транзистора» — в положение I_k ;
«род тока» — в положение «—»;
«дисковый» — в положение « I_{co} »

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_{co} на пределе 100 мкА, Измерение I_{30} — рис. 2.

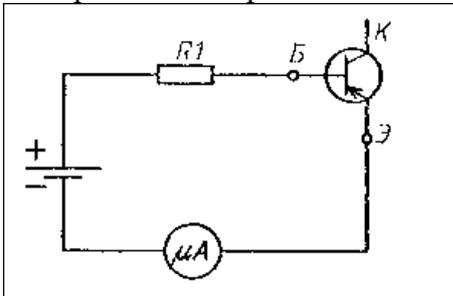


Рис. 2. Схема измерения обратного тока эмиттерного перехода транзистора

Положение переключателей то же, что и при измерении I_{co} . База транзистора присоединяется к клемме «Б», эмиттер к клемме «К». Коллекторный переход не присоединяется. Стрелка измерительного прибора показывает значение I_{eo} на пределе 100 мкА. Измерение I_{kn} — рис. 2.3.

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

Измерение *тока* — рис. 3.

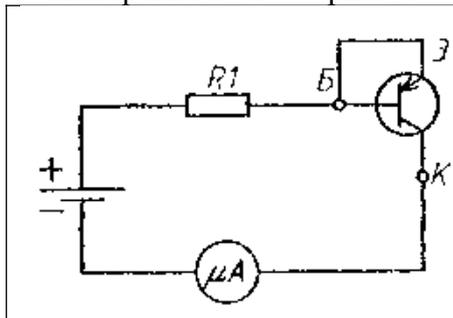


Рис. 3. Схема измерения начального тока коллектора транзистора

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

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

$$\beta = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} = \frac{\Delta I_{K2} - \Delta I_{K1}}{\Delta I_{B2} - \Delta I_{B1}}$$

где I_{K1} — ток коллектора при токе базы I_{B1} ; I_{K2} — ток коллектора при токе базы I_{B2} .

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

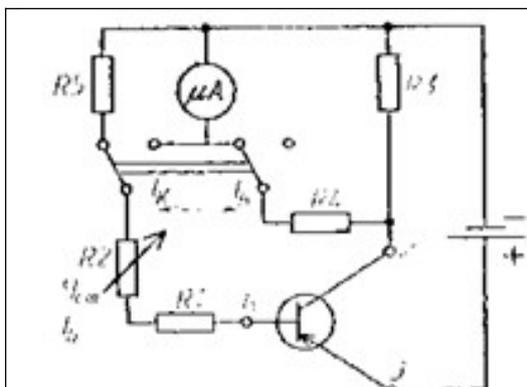


Рис. 4 Схема определения статического коэффициента усиления транзистора

Допустим, при измерении получены следующие данные $I_{B1} = 50 \text{ мкА}$, $I_{K1} = 2,6 \text{ мА}$,

$I_{B2} = 80 \text{ мкА}$, $I_{K2} = 4,4 \text{ мА}$.

$\Delta I_B = I_{B1} - I_{B2} = 80 - 50 = 30 \text{ мкА}$

$\Delta I_K = I_{K1} - I_{K2} = 4,4 - 2,6 = 1,8 \text{ мА} = 1800 \text{ мкА}$

Коэффициент усиления

$$\beta = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} = \frac{1800}{30} = 60$$

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 № 8.

Тема 2. 1. Электромеханические приборы.

Устройство, подготовка и принцип работы мегомметра.

Цель работы: Изучить устройство, подготовку и принцип работы мегомметра.

Перечень используемого оборудования мегомметр

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 $IK = 50 \dots 100 \mu\text{A}$). 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 $R_{доб}$ устанавливают в цепи такой ток, чтобы стрелка прибора $PA1$ 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.

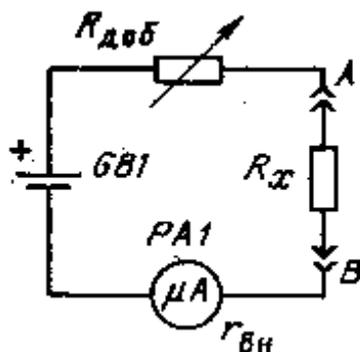


Рисунок 7.2 Схема омметра.

Если обозначить относительную величину отклонения стрелки прибора $\alpha = \frac{a}{A}$, 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 ∞ . То, что на шкале рассматриваемого омметра имеются отметки 0 и ∞ , 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 $R_{0M} = R_v R_n$

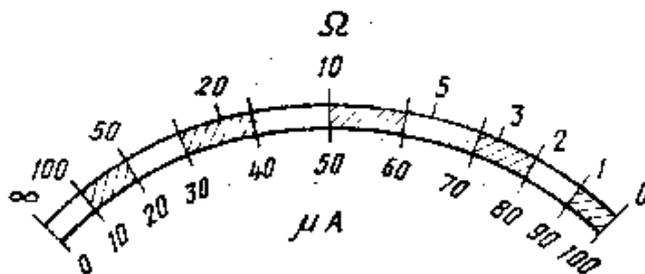


Рисунок 7.3 Шкала омметра.

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

$$U_{вых} = U \frac{R_x}{R_1}$$

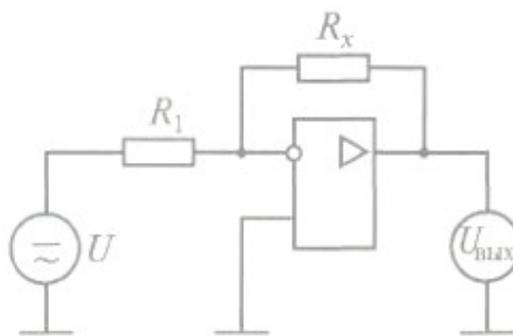


Рисунок 7.7 Схема электронного омметра

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 относят 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 $R2$ и подвижная часть магнитоэлектрической системы устанавливается в одном из своих крайних положений, отмеченном на шкале знаком ∞ (бесконечно большое сопротивление)

Если замкнуть накоротко зажимы X , ток пойдет и через вторую рамку с добавочным сопротивлением $R1$. 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 ∞ и 0.

Шкалу мегомметра градуируют на килоомы и мегомы: 1 килоом ($\text{k}\Omega$) = 1000 Ом; 1 мегом ($\text{M}\Omega$) = 1000 $\text{k}\Omega$.

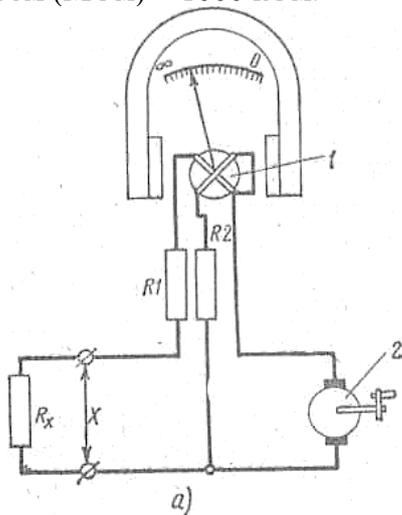


Рисунок 2 а— упрощенная электрическая схема,

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.

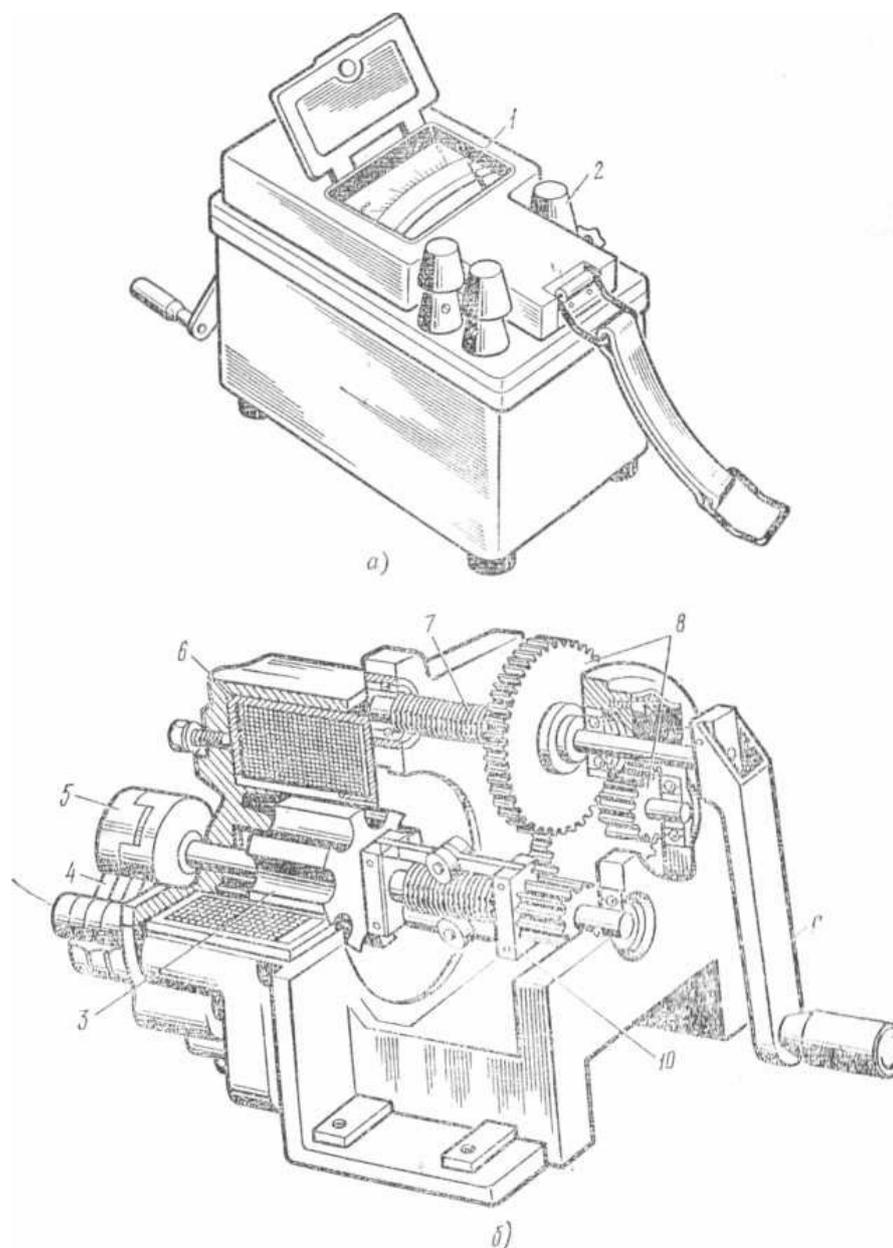


Рис. 1 Мегаомметр М1 101

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 в таблице

Технические данные мегомметров

Тип мегомметра	Напряжение на разомкнутых зажимах, В	Предел измерения
М1101/1	100+10%	1— 100 МОм 2— 200 кОм
М1101/2	500± 10%	1— 500 МОм 2— 1000 кОм
М1101/3	1000 ±10%	1— 1000 МОм 2— 1000 кОм
М1 102	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 мегомметра показано на рис. 1, б. Вращение ручки 9 по часовой стрелке передается через две пары зубчатых шестерен 8 якорю 3 генератора, представляющему собой восьмиполосный постоянный магнит. Пружина 7 служит для расцепления механизма при вращении ручки против часовой стрелки. Вокруг магнита расположена цилиндрическая многовитковая катушка б, 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 мегомметра к объекту измерения снимают напряжение 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.

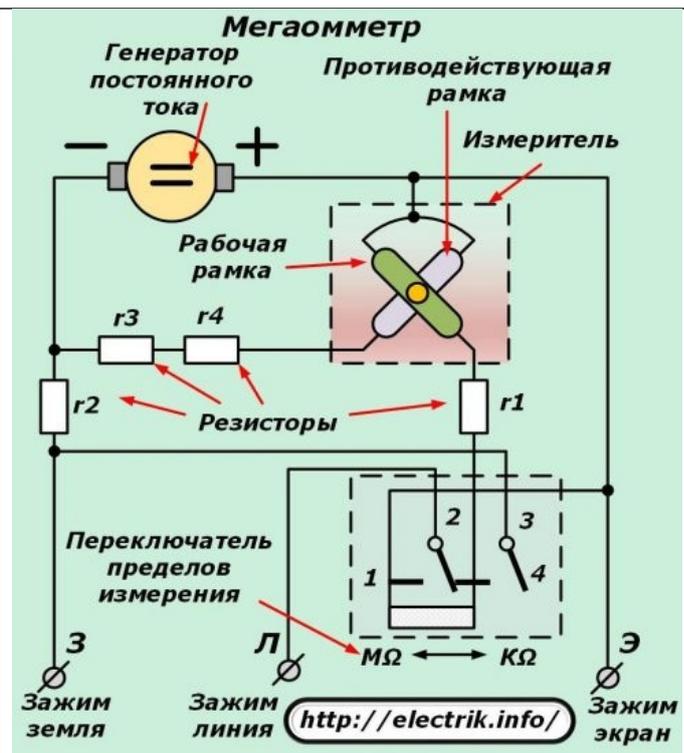
Вращая рукоятку привода с частотой 120 об/мин или с несколько большей, определяют по шкале сопротивление изоляции.

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). Мегаомметры, соответственно, также как и амперметры, — бывают аналоговыми и цифровыми.



Аналоговый прибор M1101M



Устройство мегаомметра

Аналоговый прибор M1101M

В аналоговых приборах показания отображаются стрелкой на отградуированной в мегаомах шкале. В цифровых мегаомметрах — 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 мегаомметра

Аналоговый мегаомметр 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 относятся 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 мегаомметра; устанавливают его горизонтально, присоединяют провода к зажимам и, замкнув их накоротко, вращают ручку мегаомметра. 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, одно-

го 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 напряжение 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 обмоток;
- 4) проверить состояние изоляции обмоток и цепи тока;
- 5) испытание вновь монтируемого двигателя;
- 6) проверить состояние изоляции силовых и осветительных электропроводок.

Содержание отчета

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

Практическая работа № 9.

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°С 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	$293 \pm 5\text{K}$
Относительная влажность при нормальной температуре среды	$65 \pm 15\%$
Атмосферное давление	$101 \pm 5 \text{ кПа}$
Рабочие условия эксплуатации прибора	
Температура окружающей среды	от 283 до 308К
Относительная влажность при температуре 298К	до 80%
Атмосферное давление	$96 \pm 10 \text{ кПа}$
Напряжение питания	$220\text{В} \pm 20\text{В}$ частота $50 \pm 0,5 \text{ Гц}$

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 В» (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.

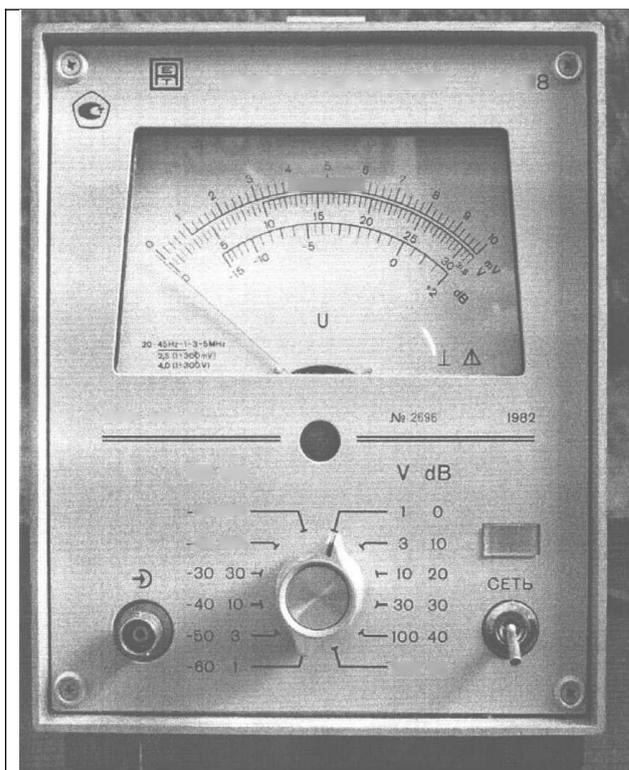


Рис.

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 В», 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.

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.

Описание функциональной схемы

На рисунке 1 представлена функциональная схема прибора.

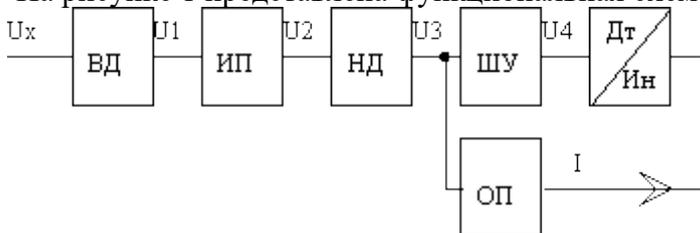


Рисунок 1 - Функциональная схема ВЗ – 38

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

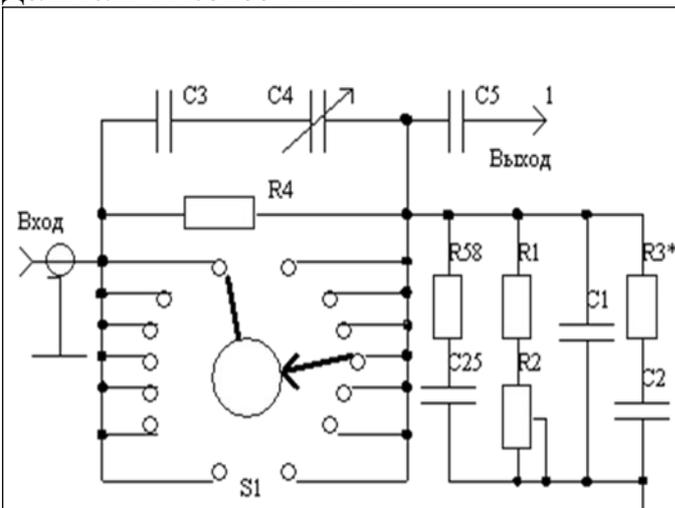


Рисунок 2 - Делитель высокоомный

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

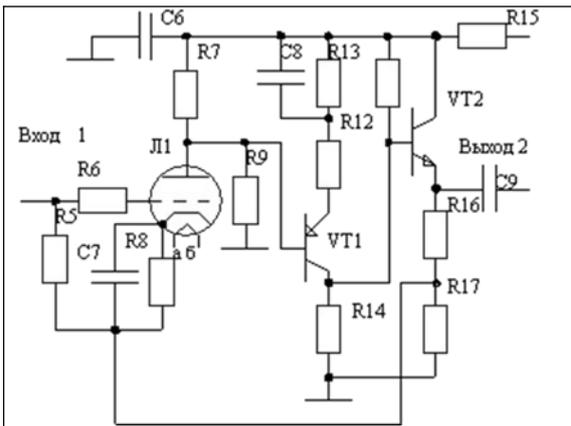


Рисунок 3 - Преобразователь импеданса

Он выполнен на лампе - нувисторе 6СБ3Н, 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.

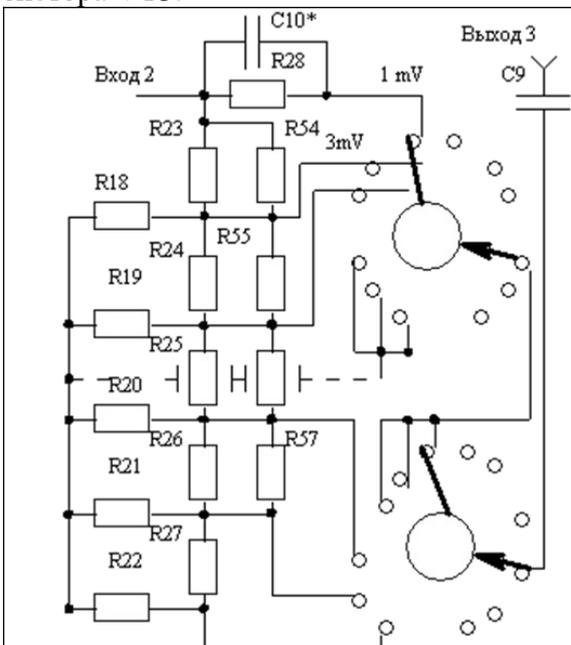


Рисунок 4 – Аттенюатор

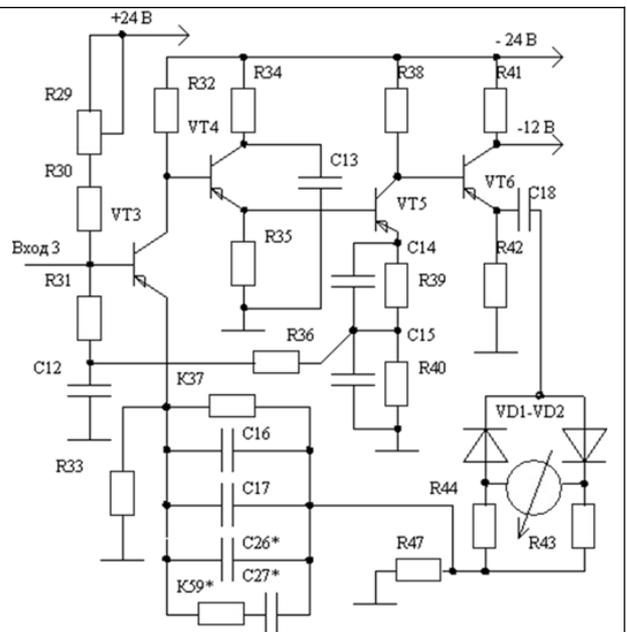


Рисунок 5 - Широкополосный усилитель

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 - схему 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 многопределного 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 № 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 γ ; %
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	$\pm \left(1 + \frac{50}{f_n} \right)$, %	$f_n = f_x$	
III (x100)	2 кГц ÷ 20 кГц	$\pm \left(1 + \frac{50}{f_n} \right)$, %	$f_n = f_x$	
IV (x10 ³)	20 кГц ÷ 200 кГц	$\pm \left(2 + \frac{50}{f_n} \right)$, %	$f_n = f_x$	

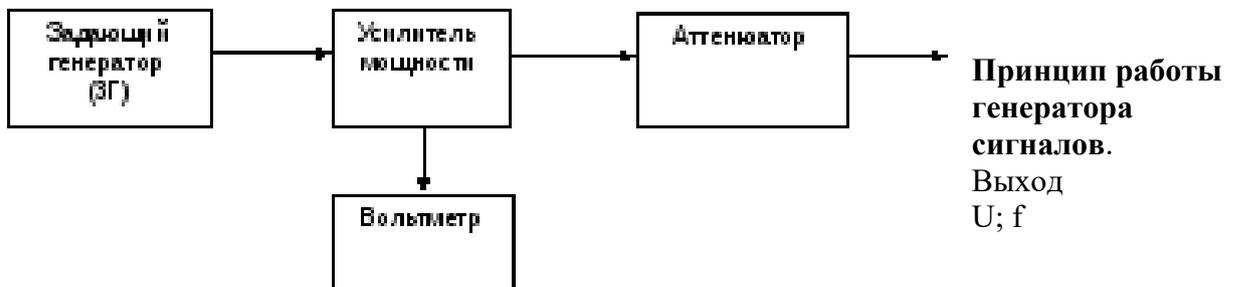


Рис. 3 Структурная схема генератора

- Задающий генератор (ЗГ) выполнен по схеме RC – генератора.
- Сигнал с ЗГ поступает на усилитель мощности, обеспечивающий на нагрузке $R_n = 50 \text{ Ом}$ максимальное напряжение $U = 15 \text{ В}$.
- 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 отчета 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 допускаемых погрешностей установки частоты и напряжения (таблица 1).

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

$$\delta = \gamma \frac{U_n}{U_x} \% , \text{ где } U_n \text{ - номинальное значение напряжения, равное конечному значению соответствующей шкалы.}$$

Пример: при установке значения напряжения $U=9\text{В}$ предельная относительная погрешность будет равна

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

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

пусть $f_x = 250 \text{ Гц}$ (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 τ_n 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: $\Delta \tau = \pm(0,1\tau + 0,03\text{мкс})$;

- 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 τ .

Минимальная скважность должна быть

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

Здесь T – период следования импульсов.

ВНИМАНИЕ!

Кнопками установить заданную полярность.

Кнопками делителя амплитуды (аттенюатора) ($\times 1$; $\times 0,3$; $\times 0,1$; $\times 0,03$) 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 аттенуатор, 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.

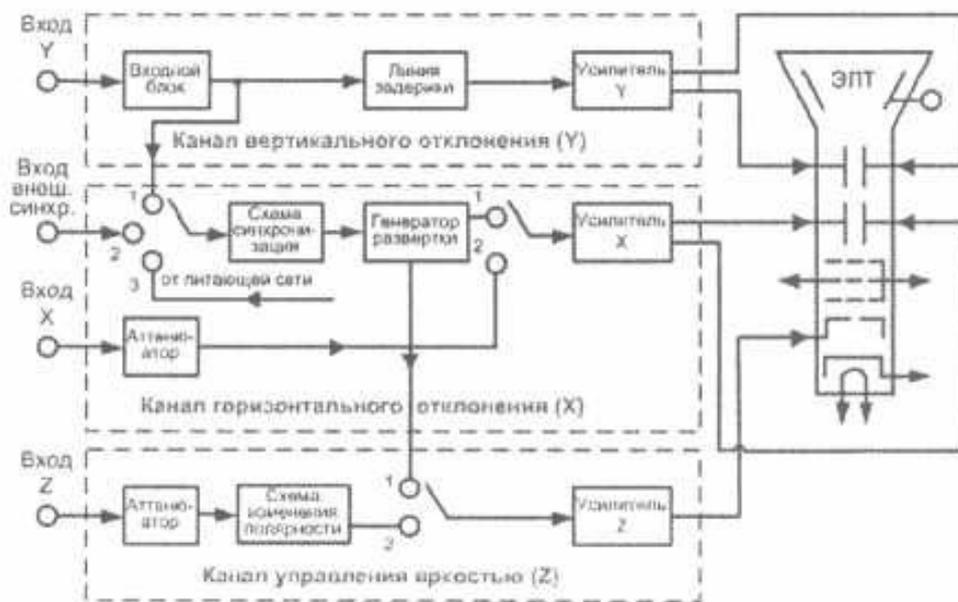


Рис. 4.1. Обобщенная структурная схема универсального ЭЛО на основе ЭЛТ

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

Для получения какой-либо другой развертки (например, синусоидальной) соответству-

ющее 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*.

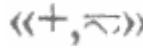
Возможна также модуляция изображения по яркости внешним сигналом, поступающим со входа Z через *аттенюатор* и *схему изменения полярности* модулирующего напряжения.

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 «»;
- 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 «» 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 «↓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. Исследование формы сигнала.

Определение амплитуды развертки осциллографа.

Цель работы: приобретение навыков по измерению амплитудных параметров сигналов с помощью ЭЛО.

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.

Теоретическая часть:

Техника осциллографических измерений

Измерение амплитуды напряжения и временных интервалов - основные процессы, выполняемые с помощью ЭЛО.

Для отсчета значений этих величин применяют:

- метод калиброванных шкал;
- компенсационный метод;
- метод сравнения.

Метод калиброванных шкал применяют для измерения параметров сигнала на прямо-

угольной шкале - масштабной сетке, имеющей равноотстоящие вертикальные и горизонтальные линии. Как правило, предусматривается регулируемая подсветка шкалы, улучшающая условия измерения. Размеры шкалы согласованы с рабочей площадью экрана ЭЛТ: коэффициенты отклонения и развертки (масштабные коэффициенты каналов Y и X) приводятся по отношению к большому делению шкалы (которое содержит 5 или 10 малых).

Процесс измерения заключается в подсчете числа делений H (по вертикали) или L (по горизонтали) шкалы, укладываемых в интересующий интервал измеряемого параметра. При этом за целое деление принимается большое деление шкалы, соответствующее клетке масштабной сетки. Перевод в значения напряжения U_{UIM} или длительности $\Gamma_{НИ}$ осуществляется умножением измеряемой величины (H или L) на масштабный коэффициент:

$$U_{изм} = Hd; t_{изм} = Lq,$$

где d, q - масштабные коэффициенты отклонения, соответственно, по вертикали и горизонтали. Числа d и q обозначают положения соответствующих переключателей амплитуды (В/ДЕЛ) и длительности развертки (ВРЕМЯ/ДЕЛ) на передней панели ЭЛО.

Для достижения минимальных погрешностей измерения необходимо стремиться к тому, чтобы изображение исследуемого сигнала занимало как можно большую часть (~80...90%) рабочей площади экрана ЭЛТ, не выходя при этом за пределы масштабной сетки. В этом случае, с помощью входного аттенюатора Y и переключателя длительности развертки необходимо как можно больше растянуть изображение исследуемого сигнала в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Компенсационный метод позволяет увеличить точность измерения и может применяться в ЭЛО, содержащих усилитель Y с двумя дифференциальными входами (прямым и инвертирующим) и генератор двойной развертки. Сущность метода состоит в компенсации измеряемой величины образцовой физической величиной. При этом изображение на экране используется как нуль-индикатор. Выигрыш в точности в этом методе достигается за счет исключения большинства погрешностей, связанных с нелинейностью отклонения и развертки, симметрическими искажениями ЭЛТ, параллаксом, дискретностью шкалы и пр.

Метод сравнения измеряемой величины с образцовой заключается в предварительном формировании на экране ЭЛТ двух светящихся (реперных) точек, расстояние между которыми может независимо регулироваться и является образцовым по вертикали для измерения напряжения, по горизонтали - для измерения длительности. Процесс измерения заключается в совмещении точек с интересующим размером изображения без использования шкалы. Считывание показаний измерения производится либо по положению органов регулирования расположения светящихся точек, либо результат измерения автоматически индицируется на предусмотренном для этих целей цифровом табло.

Метод интерференционных фигур (фигур Лисажу) осуществляется в одноканальном режиме ЭЛО. Генератор развертки ЭЛО выключается, а электронный луч (светящаяся точка) совмещается с началом координат шкалы на экране ЭЛО. Гармоническое напряжение с неизвестной (измеряемой) частотой f_x подается на один из входов: Y-вход канала вертикального отклонения или X-вход канала горизонтального отклонения. Гармоническое напряжение с регулируемой известной (образцовой) частотой f_y подается на второй вход (соответственно, X или Y). Электронный луч вычерчивает на экране ЭЛО фигуру Лисажу. Для получения неподвижного изображения фигуры регулируется частота f_y , образцового напряжения. При этом выполняется следующее условие:

$$f_x/f_0 = m/n$$

где m, n — целые числа.

Форма фигуры зависит от отношения m/n и сдвига начальных фаз φ сравниваемых напряжений (примеры форм фигуры приведены в табл. 4.1).

Таблица 4.1

Формы фигуры Лиссажу при сравнении частот

Отношение частот, m/n	Сдвиг фаз между измеряемым и образцовым сигналами, φ				
	0°	45°	90°	135°	180°
1/1					
1/2					
1/3					
2/3					

Соотношение частот f_x/f_0 определяется графическим способом. Через фигуру на экране ЭЛО (или скопированной на бумаге) проводятся горизонтальная и вертикальная прямые линии, не проходящие через точки пересечения самой фигуры (рис. 4.2).

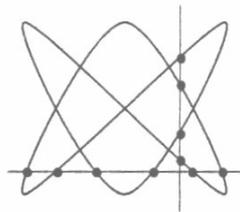


Рис. 4.2. Определение соотношения частот f_x/f_0 методом фигур Лиссажу

Число пересечений горизонтальной линии с фигурой соответствует числу n (на рис. 4.2 $n=6$), число пересечений вертикальной линии - числу m (на рис. 4.2 $m=4$). Для неподвижной фигуры справедливо соотношение:

$$f_x/f_0 = m/n$$

которое позволяет найти измеряемую частоту f_x по известной образцовой частоте f_0 .

	<p><i>Метод круговой развертки с модуляцией яркости</i> также, как и метод интерференционных фигур осуществляется в одноканальном режиме ЭЛО. При этом измеряемая частота f_x должна быть соизмерима или выше частоты f_0 образцового генератора. Напряжение частоты f_0 подается одновременно на оба входа ЭЛО (Y и X) со сдвигом по фазе $\varphi=90^\circ$ на одном из входов, достигаемым с помощью фазовращателя. Усиления обоих каналов регулируются таким образом, чтобы луч на экране ЭЛО вычерчивал окружность (круговая развертки).</p>
<p>Определение отношения частот f_x/f_0 методом круговой развёртки</p>	

Напряжение измеряемой частоты f_x подается в канал управления яркостью (на вход Z). Частота f_0 образцового генератора перестраивается до получения на экране ЭЛО неподвижного изображения, состоящего из ярких отрезков окружности с одинаковыми темными промежутками между ними (рис. 4.3).

Число ярких дуг или темных промежутков между дугами N определяет соотношение частот: $N = f_x/f_0$

Ход работы.

1. Изучить по техническому описанию работу блока синхронизации и блока развертки. Исследовать работу указанных блоков экспериментально, соединив измерительные приборы по схеме, показанной на рис. 4.4.

1.1 Органами регулировки на передней панели генератора импульсов Г5-15 установить положительную полярность импульсов, длительность импульсов - 5 мкс, а амплитуду импульсов 30 В.

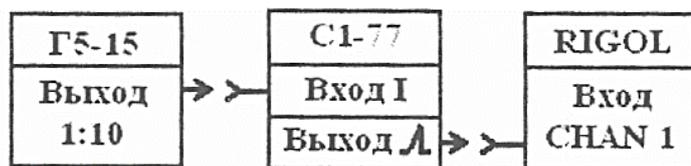


Рис. 4.4. Схема соединения приборов для изучения блока развертки

1.2. Выход «А» на боковой панели осциллографа С1-77 соединить со входом канала I (CHAN1) осциллографа RIGOL DS1052E, включенного в автоматический режим измерения. Установить частоту следования импульсов на выходе генератора Г5-15 $f_{cl} = 400$ Гц. Установить на передней панели ЭЛО С1-77 (переключатель «ВРЕМЯ/ДЕЛ») коэффициент развертки 20 мкс/дел и переключением коэффициента развертки на передней панели ЭЛО RIGOLDS1052E (переключатель «SCALE») добиться устойчивого изображения на экране осциллографа RIGOL DS1052E двух треугольных импульсов. Зарисовать картинку с экрана осциллографа RIGOL DS1052E.

1.3 Изменяя частоту следования импульсов на выходе генератора Г5-15 от 400 Гц до 2,5 кГц, измерить по шкале осциллографа RIGOL DS1052E длительность интервала времени τ между окончанием одного треугольного импульса и началом другого и записать результаты измерения в таблицу 4.2.

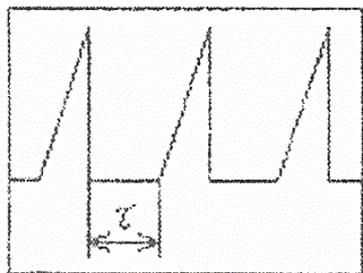


Рис. 4.5. Форма сигнала на экране RIGOL DS1052E

Таблица 4.2

Зависимость длительности τ интервала времени между импульсами развертки от частоты следования запускающих импульсов

Измеряемый параметр	Частота следования импульсов f_{cl} , Гц						
	400	600	800	1000	1500	2000	2500
τ , мс							

1.4. Построить график зависимости τ (f_{cl}) и пояснить его.

2. Изучить порядок измерения и методику оценки погрешности измерения амплитуды электрических сигналов ЭЛО С1-77 по техническому описанию осциллографа. Измерить чувствительность каналов вертикального отклонения ЭЛО С1-77 для нескольких диапазонов изменения амплитуды сигнала.

2.1. Собрать измерительную схему, показанную на рис. 4.6. Установить на генераторе Г5-15 частоту следования импульсов $f_{cl} = 1$ кГц, длительность импульсов $\tau_{имп} = 5$ мкс, переключатель «Делитель» генератора Г5-15 установить в положение «1:10».

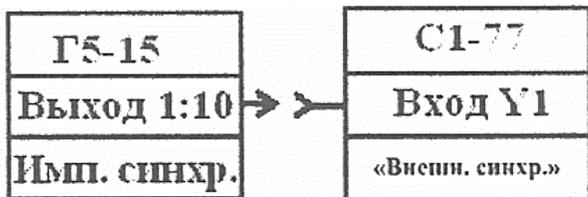


Рис. 4.6. Схема соединения приборов для измерения чувствительности каналов вертикального отклонения

2.2. С помощью органов управления на передней панели генератора Г5-15 в режиме «Измерение амплитуды» амплитуду импульсов генератора Г5-15 установить равной 100 В. При положении переключателя «Делитель» генератора Г5-15 в положении «1:10» на вход ЭЛО С1-77 будут поступать импульсы амплитудой 10 В. Зафиксировать положение переключателя «V/ДЕЛ» на передней панели ЭЛО С1-77 в положении, при котором высота изображения импульсного сигнала по вертикали на экране точно равна 6 большим делениям шкалы. Изменяя амплитуду импульсов $U_{имп}$ генератора от 100 В до 10,0 В с шагом 10 В, измерить при этом высоту импульса в мелких делениях по шкале осциллографа. Результаты измерения занести в таблицу 4.3.

2.3. Переключатель «Делитель» генератора Г5-15 установить в положение «1:100» и повторить выполнение задания по п. 4.4.5.2

Таблица 4.3

Результаты измерения высоты изображения импульса и расчета чувствительности осциллографа С1-77

Измеряемый параметр	Амплитуда импульсов на выходе генератора Г5-15 $U_{имп}$, В									
	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
h , дел										
S , [дел/В]										
$U_{имп}$, В	0,1	0,2	0,3	0,3	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
h , дел										
S , [дел/В]										

Для обоих диапазонов изменения амплитуды импульсов рассчитать чувствительность осциллографа S [дел/В] по формуле

$$S = \frac{\Delta h}{\Delta U_{имп}}$$

где $\Delta U_{имп}$ и Δh и изменение амплитуды импульса и высоты его изображения на экране соответственно; записать результаты расчета в таблицу 4.3. Построить графики зависимости чувствительности осциллографа от амплитуды импульса $S = F(\Delta U_{имп})$ для обоих диапазонов.

Практическая работа №14.

Тема 4.2. 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.

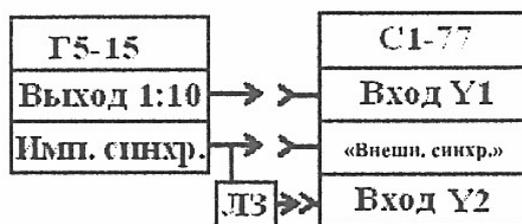


Рис 4.7. Схема соединения приборов для изучения методов измерения временных интервалов

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.

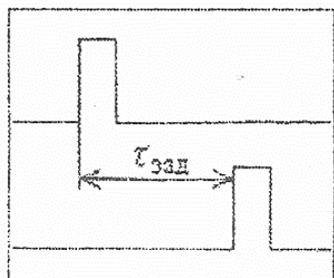


Рис. 4.8. Форма импульсов на экране С1-77 (условно)

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 $\tau_{\text{зд}}$, мкс (прямой метод)										
Время задержки $\tau_{\text{зд}}$, 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. Исследование формы сигнала.

Изучение работы цифрового частотомера.

Цель работы: изучить функциональную схему частотомера, назначение органов управления прибора. Научиться производить измерения.

Перечень используемого оборудования: генератор GAG-810, частотомер ЧЗ – 57.

Теоретическая часть:

Измерение частоты – одна из важнейших задач измерительной техники. Наличие высокочастотных эталонов определяет возможность измерения частоты с погрешностью $\pm 5 \cdot 10^{-10}$.

Параметр периодического сигнала, характеризующий наименьший интервал времени, через который повторяются его мгновенные значения, называют периодом T . Величина, обратная периоду, называется частотой: $f = 1/T$. Единицей измерения частоты является герц ($1 \text{ Гц} = 1 \text{ с}^{-1}$, т.е. единица частоты определяется принятым размером единицы времени). Применяются кратные единицы: килогерц (10^3 Гц), мегагерц (10^6 Гц), гигагерц (10^9 Гц), терагерц (10^{12} Гц).

1 Задание.

- 1.1 Изучить и знать назначение органов управления прибора ЧЗ – 57.
- 1.2 Изучить функциональную схему частотомера.
- 1.3 Измерить частоту генератора в режиме измерения частоты.
- 1.4 Измерить период генератора в режиме измерения периода.
- 1.5 Измерить отношения частот.
- 1.6 Результаты измерений занести в таблицы.

Ход работы

1. Подготовка прибора к работе.
2. Проверить заземление прибора.
3. Включить прибор тумблером «Сеть», при этом должны засветиться индикаторные лампы цифрового табло прибора.
4. Дать прибору прогреться в течении 15 минут, после чего можно приступить к измерениям.

$T_{\text{расч.}}$ (сек)	
ΔT (сек)	

Расчет производится по формуле:

$$T_{\text{расч.}} = 1/f_{\text{ген}} \text{ (сек)}$$

$$\Delta T = T_{\text{расч.}} - T_{\text{част}} \text{ (сек)}$$

Содержание отчета.

8. Название работы.
9. Цель работы.
10. Перечень используемого оборудования.
11. Задание.
12. Результаты измерений и вычислений.
13. Выводы по работе
14. Ответы на вопросы.
 1. Назначение отдельных узлов структурной схемы частотомера?
 2. Какой сигнал открывает селектор в режиме измерения частоты?
 3. Каковы достоинства цифровых частотомеров?
 4. Какой принцип положен в устройство электронно-счетного частотомера?
 5. От чего зависит погрешность цифровых частотомеров?

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 p-n 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 p-n переходе, α - некоторая постоянная. Если чисто формально предположить, что параметры p-n перехода I_0 и α 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 τ , 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 γ , 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 Δf , квадратичный или линейный детектор, фильтр низких частот, выполняющий функцию усреднения, и выходной индикатор.

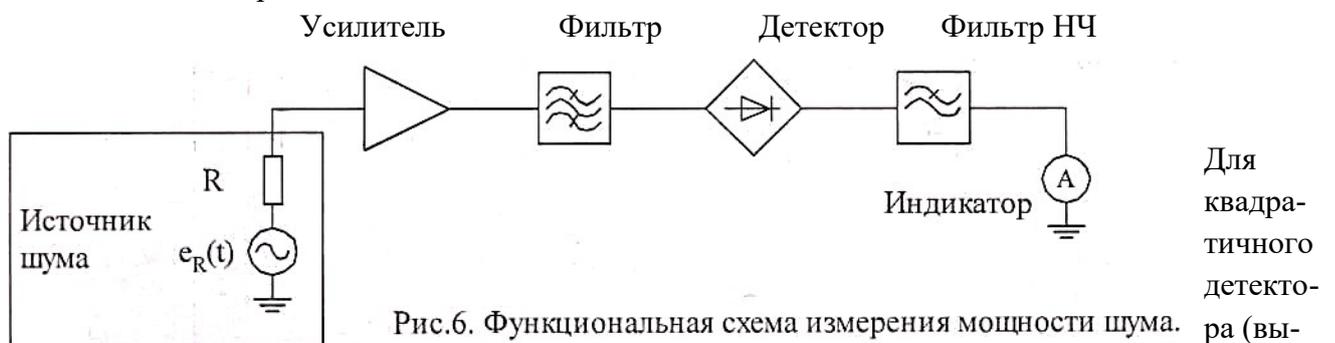


Рис.6. Функциональная схема измерения мощности шума.

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.

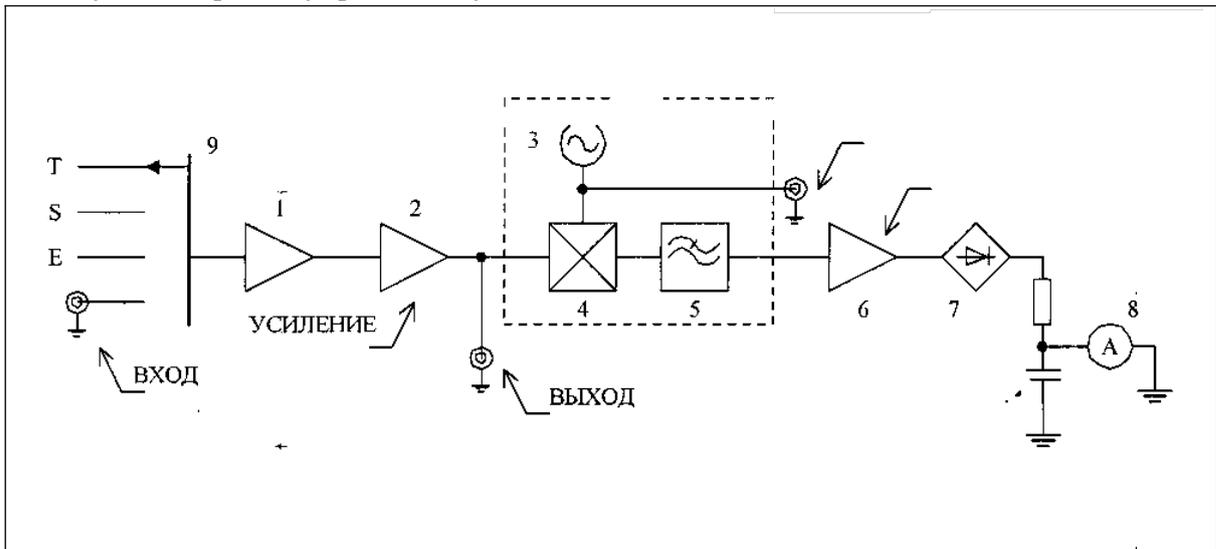
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

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 по-

лосового 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 20 Гц-25 кГц.

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 T, S, E) или внешний генератор.

Практическая работа № 17.

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.

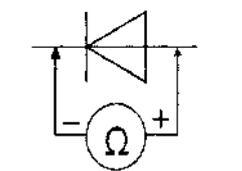
В цифровых мультиметрах в режиме испытания р-п-переходов используется ток порядка 1 мА, а на дисплее отображается падение напряжения на этом переходе в милливольтках. У исправных кремниевых диодов падение напряжения составляет около 600 мВ, у германиевых- 100-200мВ. При обратном включении исправного перехода дисплей показывает пере-полнение 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 З транзистора, а - к истоку И (для транзисторов с п-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 № 18.

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

$$D_{\text{п}} = \frac{U_{\text{макс}}}{U_{\text{мин}}} \quad (1)$$

где $U_{\text{макс}}$ и $U_{\text{мин}}$ ~ максимальное и минимальные значения измеряемого напряжения.

Если максимальное $U'_{\text{макс}}$ и минимальное $U'_{\text{мин}}$ значения измеряемого напряжения определяют с заранее установленными погрешностями, то используют понятие рабочего диапазона

$$D_{\text{р}} = \frac{U'_{\text{макс}}}{U'_{\text{мин}}} \quad (2)$$

который обычно меньше полного диапазона.

Полный и рабочий диапазоны измерений прибора обычно измеряют в децибелах, пользуясь формулами.

$$D_n = 20 \lg \frac{U_{\text{макс}}}{U_{\text{мин}}}, \text{ дБ} \quad (3,а)$$

$$D_p = 20 \lg \frac{U'_{\text{макс}}}{U'_{\text{мин}}}, \text{ дБ} \quad (3,б)$$

Погрешность измерений, является основной метрологической характеристикой прибора. Различают абсолютную, относительную и приведенную погрешности приборов.

Абсолютная погрешность Δ 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 δ определяется отношением абсолютной погрешности Δ 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 γ 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 приблизительно равна удвоенной основной погрешности.

Одной из основных характеристик приборов для измерения напряжения и тока является чувствительность. Под чувствительностью понимают отношение приращения выходной величина ΔV к соответствующему приращению измеряемого напряжения или тока

$$S = \frac{\Delta V}{\Delta U} \quad (8,а)$$

где выходная величина ΔU - 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,

$$C = S^{-1} \quad (8,6)$$

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.

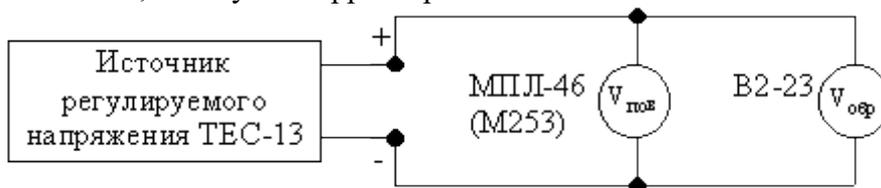


Рис.1

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 прибо-	$U_{пов}$, В	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
------------------------------	---------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----

ра																			
Показание образцового прибора	$U'_{обр}, В$																		
	$U''_{обр}, В$																		
Действительное значение напряжения	$U_{ср}, В$																		
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 $U_{ном}, дел$				
Номинальное число делений шкалы $N_{ном}, дел$				
Чувствительность $S, дел/В$				

Для цифрового вольтметра цену деления определяют как значение единицы младшего разряда на выбранном поддиапазоне. Отношение номинальное напряжение $U_{ном}$ для выбранного поддиапазона к цене деления $\Delta U_{м}=C$ характеризуется количество уровней дискретизации $N_g=U_{ном}/\Delta U_{м}$.

Величину, обратную количеству уровней дискретизации, называют разрешающей способностью цифрового вольтметра. Обычно разрешающую способность определяют с учётом возможной перегрузки вольтметра по входу $\eta=\Delta U_{м}/U_{п}$, где $U_{п}$ – напряжение перегрузки вольтметра.

Результаты определения основных характеристик цифрового вольтметра В2-23 на различных поддиапазонах измерения свести в ф.3.

Номинальное напряжение поддиапазона $U_{ном}, В$				
Напряжение перегрузки поддиапазона $U_{п}, В$				

Цена деления $\Delta U_m, В$				
Количество уровней дискретизации $N_g, \text{дел}$				
Разрешающая способность $\eta, I/\text{дел}$				

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.

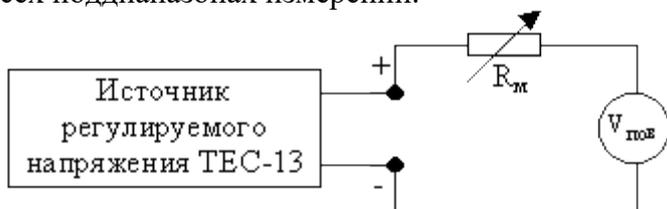


Рис2

При измерении входного сопротивления вольтметра последовательно с его входной цепью включают магазин сопротивлений R_m . 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_m до тех пор, пока показание вольтметра не уменьшится на 20...50%. Входное сопротивление вычисляют по формуле $R_{вх} = U_2 R_0 / (U_1 - U_2)$, где U_1 – измеренное напряжение при $R_m = 0$; U_2 - измеренное напряжение при $R_m = R_0$. Если установить $U_2 = 0,5 U_1$, то $R_{вх} = R_0$.

Примечание. При измерении $R_{вх}$ цифрового вольтметра В2-23 на всех диапазонах использовать сопротивление $R_0 = 100 \text{ кОм}$.

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 № 19.

Тема 5.3. Измерение параметров компонентов электрических цепей.

Исследование влияния формы измеряемого напряжения на показания вольтметра.

Цель работы: исследование влияния формы переменного напряжения на показания вольтметров.

Перечень используемого оборудования функциональный генератор SFG-2110, цифровой вольтметр В7-27, осциллограф С1-76. Функциональный генератор SFG-2110

Теоретическая часть:

Измеряемые значения переменных напряжений

Задача измерения периодических напряжений наиболее часто встречается на практике.

При этом исследуемое напряжение может быть не только гармоническим, но и более сложной формы.

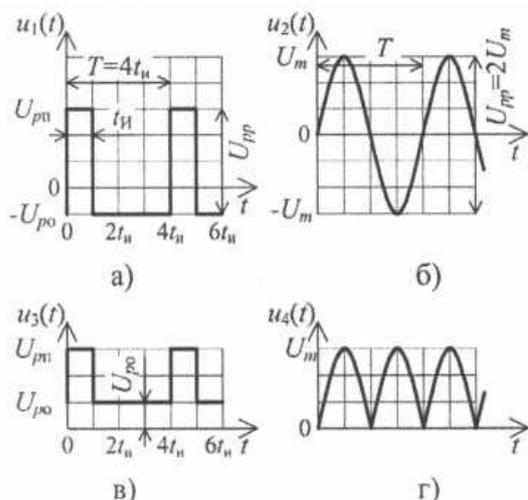


Рис. 1.1 — Временные диаграммы периодических напряжений

На рис. 1.1. показаны примеры временных диаграмм периодических напряжений. В общем случае периодическое напряжение

$$u(t) = U_0 + u_{AC} \quad (1.1)$$

можно представить в виде суммы постоянной составляющей U_0 и переменной составляющей u_{AC} . Постоянная составляющая периодического или среднее значение напряжения $u(t)$ за период T находят по формуле

$$U_0 = 1/T \int_{t_0}^{t_0+T} u(t) dt = 1/T \int_0^T u(t) dt, \quad (1.2)$$

где t_0 — некоторый начальный момент времени.

Постоянную составляющую можно выделить из периодического напряжения $u(t)$ с помощью фильтра нижних частот, у которого верхняя граничная частота полосы пропускания располагается существенно ниже частоты f периодического напряжения.

Такой ФНЧ подавляет пульсации и пропускает на выход только среднее значение напряжения. В простейшем случае в качестве ФНЧ можно применить интегрирующую RC-цепь с постоянной времени $\tau = RC$ существенно большей, чем период повторения $T = 1/f$ напряжения $u(t)$.

Переменную составляющую периодического напряжения в соответствии с (1.1) находят как $u_{AC} = u(t) - U_0$. Среднее значение переменной составляющей

$$1/T \int_{t_0}^{t_0+T} u_{var} dt = 1/T \int_{t_0}^{t_0+T} u(t) dt - U_0 = 0, \quad (1.3)$$

всегда равно нулю. Выражение (1.3) можно трактовать так, для переменной составляющей напряжения площадь фигуры, образованной осью времени и положительными значениями u_{AC} , равна площади фигуры, образованной осью времени и отрицательными значениями. В случае напряжений $u_1(t)$ и $u_2(t)$ (рис. 1.1, а, б) площадь фигуры, образованной осью времени и положительными значениями напряжений, равна площади фигуры, образованной осью времени и отрицательными значениями напряжений. Следовательно, постоянные составляющие напряжений $u_1(t)$ и $u_2(t)$ равны нулю. Переменную составляющую периодического напряжения $u(t)$ можно выделить с помощью фильтра верхних частот, нижняя граничная частота полосы пропускания которого располагается ниже частоты f периодического напряжения. В качестве ФВЧ можно применить дифференцирующую RC - цепь с постоянной времени $\tau = RC$ существенно большей, чем период повторения $T = 1/f$ напряжения $u(t)$. Переменную составляющую напряжения $u(t)$ характеризуют амплитудой, пиковым значением напряжения и размахом напряжения. Пиковым значением U_p называют наибольшее мгновенное значение напряжения $u(t)$ за период T . Если кривая напряжения $u(t)$ несимметрична, например $u_1(t)$ (рис. 1.1, а), то различают положительное U_{pn} и отрицательное U_{po} пиковые значения. Размахом переменного напряжения (от пика до пика) U_{pp} называют сумму пиковых значений, т. е. $U_{pp} = U_{pn} + U_{po}$. Частным случаем переменного напряжения является гармоническое напряжение. В качестве одного из его параметров выступает амплитуда U_m , под которой понимают наибольшее значение модуля мгновенного напряжения за период колебания (рис. 1.1, б). В случае гармонического напряжения $U_m = U_{pn} = U_{po}$, $U_{pp} = 2U_m$.

Средневыпрямленное значение (СВЗ) напряжения определяют как среднее значение модуля напряжения $u(t)$ за период колебания, т. е.

$$U_{cp} = 1/T \int_0^T |u(t)| dt, (1.4)$$

Из выражения (1.4) следует, что средневыпрямленное значение переменного напряжения u_1 всегда равно средневыпрямленному значению напряжения u_2 , если $u_2 = |u_1|$. Заметим, что средневыпрямленное значение однополярного напряжения равно модулю постоянной составляющей (среднего значения) этого напряжения.

На рисунке 1.1 (а, б) показаны временные диаграммы переменных напряжений $u_1(t)$ и $u_2(t)$, а на рисунках 1.1 (в, г) показаны графики напряжений $u_3(t) = |u_1(t)|$, $u_4(t) = |u_2(t)|$.

Средневыпрямленные значения напряжений $u_1(t)$ и $u_2(t)$ соответственно равны средневыпрямленным значениям напряжений $u_3(t)$ и $u_4(t)$. В качестве примера найдем средневыпрямленные значения напряжений $u_1(t)$ и $u_2(t)$ (рис. 1.1). Приравняв площади положительной и отрицательной частей напряжения $u_1(t)$ (рис. 1.1 а), составляем уравнение $U_{pn} t_{и} = U_{po} (T - t_{и})$, из которого следует $U_{po} = U_{pn} t_{и} / (T - t_{и}) = U_{pn} (Q - 1)$, где $Q = T / t_{и}$ — скважность импульсов. Учитывая, что $U_{pp} = U_{pn} + U_{po}$, получаем

$$U_{po} = \frac{U_{pp}}{Q}; (1.5)$$

$$U_{pn} = \frac{U_{pp}(Q-1)}{TQ} (1.6)$$

В соответствии с (1.4) находим

$$U_{CB} = 1/T \left(\int_0^{t_u} U_{pn} dt = 1/T \int_{t_u}^T U_{po} dt \right) = U_{pp} \frac{t_u(Q-1)}{TQ} + U_{pp} \frac{T+t_u}{TQ} = 2U_{pp} \frac{Q-1}{Q^2} \quad (1.7)$$

Теперь находим средневыпрямленное значение гармонического напряжения $u_2(t) = U_m \sin \omega t$ (рис. 1.1, б)

$$U_{CB} = 1/T \left(\int_0^T |U_m \sin \omega t| dt = 4U_m/T \int_0^{T/4} \sin \omega t dt \right) = 2/\pi U_m \approx 0,637 U_m. \quad (1.8)$$

Действующее или среднеквадратическое значение (СКЗ) периодического напряжения определяют как

$$U = \sqrt{1/T \int_0^T u(t)^2 dt}, \quad (1.9)$$

Поскольку значение квадрата $u(t)$ определяется только модулем $u(t)$ и не зависит от его знака, то из (1.9) следует, что действующее значение переменного напряжения U и t всегда равно действующему значению напряжения $u(t)$, если $u(t) \geq 0$.

Найдем действующее напряжение последовательности прямоугольных импульсов (рис. 1.1, а):

$$U = \sqrt{1/T \int_0^T u(t)^2 dt} = \sqrt{1/T \int_0^{t_u} (U_{pn})^2 dt + 1/T \int_0^{T-t_u} (U_{po})^2 dt},$$

С учетом выражений (1.5), (1.6) получаем

$$U = \sqrt{1/T \int_0^{t_u} \left(\frac{U_{pp}(Q-1)}{Q} \right)^2 dt + 1/T \int_0^{T-t_u} \left(\frac{U_{pp}}{Q} \right)^2 dt} = U_{pp} \frac{\sqrt{(Q-1)}}{Q}. \quad (1.10)$$

Действующее значение гармонического напряжения $u(t) = U_m \sin \omega t$ равно

$$U = \sqrt{1/T \int_0^T U_m^2 \sin^2 \omega t dt} = \sqrt{\frac{U_m^2}{2T} \int_0^T [1 - \cos 2\omega t] dt} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}. \quad (1.11)$$

Действующее значение периодического напряжения сложной формы $u(t)$, представленного в виде ряда Фурье, равно

$$U = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots} = \sqrt{U_0^2 + \sum_{i=0}^{\infty} U_i^2}, \quad i=0, 1, 2, \dots,$$

где U_i — действующее значение напряжения i -той спектральной составляющей напряжения $u(t)$. Для переменных напряжений, с нулевой постоянной составляющей, связь между пиковым, действующим и средневыпрямленным значениями устанавливают при помощи коэффициента амплитуды k_A и коэффициента формы k_Φ .

Коэффициент амплитуды переменного напряжения определяют как отношение амплитудного или пикового значения к действующему значению переменного напряжения $u(t)$. Для гармонического напряжения $k_{Ag} = U_m/U$. В случае негармонического напряжения симметричной формы

$$k_A = U_{pp}/U = U_{po}/U = \frac{U_{pp}}{2U}. \quad (1.12)$$

Коэффициент формы переменного напряжения определяют как отношение действующего значения переменного напряжения к средневыпрямленному значению:

$$k_\Phi = U/U_{CB} \quad (1.13)$$

Зная форму переменного напряжения, можно вычислить коэффициент формы и коэффициент амплитуды и по результатам измерения одного значения напряжения

рассчитать другое значение напряжения. Для гармонического напряжения, как следует из (1.8) и (1.11), коэффициент амплитуды и коэффициент формы имеют следующие значения:

$$k_{AG} = \frac{U_m}{U} = \sqrt{2} \approx 1,41; k_{\Phi G} = \frac{U}{U_{CB}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} / \frac{2U_m}{\pi} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1,11.$$

Влияние формы напряжений на показания вольтметров

При эксплуатации электронных вольтметров подгруппы ВЗ возникает задача измерения действующего, средневыпрямленного и амплитудного значений напряжения? Для решения этой задачи необходимо знать тип вольтметра (тип ИПН), а также значения коэффициента амплитуды и коэффициента формы исследуемого напряжения. Пусть на вход вольтметра, тип которого известен, поступает напряжение $u(t)$ и показание вольтметра равно U_B . В случае гармонического напряжения $u(t)$ показания вольтметра любого типа, входящего в подгруппу ВЗ, равны действующему значению, поэтому $U_B = U$. Для расчета других значений напряжения $u(t)$ необходимо учитывать тип вольтметра (тип ИПН) и коэффициент передачи $k_{МП}$ масштабного преобразователя напряжения. При любой форме входного напряжения $u(t)$, разделив U_B на $k_{МП}$, получаем:

- для вольтметра амплитудных (пиковых) значений $U_m = U_B k_{МП} = U_B k_{AG}$; — для вольтметра средневыпрямленных значений $U_{CB} = U_B k_{МП} = U_B / k_{\Phi G}$;
- для вольтметра действующих значений $U = U_B k_{МП} = U_B$.

Если форма входного напряжения $u(t)$ известна, то, используя формулы (1.4), (1.9), (1.12), (1.13), можно вычислить значения коэффициентов k_A , k_Φ для конкретной формы напряжения $u(t)$.

Если известно U_m , то $U = U_m / k_A$, $U_{CB} = U / k_\Phi$.

Если известно U_{CB} , то $U = U_{CB} k_\Phi$, $U_m = U k_A$.

Если известно U , то $U_{CB} = U / k_\Phi$, $U_m = U k_A$. Пример 1. Пусть на вход вольтметра средневыпрямленных значений (рис. 1.2) поступает переменное напряжение $u(t)$ в виде последовательности прямоугольных импульсов со скважностью $Q=4$ (рис. 1.1, а).

Показания вольтметра равны $U_B = 1,5$ В. Требуется найти средневыпрямленное значение U_{CB} , действующее значение U , размах U_{pp} и пиковые значения U_{po} , U_{pn} переменного напряжения $u(t)$.

Учитывая, что в данном вольтметре $k_{CK} = k_{\Phi G} = 1,11$, находим $U_{CB} = U_B / k_{\Phi G} = 1,351$ В.

Используя выражения (1.7), (1.10), находим коэффициент формы, равный

$$k_\Phi = U / U_{CB} = \frac{Q}{2\sqrt{Q-1}} = \frac{2}{\sqrt{3}} \approx 1,154.$$

Рассчитываем действующее значение напряжения $U = k_\Phi U_{CB} = 1,559$ В. Размах $u(t)$ находим из выражения (1.7)

$$U_{pn} = \frac{U_{CB} Q^2}{2(Q-1)} = 3,603 \text{ В.}$$

Пиковые значения находим из (1.5), (1.6)

$$U_{po} = \frac{U_{pp}}{Q} = 0,901 \text{ В; } U_{pn} = U_{pp} - U_{po} = 2,702 \text{ В.}$$

Ход работы.

Описание лабораторной установки.

В состав лабораторной установки входят функциональный генератор SFG-2110, цифровой вольтметр В7-27, осциллограф С1-76. Функциональный генератор SFG-2110 позволяет синтезировать гармоническое напряжение, пилообразное напряжение и последовательность прямоугольных импульсов [10]. Это основной режим работы SFG-2110. В дополнительном режиме работы его можно использовать в качестве цифрового частотомера. Передняя панель SFG-2110 показана на рис. 1.3.

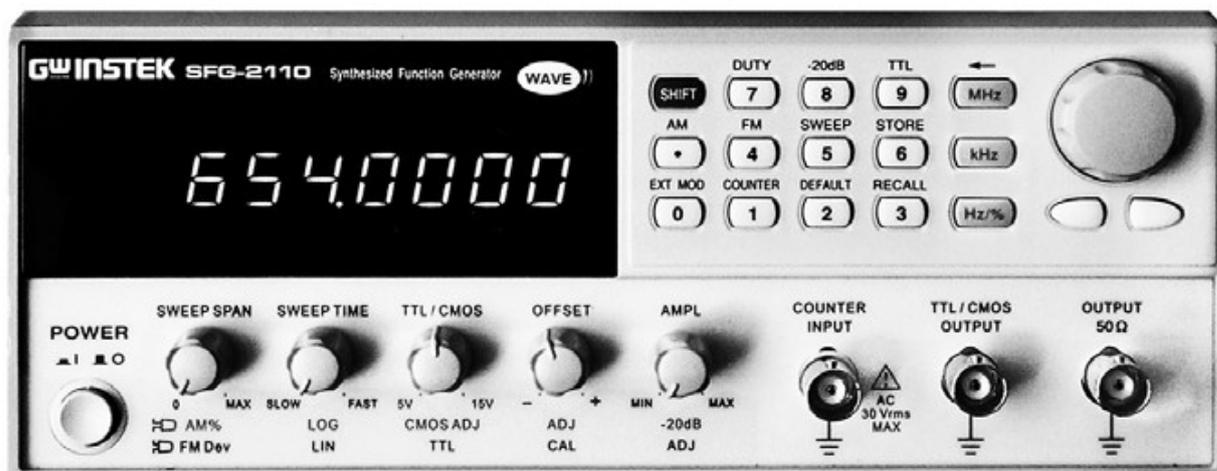


Рис. 1.3 — Передняя панель генератора SFG-2110

На ней расположены: дисплей, клавиатура, разъемы, органы регулировки параметров выходного напряжения.

Дисплей предназначен для индикации параметров выходного напряжения генератора.

С помощью клавиатуры задают цифровые параметры выходного напряжения генератора.

Она работает в двух режимах. Основным является режим набора цифр, которые нанесены на клавиши. При нажатии кнопки «SHIFT» клавиатура переходит в дополнительный режим работы. В этом режиме функциональное назначение клавиш соответствует надписям, расположенным над клавишами. Повторное нажатие кнопки «SHIFT» возвращает клавиатуру в основной режим работы.

Генератор SFG-2110 имеет два выходных разъема и один входной. Основным является выходной разъем генератора, обозначенный «OUTPUT 50 Ω». С него снимают напряжение гармонической, пилообразной или прямоугольной формы. Разъем «TTL/CMOS OUTPUT» вспомогательный, с него снимают напряжение для управления TTL или CMOS (КМОП) микросхемами. Входной разъем «COUNTERINPUT» используют для подачи внешнего переменного напряжения при работе генератора в режиме цифрового частотомера.

Органы регулировки параметров выходного напряжения генератора расположены ниже дисплея. Функциональное назначение каждого из органов регулировки пояснено соответствующей надписью.

Включают генератор кнопкой «POWER», расположенной в левом нижнем углу передней панели.

Изменение формы выходного напряжения производят нажатием кнопки «WAVE».

Установленная форма выходного напряжения индицируется на дисплее генератора соответствующим знаком: — гармоническая форма; — пилообразная форма; — прямоугольная форма.

Генератор SFG-2110 позволяет изменять скважность Q импульсов прямоугольной формы. Ее устанавливают, задавая в процентах значение коэффициента заполнения $D = 1/Q$, которое может находиться в пределах от 20 % ($Q = 5$) до 80 % ($Q = 1,25$).

Выходное напряжение снимают с разъема «OUTPUT 50 Ω ». Максимальный размах выходного напряжения генератора 10 вольт. Плавную регулировку выходного напряжения производят ручкой «AMPL». Выходное напряжение можно дополнительно ослабить на 20 дБ (уменьшить в 10 раз) посредством последовательного нажатия кнопок «SHIFT», «8».

Частоту переменного напряжения задают с помощью цифровой клавиатуры. Для выходного напряжения гармонической или прямоугольной формы частоту можно устанавливать в диапазоне от 0,1 Гц до 10 МГц. В случае треугольной формы выходного напряжения частоту можно устанавливать от 0,1 Гц до 1 МГц.

Вольтметр В7-27 является вольтметром средневыпрямленных значений переменных напряжений с закрытым входом, отградуированным в действующих значениях гармонического напряжения. Следовательно, для получения средневыпрямленного значения UCB исследуемого переменного напряжения необходимо показания вольтметра разделить на коэффициент формы гармонического напряжения КФГ.

Осциллограф С1-76 является универсальным прибором для наблюдения формы исследуемого напряжения. Калиброванная чувствительность по оси Y и скорость развертки изображения по оси X позволяют оценить числовые значения ряда параметров наблюдаемого сигнала. Рис. 1.3 — Передняя панель генератора SFG-2110 8

Измерение напряжения симметричной формы

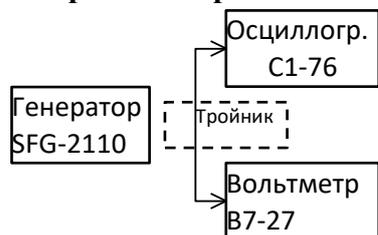


Рис. 1.4 — Схема измерительной установки

1.3.2.1. Соберите измерительную установку в соответствии со схемой, показанной на рис. 1.4.

1.3.2.2. Установите переключатель чувствительности осциллографа С1-76 на отметку «1 В/дел».

1.3.2.3. Включите приборы измерительной установки и дайте прогреться в течение 15 минут.

1.3.2.4. Установите частоту генератора SFG-2110 равной $f = n_M$ кГц, где n_M — число текущего месяца. Для этого наберите на клавиатуре генератора цифровое значение частоты и введите единицу измерения нажатием кнопки «kHz». Так, для установки частоты 17 кГц необходимо нажать кнопки: «1», «7», «kHz».

1.3.2.5. Установите гармоническую форму выходного напряжения, нажимая кнопку «WAVE» до появления на дисплее генератора знака «».

1.3.2.6. Контролируя напряжение по шкале вольтметра В7-27, установите ручкой генератора «AMPL» выходное напряжение генератора $U_{В1}$ равным N вольт, где N номер бригады студентов, выполняющей лабораторную работу. Значение напряжения $U_{В1}$ занесите в соответствующую графу таблицы 1.1. Таблица 1.1 — Результаты измерения переменного напряжения симметричной формы *

Форма напряжения	U_{pp}^* , В	U_B , В	K_A	K_Φ	U_{CB} , В	U_B	U_{pp} , В
Гармоническая							
Пилообразная							
Прямоугольная							

1.3.2.7. Добейтесь устойчивого изображения гармонического напряжения на экране осциллографа.

1.3.2.8. Зарисуйте осциллограмму и оцените размах U_{pp} гармонического напряжения.

1.3.2.9. Установите пилообразную форму выходного напряжения, нажимая кнопку «WAVE» до появления на дисплее генератора знака «».

1.3.2.10. Сравните полученную осциллограмму с осциллограммой гармонического напряжения. Убедитесь, что размах напряжения пилообразной формы равен размаху гармонического напряжения.

1.3.2.11. Зарисуйте осциллограмму выходного напряжения генератора. 1.3.2.12. Показание вольтметра U_{B2} , соответствующее пилообразной форме выходного напряжения генератора, занесите в таблицу 1.1.

1.3.2.13. Установите прямоугольную форму выходного напряжения нажимая кнопку «WAVE» до появления на дисплее генератора знака «».

1.3.2.14. Установите скважность последовательности импульсов прямоугольной формы равной 2, что соответствует относительной длительности импульса DUTY равной 50%. Для этого нажмите последовательно кнопки «SHIFT», «DUTY», «5», «0», «Hz/%».

1.3.2.15. По изображению на экране осциллографа, убедитесь, что размах напряжения прямоугольной формы равен размаху гармонического напряжения.

1.3.2.16. Зарисуйте осциллограмму выходного напряжения генератора. 1.3.2.17. Показание вольтметра U_{B3} занесите в соответствующую графу таблицы 1.1. 1.3.2.18. Для выходных напряжений генератора рассчитайте в соответствии с формулами (1.4), (1.9), (1.12), (1.13) значения коэффициента формы и коэффициента амплитуды и занесите их в таблицу 1.1.

1.3.2.19. Используя показания вольтметра U_{B1} , U_{B2} , U_{B3} , рассчитайте средневыпрямленное значение U_{CB} , действующее значение U и размах U_{pp} для гармонической, пилообразной и прямоугольной форм выходного напряжения генератора. Полученные значения напряжений занесите в таблицу 1.1. Учтите, что В7-27 является вольтметром средневыпрямленных значений переменного напряжения.

1.3.3. Измерение напряжения несимметричной формы 1.3.3.1. Не изменяя установленных ранее значений частоты и уровня выходного напряжения нажатием кнопки «WAVE» переключите генератор в режим генерирования последовательности прямоугольных импульсов. 1.3.3.2. Установите коэффициент заполнения последовательности прямоугольных импульсов $D_1 = 100 Q = () 15 + 5N$ %, где N номер бригады студентов, выполняющей лабораторную работу. Например, для установки $D = 25$ % необходимо последовательно нажать кнопки «SHIFT», «DUTY», «2», «5», «Hz/%». 1.3.3.3. Значение $D = D_1$ занесите в таблицу 1.2.

1.3.3.4. Зарисуйте осциллограмму выходного напряжения генератора.

1.3.3.5. Показание вольтметра U_B занесите в таблицу 1.2.

Таблица 1.2. — Результаты измерения переменного напряжения несимметричной формы

$D, \%$	U_B, B	U_{CB}, B	U, B	U_{pp}, B	U_{po}, B	U_{pp}, B

1.3.3.6. Установите коэффициент заполнения последовательности прямоугольных импульсов $D_2 = (100 - D_1) \%$.

1.3.3.7. Значение $D = D_2$ занесите в таблицу 1.2.

1.3.3.8. Зарисуйте осциллограмму выходного напряжения генератора.

1.3.3.9. Показание вольтметра U_B занесите в таблицу 1.2.

1.3.3.10. Для двух значений коэффициента заполнения D рассчитайте значения напряжений $U_{CB}, U, U_{pp}, U_{po}$ и занесите полученные результаты в таблицу 1.2.

1.4. Содержание отчета

Отчет о лабораторной работе должен содержать:

- цель работы;
- расчет коэффициентов формы и амплитуды исследованных напряжений симметричной формы;
- рисунки осциллограмм исследованных напряжений;
- расчетные формулы и таблицы результатов;
- выводы по результатам работы.

1.5. Контрольные вопросы

1. Какими значениями характеризуются переменные и постоянные напряжения?
2. Дайте определение среднего значения напряжения $u(t)$
3. Вольтметром какого типа можно измерить среднее значение переменного напряжения?
4. В каком случае среднее значение периодического переменного напряжения равно нулю?
5. Дайте определение размаха напряжения $u(t)$.
6. Дайте определение средневыпрямленного значения напряжения $u(t)$.
7. В каком случае среднее и средневыпрямленное значения напряжений совпадают?
8. Дайте определение действующего значения напряжения $u(t)$
9. Дайте определение коэффициента амплитуды.
10. Дайте определение коэффициента формы.
11. Можно ли найти средневыпрямленное значение напряжения по результатам измерения напряжения пиковым вольтметром?
12. Можно ли найти действующее значение напряжения по результатам измерения напряжения пиковым вольтметром?
13. Можно ли найти действующее значение напряжения по результатам измерения напряжения вольтметром средневыпрямленных значений?
14. В каких значениях напряжения отградуированы шкалы вольтметров переменного напряжения?

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 C 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 Ф, 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 К. В открытом состоянии ключа К 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.

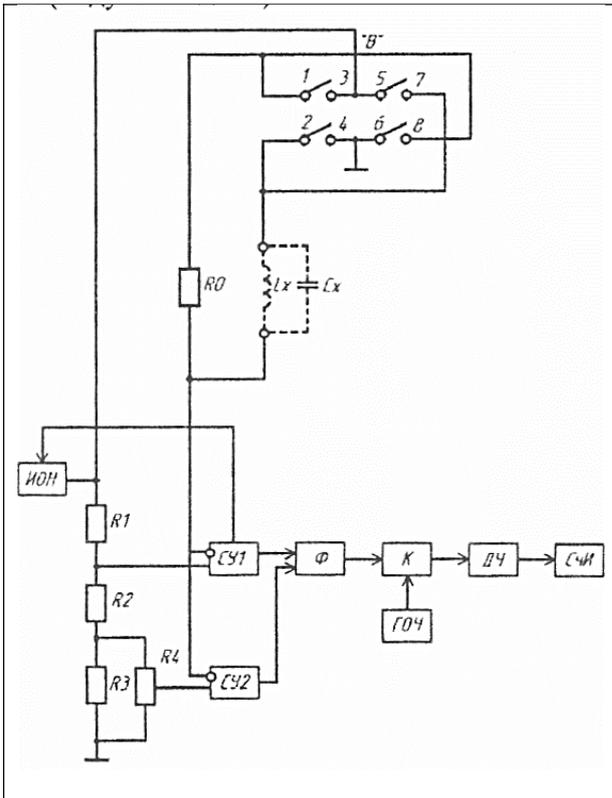


Рис. 5.6. Функциональная схема измерения емкости и индуктивности мультиметром Ф 4800

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.

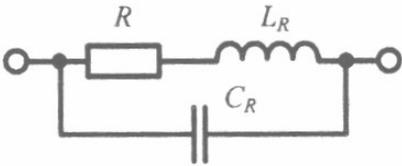


Рис. 5.7. Полная эквивалентная схема резистора

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.

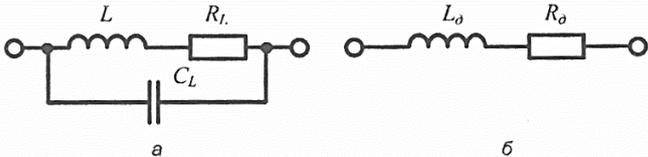


Рис. 5.8. Эквивалентная схема катушки индуктивности: а - полная; б - на низких частотах

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).

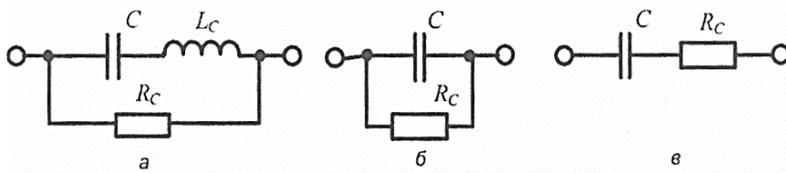


Рис. 5.9. Эквивалентная схема конденсатора: а – полная; б, в – на низких частотах
Для измерения активного сопротивления резистора, емкости конденсатора и индуктивности катушки применяют следующие методы:

- 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.

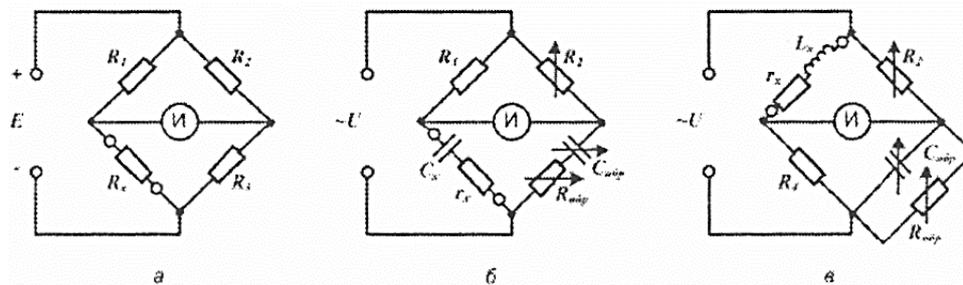


Рис. 5.11. Мостовые схемы: а – постоянного тока (для измерения активных сопротивлений); б, в – переменного тока (для измерения емкостей (б) и индуктивностей (в))

Мосты переменного тока (на рис. 5.11, б, в приведены некоторые схемы) используют для измерения емкости C_x и тангенса угла потерь $tg\delta_C$ конденсаторов (рис. 5.11, б), а также индуктивности L_x катушек и их добротности Q_L (рис. 5.11, в).

Когда мосты полностью сбалансированы:

$C_x = C_{обр} (R_2/R_1)$	$r_x = R_{обр} (R_1/R_2)$	$tg\delta_C = 1/\omega C_{обр} R_{обр}$
$L_x = C_{обр} R_2 \cdot R_4$	$r_x = R_2 R_4 / R_{обр}$	$Q_L = \omega C_{обр} R_{обр}$

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 прибо-

ров. 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 μ A» от величины разбаланса моста, то есть от величины сопротивления, установленного в регулируемом плече моста на отсчетном устройстве пятидекадного переключателя «Ротс». 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 μ A) от разбаланса моста

Измеряемый параметр		Ток индикатора баланса моста Р4060 I, μ A								
		-10,0	-6,0	-4,0	-2,0	0	2,0	4,0	6,0	10,0
R_1	Ротс., Ом									
...	Ротс., Ом									
R_5	Ротс., Ом									

По результатам измерений построить графики зависимостей показаний индикатора от величины разбаланса моста $I_{\mu A} = \psi(R_{омс})$ 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									
	Γ_{C1}	Γ_{C2}	Γ_{C3}	Γ_{C4}	Γ_{C5}	Γ_{L1}	Γ_{L2}	Γ_{L3}	Γ_{L4}	Γ_{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 $C_1 \dots C_5$ и катушек индуктивности $L_1 \dots L_5$ на частотах 100 кГц и 1 МГц.

5.4.4. Произвести измерение емкостей $C_1 \dots C_5$ 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...C5 и катушки индуктивностей L1...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_z , при которой напряжение в точке 2 будет примерно в два раза меньше напряжения на выходе генератора.

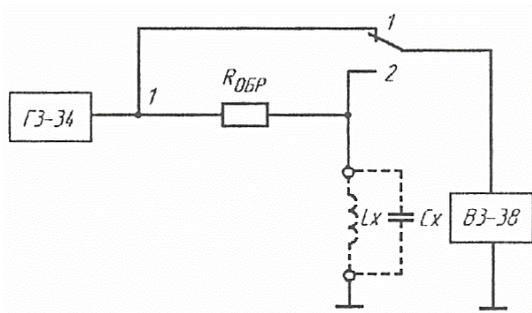


Рис. 5.13. Схема измерения емкости и индуктивности методом «вольтметра-амперметра»

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 $C1...C5$ конденсаторов и индуктивностей $L1...L5$ катушек индуктивностей из решения уравнения:

$$\frac{|Z_x|}{|Z_x + R_{ОБР}|} = \frac{U_2}{U_1}, \quad (5.1)$$

где Z_x – комплексное сопротивление измеряемого элемента: для емкости $Z_C = \frac{1}{jC}$; 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.

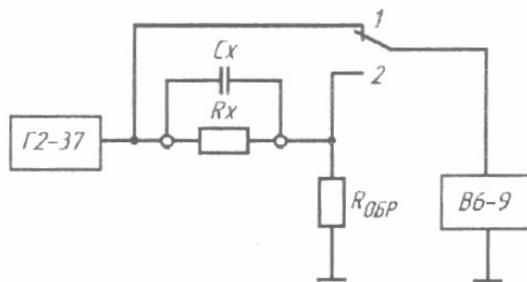


Рис. 5.14. Схема измерения параметров многоэлементных двухполюсников методом «вольтметра-амперметра»

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:

$$|Z(f)| \approx \frac{U_1}{U_2} R_{OBR}. \quad (5.2)$$

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:

$$R_x = |Z(0)|, \quad 2f_c R_x C_x = 1$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Описать работу мультиметра Ф 4800 при измерении: а) резисторов; б) ёмкостей; в) индуктивностей