

Лекция 7 Контрольно-измерительные приборы

Контрольно-измерительные приборы предназначены для получения информации от измеряемой среды. На базе полученных данных человек или АСУ понимает состояние и изменение характеристик предмета измерений

Контрольно-измерительные приборы можно (и нужно) классифицировать по Назначению в применении:

рабочие - используются для практических измерений;
образцовые - служат для поверки и градуировки рабочих приборов;
контрольные - для проверки рабочих приборов по месту;

Функциональному признаку:

показывающие – значение измеряемого параметра отображается прямо на КИП;
самопишущие – КИП имеет возможность записи измеряемых величин;
сигнализирующие – приборы имеют возможность сигнализировать об отклонении измеряемого параметра;
регулирующие – имеют возможность автоматического поддержания измеряемой величины;

По виду измеряемой величины:

1. Измерение давления (разряжения) (P)
2. Измерение концентрации (жидкости или газа) (Q)
3. Контроль температуры (T)
4. Измерение уровня (L)
5. Расходомеры, предназначены для измерения количества вещества (G)
6. КИП, определяющий положение, либо механический контакт с веществом. (S)

По исполнению:

1. Бытовые. Используются исключительно для домашних целей, в быту
2. Общепромышленные. Применяются в ЖКХ, промышленности. 50% от всего рынка КИП
3. Специальные. Используются в опасных зонах, в зонах с повышенным содержанием опасных веществ.
4. Морские.

По типу выходного сигнала:

1. Аналоговый. Выходная величина может быть в виде сопротивления, напряжения или тока.
2. Дискретный. Прибор «выдает» релейный сигнал 1/0 о измеряемом продукте. Также имеются безконтактные типы приборов.
3. Интерфейс. Протокол Modbus, HART, либо специально разработанный производителем.

По типу подключения:

1. Двухпроводная схема. Используются 2 провода.
2. Трехпроводная. 3 провода (2 питания и сигнал).
3. Четырехпроводная. Питание и выход разнесены.
4. Подключение через клеммы.
5. Кабель подключается через разъем.
6. Контакт осуществляется пайкой.

По метрологическим характеристикам – классу точности, величине основной и дополнительной погрешности.

Приняты следующие классы точности:

1. приборы высокой точности - 0,01; 0,015; 0,02; 0,025; 0,04; 0,05; 0,06
2. приборы средней точности - 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6
3. приборы низкой точности - 1; 1,5; 2; 2,5; 4; 5; 6

По подключаемому питанию: постоянный, переменный ток, величина U (В). Часто используется низкое напряжение питания (24 В), поскольку это безопасно для самого КИП и человека, также PLC в большинстве случаев используют этот стандарт питания

Далее, каждый из описанных КИП можно разбить на подгруппы, поскольку под каждую задачу существует конкретное исполнение прибора. Например,

Датчик температуры общепромышленного исполнения может иметь и релейный выход и выходной сигнал в виде тока.

ДАТЧИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ

Слово датчик (от английского «sensor») обозначает измерительный элемент, преобразующий измеряемую величину в удобный для пользователя сигнал. Обычно под сенсором мы понимаем прибор, который измеряет свойства среды, и передает в виде электрического сигнала в систему управления.

Датчики температуры постоянно используются в системах управления, диспетчеризации, HVAC как устройство, определяющее температуру среды. Для датчика температуры характерен физический контакт с измеряемой средой. Все датчики температуры классифицируются по:

Типу первичного преобразователя

1. Термоспротивление (термоэлектрические) . При изменении температуры, меняется электрическое сопротивление ПП.
2. Термопара (термоэлектрические) . Особый сплав, который при разных значениях температуры меняет «разность потенциалов»
3. Полупроводниковые. Датчики работают на принципе изменения характеристик р-п перехода под воздействием температуры.
4. Акустические.
5. Тепловизоры.
6. Пьезоэлектрические.

По способу монтажа:

1. Наружные. Как пример, комнатный датчик температуры, установленный на стену.
2. Погружные. Чувствительный элемент (возможно с первичным преобразователем) затоплены.
3. Накладные. Накладные датчики используются когда нет возможности установить прибор с непосредственным контактом со средой.

Дополнительно:

1. Длина погружной части. Может быть несколько см, до 2-3 метров
2. Исполнение IP. Может быть 54, 66.
3. Типу резьбы, диаметру, типу сальниковых вводов, и прочее. Метрическая или трубная резьба (G).

Для правильного подбора датчиков температуры, Вам потребуется много информации, и специальные знания. Поскольку каждый прибор подбирается индивидуально под конкретную задачу. В большинстве случаев, датчик температуры не имеет «стандартного» исполнения, а подбирается под заказ. Подбор прибора мы рекомендуем осуществлять с помощью специалистов.

ДАТЧИКИ ДАВЛЕНИЯ

Измерение давления является одной из важных задач в автоматизации технологических процессов. Давление контролируется с целью поддержания заданных величин в АСУ ТП, а также с целью безопасности. Эти приборы востребованы в энергетике, ЖКХ, нефтяной и пищевой промышленности, а также газовых отраслях. Характерной особенностью датчиков давления является то, что они не имеют прямой контакт со средой. Для отделения от измеряемой среды применяется мембрана.

Датчик давления - прибор, физические параметры которого изменяются в зависимости от изменения давления измеряемой среды.

Теперь, определим термин «давление». На самом деле, давление бывает:

1. Абсолютное. Давление, отсчитываемое от абсолютного нуля Абсолютный нуль давления означает полное отсутствие сжимающих напряжений.
2. Атмосферное. Давление в открытом сосуде или в водоеме
3. Избыточное. Разность между абсолютным и атмосферным. Может иметь положительный знак (манометрическое) и отрицательный знак (ваккуум).
4. Различают также дифференциальное давление. Это разность двух измеряемых величин одним прибором.

Далее, все датчики давления можно классифицировать по:

1. Исполнению. Бытовой, общепромышленный, специальный и т.д.
2. Типу выходного сигнала. Ток, напряжение или протокол
3. Способу подключения к измеряемой среде. Фланец или штуцер.
4. Климатическому исполнению, наличию индикации и т.п.

При подборе датчика давления в системах автоматического регулирования необходимо учитывать класс точности прибора. Для специальных задач (например на НПЗ) требуется высокий класс точности, для обычных задач высокая точность не нужна. На предприятиях часто применяются КИП взрывозащищенного исполнения, когда прибор установлен в опасной зоне, и электрический импульс может привести к воспламенению (взрыву),

Приняты следующие исполнения оборудования по типу взрывозащиты:

- d – взрывонепроницаемая оболочка;
- e – повышенная безопасность;
- ia – искробезопасная электрическая цепь (Zone 0 – взрывоопасная атмосфера);
- ib – искробезопасная электрическая цепь (Zone 1 – взрывоопасная атмосфера, например, в случаях аварий);
- h – герметическая изоляция;
- m – герметизация;
- o – отсутствие искрообразования;
- p – метод повышенного давления;
- q – заполнение порошком;
- s – спецзащита.

ТИПЫ УНИФИЦИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ

При автоматизации технологических процессов, возможно использование большого количества числа КИП. В случае, если контрольно-измерительные приборы имели бы свой «уникальный» выходной сигнал, затруднило бы эксплуатацию, диагностику неисправностей. Кроме этого, выбор вторичных приборов, либо PLC был бы невозможен из-за большого семейства выходных сигналов. В промышленности были приняты стандарты, которые позволили «унифицировать» КИП и А по типу выходных сигналов:

1. Аналоговые. Используются КИП, которые непрерывно измеряют состояние среды. Особенностью аналоговых КИП является их постоянная передача информации в виде электрического сигнала
2. Дискретные. Могут быть реле, либо бесконтактными приборами-сигнализаторами. Работают по принципу 1/0
3. Интерфейсные.
Аналоговые сигналы могут быть
А) Токовые. Стандарт: 0..5мА, 4..20мА, 0..20мА, -20мА...0мА
Б) Напряжение. Стандарт 0..10В

Как правило, производители используют 2 типа унифицированных аналоговых сигнала: 4..20мА, и 0..10В. Однако, можно встретить приборы с другими выходными величинами.

Дискретные сигналы можно классифицировать по напряжению (постоянное или переменное), а также по силе тока (А), которое прибор может через себя пропустить.

Интерфейсы. В промышленности наиболее широкое распространение получил протокол передачи HART. Этот открытый стандартный гибридный протокол, который по двунаправленной

связи предусматривает передачу информации поверх унифицированного сигнала 4...20 мА. Также, имеют место различные промышленных протоколы Foundation Fieldbus, ModBus, Profibus. Кроме этого, производителя могут создать свой собственный протокол обмена данными.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРИБОРЫ

Виды измерений делятся на *прямые* и *косвенные*.

Прямые – величина A находится, из опытных данных.

Косвенные – величина A находится по известной зависимости. К косвенным можно отнести определение резонансной частоты по результатам прямых измерений емкости и индуктивности.

По **способу преобразования и форме результата** измерения **приборы** делятся на **аналоговые** и **цифровые**.

Показания аналоговых приборов представляются в непрерывной форме, **цифровых приборов** – в цифровой форме.

Приборы делятся на измерители тока (амперметры), напряжения (вольтметры), сопротивления (омметры) и т.д.

Аналоговые электроизмерительные приборы прямого преобразования

В **аналоговых приборах** электрическая энергия измеряемого параметра преобразуется в механическую, а подвижная часть прибора поворачивается на некоторый угол.

Электроизмерительные приборы **прямого преобразования** подразделяются на **электромагнитные, магнитоэлектрические, электродинамические, электростатические, выпрямительные, индукционные** и др. Рассмотрим их устройство, принцип действия и область применения.

Электромагнитные приборы

Принцип действия основан на преобразовании измеряемой величины в угол поворота стрелки с помощью механического момента $M_{вр}$ (рис.3.44).

Подвижная часть прибора включает ось 1, на которой смонтированы: сердечник из ферромагнитного материала 6 и неподвижная катушка с током 7; спиральная пружина 9 для противодействующего момента; стрелочный указатель 3.

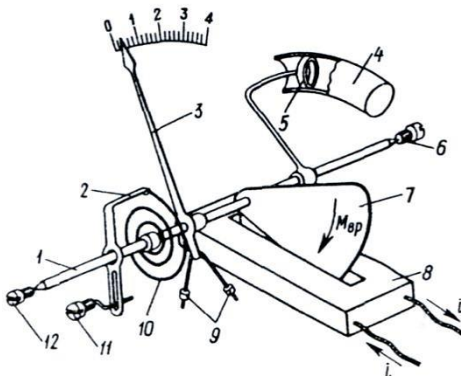


Рис.3.44. Устройство прибора электромагнитной системы Эти приборы применяются в цепях переменного тока с частотой до 10 кГц. По принципу действия электромагнитный прибор является измерителем тока (амперметр) и напряжения. Катушка 7 амперметра состоит из небольшого числа витков толстого медного провода. У вольтметра катушка 7 с большим числом витков тонкого медного провода. Для ограничения тока последовательно с катушкой включают добавочный резистор.

Прибор применяется для измерения постоянного и действующего значения переменного тока.

Магнитоэлектрические приборы

Вращающий момент в этих приборах создается при *взаимодействии тока* в витках *подвижной катушки* и *магнитного поля* постоянного магнита. Обмотка подвижной катушки (медный или алюминиевый провод) намотана на алюминиевую рамку, которая со стрелочным указателем крепится на двух полуосях. Ток к обмотке катушки подводится через две спиральные пружинки.

Магнитоэлектрический прибор является *измерителем тока*. Изменение его направления в подвижной катушке изменяет и направление отклонения. Поэтому приборы пригодны для измерений *постоянных токов и напряжений*.

Магнитоэлектрические гальванометры предназначены для измерения очень малых токов (10^{-7} – 10^{-12} А).

Электродинамические приборы

В этих приборах вращающий момент зависит от взаимодействия двух катушек с токами. Измерительный механизм состоит из подвижной и неподвижной катушек. *Используются в основном как ваттметры*.

Электродинамические приборы могут быть использованы в качестве вольтметров и амперметров при последовательном или параллельном соединении катушек.

Приборы этой системы *наиболее точные*. Их конструкция сложна и относительно дорогая.

Электростатические приборы

Между двумя *неподвижными электродами* 1 (рис.3.45) помещается *подвижный электрод* 2, укрепленный на оси 3.

Между электродами возникает электрическое поле. Под его действием электрод 2 занимает положение, соответствующее максимальной энергии.

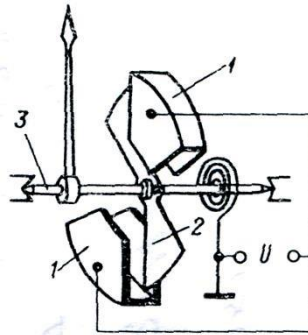


Рис.3.45. Устройство прибора электростатической системы

Электростатические приборы измеряют *переменное напряжение*. При напряжениях 10...30 В и ниже вращающий момент весьма мал, поэтому чувствительность прибора невелика. *Вольтметры* выпускают для измерения напряжений от 30 до нескольких сотен тысяч вольт в широком диапазоне частот.

Выпрямительные приборы

Представляют собой сочетание полупроводникового выпрямителя (мостовая схема) и механизма магнитоэлектрической системы.

С помощью диодов *VD1-VD4* мостовой схемы (лекция 17) переменный ток преобразуется в пульсирующий, среднее значение которого $I_{ср}$ измеряется магнитоэлектрическим измерителем *И*, установленном в диагонали моста вместо сопротивления нагрузки R_H .

Градуируются приборы в *действующих значениях переменного тока*. Широко применяются в виде универсальных ампервольтметров («тестеров»). Рабочий диапазон частот 50-10⁴ Гц.

Индукционные приборы

Устройство (рис.3.46) прибора состоит из двух разомкнутых магнитопроводов 1 и 7 с обмотками 2 и 8. В зазоре помещен алюминиевый диск 6 на оси 4. Токи в обмотках 2, 8 образуют *бегущее магнитное поле*, которое непрерывно вращает диск.

Постоянный магнит 5, охватывающий диск 6, создаёт в нём противодействующий момент, пропорциональный скорости вращения диска.

Ось прибора 4 через червячную передачу 3 отсчитывает число оборотов диска.

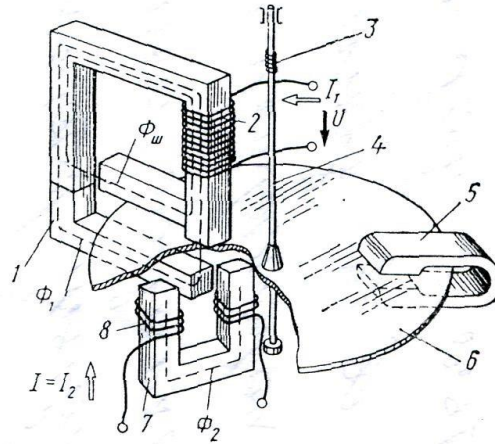


Рис.3.46. Устройство индукционного измерительного механизма

Индукционные приборы применяют в качестве *счетчиков электрической энергии*. При измерении активной *энергии* счетчик включается как **ваттметр**.

Измерение электрических величин

Измерение в цепях постоянного тока

Применяют *магнитоэлектрические, электродинамические, электромагнитные, электростатические приборы*. Наибольшую точность дают **магнитоэлектрические** приборы, используемые в качестве амперметра или вольтметра. *Амперметр А*, включенный последовательно с нагрузкой R_n , должен иметь небольшое внутреннее сопротивление.

Мощность в цепях постоянного тока – произведение одновременно измеренных тока и напряжения. **Энергия в цепях постоянного тока** – счетчиками *электродинамической системы*. Схема его включения аналогична схеме ваттметра.

Измерение сопротивления методом амперметра-вольтметра.

Осуществляется по формуле $R_x = U_v / I_A$. Этот метод отличается невысокой точностью.

Измерение сопротивления омметром. Непосредственно и быстро сопротивление R_x можно измерить омметром (сочетание магнитоэлектрического измерителя, добавочного резистора и источника питания).

Измерение малых сопротивлений осуществляют *измерительными мостами*.

Измерение в цепях переменного тока

Для измерения синусоидального тока используют **электромагнитные амперметры**, а для более точных измерений – **электродинамические амперметры**.

При *больших токах* амперметры включают через *измерительные трансформаторы тока*. Для *малых токов* – выпрямительные мили- и микроамперметры.

Напряжение – электромагнитными и выпрямительными вольтметрами. Для более точных измерений применяют **электродинамические, электростатические и выпрямительные вольтметры**. Синусоидальные напряжения выше 600 В измеряют электромагнитными вольтметрами через измерительные трансформаторы напряжения.

Измерение активной мощности в однофазной цепи переменного тока осуществляют **электродинамическим ваттметром**.

Измерение мощности и энергии в трехфазных цепях переменного тока осуществляют с помощью **электродинамических и ферродинамических ваттметров** (схемы включений см. лекцию 9).

Цифровые измерительные приборы

Аналоговая величина преобразуется в дискретную в виде кода (слова), а результат выдается в цифровой форме.

Преимущества: высокая точность, широкий диапазон измеряемых величин, возможность получения информации в цифровой форме, передача ее на расстояние и обработка на ЭВМ.

Цифровые приборы выполняются на интегральных схемах.

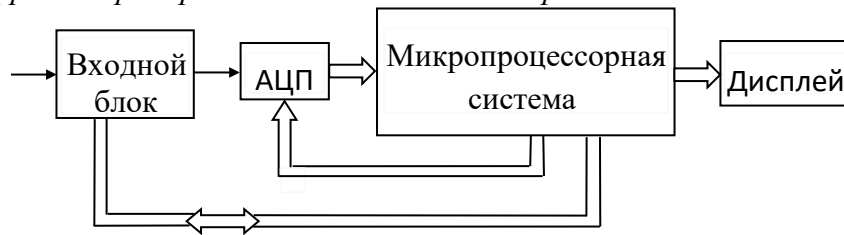


Рис.3.47. Структурная схема цифрового вольтметра

Структурная схема микропроцессорного цифрового вольтметра (рис.3.47), включает входной блок ВБ, аналого-цифровой преобразователь (АЦП), микропроцессорную систему МП и дисплей.

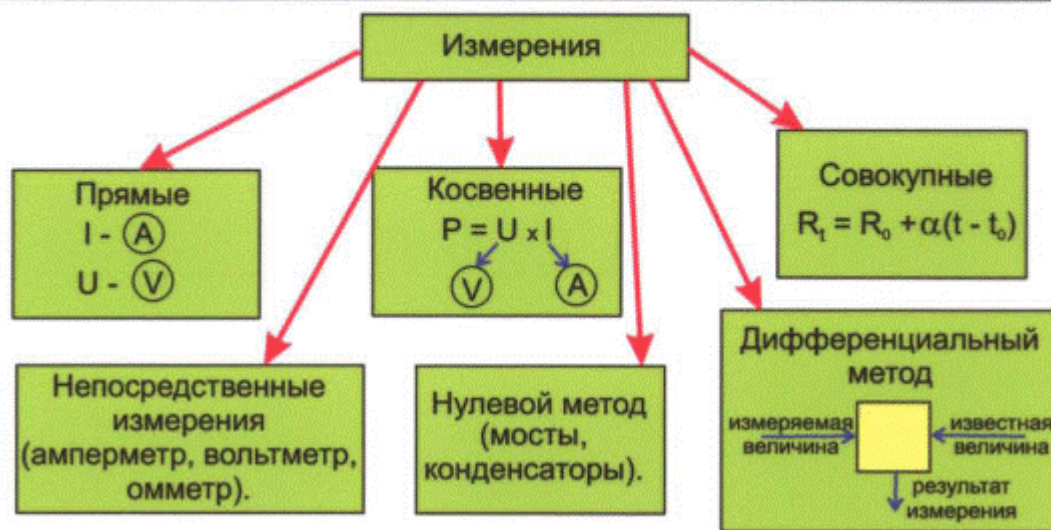
Входной блок содержит аналоговые преобразователи. У цифрового вольтметра – **аналого-цифровой преобразователь (АЦП)**.

Наиболее распространена классификация АЦП, признаком которой служит *характер приближения цифрового кода и квантования уровня к преобразуемому аналоговому сигналу*. В соответствии с этой процедурой АЦП делят на *последовательные, параллельные и последовательно-параллельные*.

Микропроцессорная система обеспечивает управление процессом измерения, обработку сигналов, самодиагностику, а также выдачу результата измерения на *дисплей* в цифровом виде.

Электрические измерения

Измерение - нахождение значения физической величины опытным путем с помощью мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей, измерительных систем.



Электрические измерения. Класс точности приборов. Погрешности при измерениях.

Процесс измерения состоит в сравнении измеряемой величины с её значением, принятым за единицу.

В системе измерений (СИ) приняты четыре основные единицы измерения:

- 1) Единица длины – МЕТР [м];
- 2) Единица времени – СЕКУНДА [с];
- 3) Единица массы – КИЛОГРАММ [кг];
- 4) Единица силы тока – АМПЕР - [А];

Существуют эталоны этих единиц измерений.

метр (м) — длина, равная 16507763,73 длины волн в вакууме излучения атома криптона-86, соответствующего переходу между уровнями $2p_{10}$ и $5d_5$;

килограмм (кг) — масса международного прототипа килограмма, который хранится в Национальном архиве Франции;

секунда (с) — продолжительность 9192631770 периодов излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133;

ампер (А) — сила тока, при котором на каждый метр длины двух параллельных прямолинейных круглых проводников, расположенных в 1 м один от другого, приходится механическая сила 2×10^{-7} Н. При этом оговаривается, что проводники имеют бесконечную длину и ничтожно малую площадь сечения.

Используя основные единицы измерений можно определить производные единицы других электрических и магнитных величин. Например, электрический заряд [Кулон] = [А] [с].

Это видно из определения силы тока $i = dq/dt$, где dq -изменение заряда, dt -изменение времени.

Широко применяют кратные единицы:

10⁻¹² — пико (п), 10⁻⁹ — нано (н), 10⁻⁶ — микро (мк), 10⁻³ — милли (м),
10³ — кило (к), 10⁶ — мега (М), 10⁹ — гига (Г), 10¹² — тера (Т)

Существует два основных метода электрических измерений:

- метод непосредственной оценки ,
- метод сравнения.

В методе непосредственной оценки измеряемая величина отсчитывается непосредственно по шкале прибора. Шкала измерительного прибора предварительно градуируется по эталонному прибору в единицах измеряемой величины. Такая градуировка производится на заводе при изготовлении прибора. Достоинства этого метода — удобство отсчета показаний прибора и малая затрата времени на операцию измерения.

В методе сравнения измеряемая величина сравнивается непосредственно с эталоном, образцовой или рабочей мерой. В этом случае точность измерений высокая. Метод сравнения используется главным образом в лабораторных условиях, он требует сравнительно сложной аппаратуры, высокой квалификации операторов и значительных затрат времени.

При всяком измерении непрерывной величины неизбежна погрешность.

АБСОЛЮТНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ $\Delta = A_{из} - A$

Δ — разница между измеренным $A_{из}$ и действительным A значениями измеряемой величины.

Она определяется систематическими и случайными погрешностями прибора, а также ошибками

оператора. Систематическая погрешность — это влияние внешних условий, несовершенство метода измерений и прибора.

$$\delta = \frac{A_{из} - A}{A} \cdot 100 = \frac{\Delta}{A} \cdot 100\%$$

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

Используется для более полной характеристики измерений.

Величины Δ и δ характеризуют точность измерений.

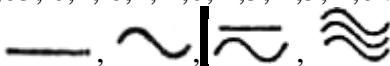
ПРИВЕДЁННАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ $\gamma = \Delta / A_{мах} \cdot 100\%$,

где $A_{мах}$ — максимальное значение шкалы прибора, т. е. предельное значение измеряемой величины. γ называют **КЛАСС ТОЧНОСТИ ПРИБОРА**.

Классификация эл. изм. приборов. Условные обозначения на шкале.

Электроизмерительные приборы классифицируются по различным признакам.

- ПО КЛАССУ ТОЧНОСТИ: 0,05; 0,1; 0,2; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0 .

- ПО ИЗМЕРЯЕМОМУ ТОКУ: 

- ПО ПРИНЦИПУ ДЕЙСТВИЯ:  — магнитоэлектрическая система прибора,

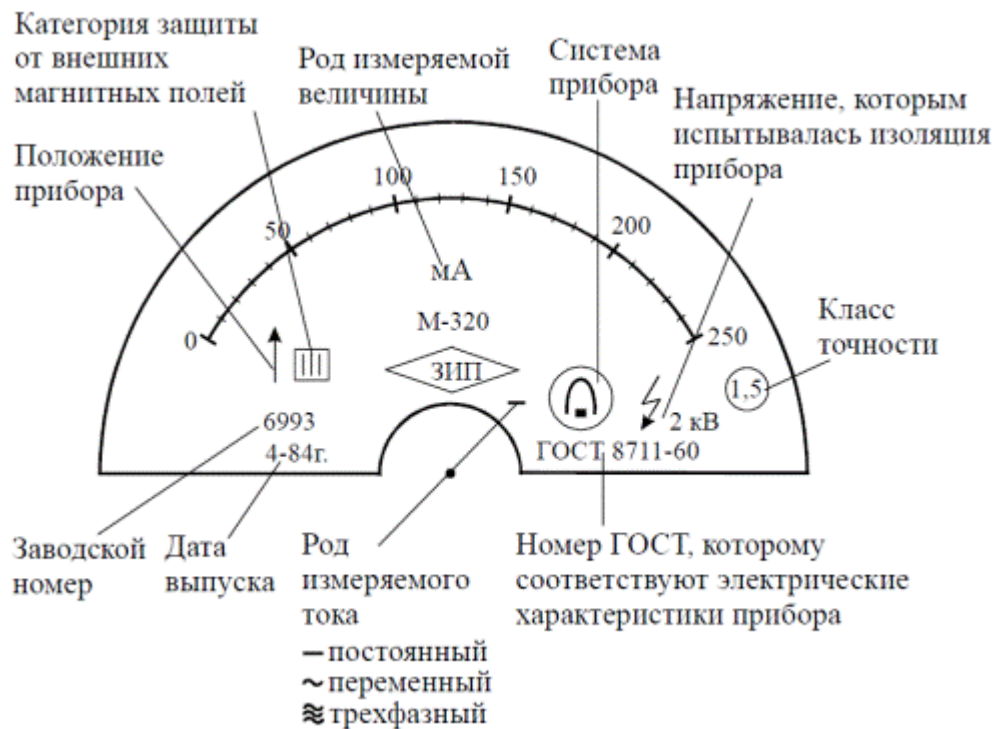


— электромагнитная система прибора,



— индукционная система прибора, и т.д.

- ПО ИЗМЕРЯЕМОЙ ВЕЛИЧИНЕ: амперметр, вольтметр, омметр, ваттметр, частотометр и т.д.



Условное обозначение	Значение условного обозначения	Условное обозначение	Значение условного обозначения
	Магнитоэлектрический прибор с подвижной рамкой и механическим противодействующим моментом		Магнитоэлектрический прибор с электронным преобразователем в измерительной цепи (электронный прибор)
	Магнитоэлектрический логометр с подвижной рамкой		Электростатический прибор
	Магнитоэлектрический прибор с постоянным магнитом и механическим противодействующим моментом		Прибор для работы в цепях постоянного тока
	Магнитоэлектрический логометр с постоянным магнитом		Переменный ток
	Электромагнитный прибор с механическим противодействующим моментом		Постоянный и переменный ток
	Электромагнитный логометр		Трехфазный переменный ток
	Электродинамический прибор с механическим противодействующим моментом без зеркала		Рабочее положение прибора: горизонтальное, вертикальное, под углом
	Электродинамический логометр без зеркала		Наименование прибора: Амперметр и Вольтметр, Вольтамперметр и Ваттметр, Миллиамперметр и микроамперметр, Омметр, Счетчик Ватт - часов
	Ферродинамический прибор с механическим противодействующим моментом		Класс точности
	Индукционный прибор с механическим противодействующим моментом		Защита от внешних магнитных полей 3 мТл, Защита от внешних электрических полей 10 кВ/м
	Магнитоэлектрический прибор с выпрямителем (выпрямительный прибор)		Измерительная цепь изолирована от корпуса и испытана напряжением 2 кВ, 3 кВ

Магнитоэлектрический и электромагнитный измерительные механизмы.

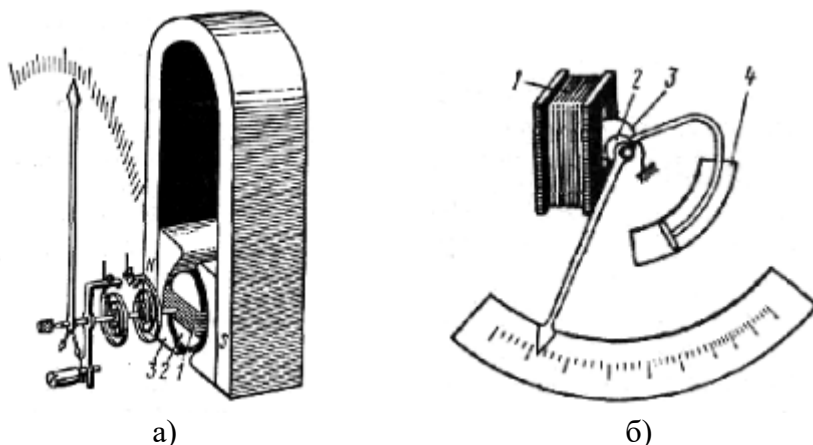


Рис. Механизм прибора а) магнитоэлектрической системы, б) электромагнитной системы.

Магнитоэлектрическая система

Принцип действия приборов магнитоэлектрической системы основан на использовании взаимодействия поля постоянного магнита и катушки (рамки), по которой протекает ток.

Между полюсами постоянного магнита *NS* с помощью полюсных наконечников *3* и цилиндрического сердечника *2* создается воздушный зазор такой формы, что силовые линии магнитного поля при любом положении рамки *1* перпендикулярны ее проводникам.

Момент вращения рамки $M_{вр} = k_1 I^2$, где *k* – коэффициент, зависящий от конструкции.

Ток к рамке подводится через две спиральные пружины, которые одновременно служат для создания противодействующего момента. Момент, создаваемый пружиной ($M_{пр}$), пропорционален углу закручивания. $M_{пр} = k_2 \alpha$, где α – угол поворота рамки.

Когда рамка останавливается, то момент вращения рамки равен моменту противодействия пружины $M_{вр} = M_{пр}$ и $k_1 I^2 = k_2 \alpha$. Поэтому, $\alpha = I^2 k_1 / k_2$ или $\alpha = U I k_1 / k_2$

Угол отклонения рамки пропорционален току или напряжению.

Электромагнитная система.

В основе работы приборов электромагнитной системы лежит принцип механического взаимодействия магнитного поля и ферромагнитного материала.

Сердечник *3* из магнитомягкого материала втягивается в катушку *1* при прохождении тока по ее обмотке. Противодействующий момент создается пружиной *2*. Демпфирование осуществляется воздушным демпфером *4*, представляющим собой гильзу, в которой может перемещаться легкий поршень, связанный со стрелкой.

Вращающий момент пропорционален квадрату тока, так как магнитные поля катушки и сердечника создаются одним и тем же измеряемым током, проходящим по катушке:

$$M_{сп} = k_1 I^2; \quad M_{пр} = k_2 \alpha;$$

$$k_1 I^2 = k_2 \alpha; \quad \alpha = \frac{k_1}{k_2} I^2 = \frac{k}{R_n^2} U^2$$

Угол отклонения стрелки пропорционален квадрату тока или напряжения.

Шкала прибора квадратичная, сжатая вначале.

Измерение напряжения и тока. Измерение мощности. Шунт и добавочное сопротивление.

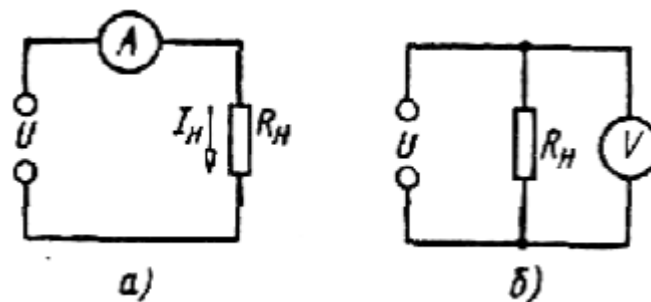


Рис. Схема включения а) амперметра и б) вольтметра в электрическую цепь.

Для измерения тока в какой-либо ветви электрической цепи амперметр включают последовательно с ее элементами. Чтобы включение амперметра не искажало режима работы электрической цепи, его сопротивление должно быть малым.

Вольтметр включают параллельно той ветви электрической цепи, напряжение на которой необходимо измерить. Чтобы включение вольтметра не приводило к изменению токов в цепи, его сопротивление должно быть значительно больше сопротивления ветви, параллельно которой подключен измерительный прибор.

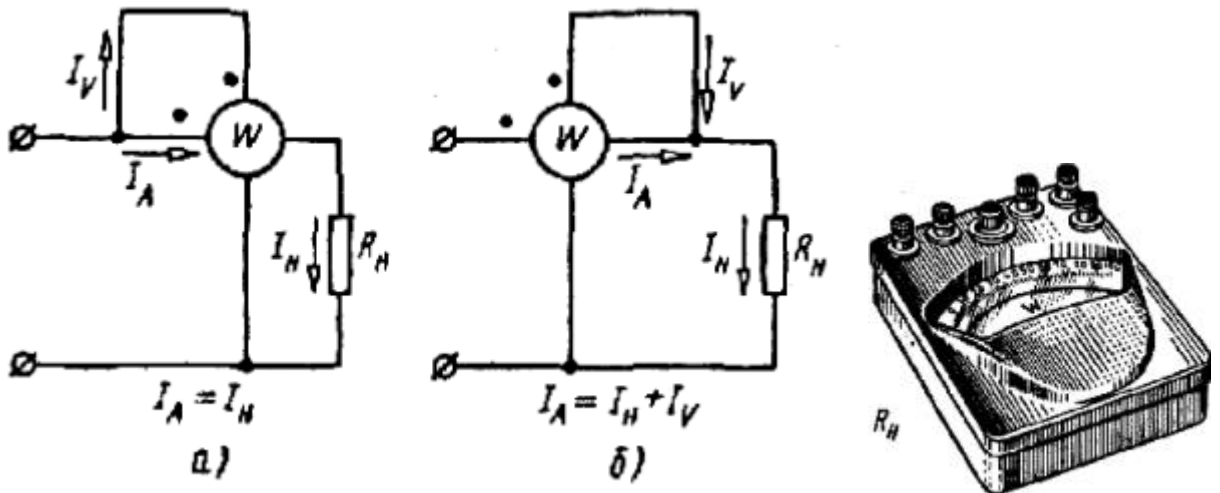


Рис. а) и б) Схемы включения ваттметра в электрическую цепь, в) внешний вид прибора.

Для измерения мощности в цепях постоянного и однофазного переменного токов используют ваттметры электродинамической системы.

Ваттметр содержит две обмотки: подвижную и неподвижную. *Неподвижную* (амперметровую) обмотку включают последовательно потребителю. *Подвижную* (вольтметровую) включают параллельно потребителю. На лицевую панель ваттметра выведены четыре зажима, два из которых обозначим символом **I** (токовые зажимы) а два других — символом **U** (зажимы напряжения). Два зажима помечены точками и называются генераторными

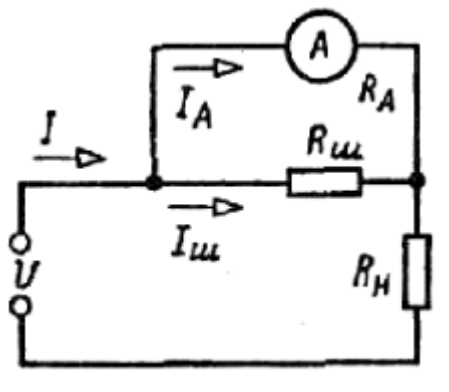
Ваттметр имеет четыре зажима: **I**, **I***, **U**, **U***. Неподвижная **I-I***, подвижная **U-U***.

Градуировку ваттметров производят по схеме рис. , а. Для получения такой схемы генераторные зажимы (помечены точками) следует объединить и подключить к одному и тому же проводу. Вместе с тем генераторные зажимы являются началами обмоток. При правильном

включении ваттметра стрелка будет отклоняться вправо. Чтобы изменить направление отклонения стрелки, необходимо изменить направление тока в любой из обмоток ваттметра.

Шунт и добавочное сопротивление.

Обмотка амперметра рассчитана на малые токи. Для расширения пределов измерения амперметра применяют шунт.



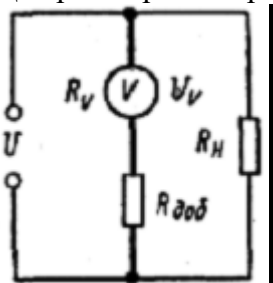
$$I_A = I \frac{R_{ш}}{R_{ш} + R_A}; \quad n = \frac{I}{I_A} = \frac{R_{ш} + R_A}{R_{ш}};$$

$R_{ш}$ — сопротивление шунта; R_A — сопротивление амперметра; I — измеряемый ток; $I_{ш}$ — ток, проходящий через шунт; I_A — максимально допустимый ток амперметра;
 $n = I / I_A$ - коэффициент расширения пределов измерения амперметром.

$$R_{ш} = \frac{R_A}{n - 1}$$

Формула позволяет по известному сопротивлению амперметра и заданному коэффициенту расширения пределов измерения подсчитать сопротивление шунта.

Для расширения пределов измерения вольтметра применяют добавочное сопротивление.



$$U = I_V (R_V + R_{доб}); \quad U_V = I_V R_V;$$
$$m = \frac{U}{U_V} = \frac{R_V + R_{доб}}{R_V}; \quad R_{доб} = R_V (m - 1)$$

$R_{доб}$ — добавочный резистор, R_V — сопротивление вольтметра; U — измеряемое напряжение;

U_V — максимально допустимое напряжение вольтметра; I_V — ток, проходящий через вольтметр;

$m = U / U_V$ — коэффициент расширения пределов измерения вольтметром.

$$R_{доб} = R_V (m - 1)$$

Формула позволяет по заданному коэффициенту расширения пределов

измерения и известному сопротивлению вольтметра найти добавочное сопротивление.

Контрольно – измерительные приборы (Instruments)

Панель контрольно-измерительных приборов находится под полем меню рабочего окна программы EWB (рис. 1.1) и содержит цифровой мультиметр, функциональный генератор, двухканальный осциллограф, измеритель амплитудно-частотных и фазо-частотных характеристик, генератор слов (кодовый генератор), 8-канальный логический анализатор и логический преобразователь. Общий порядок работы с приборами такой: иконка прибора


курсором переносится на рабочее поле и подключается проводниками к исследуемой схеме. Для приведения прибора в рабочее (развернутое) состояние необходимо дважды щелкнуть курсором по его иконке. Рассмотрим каждый прибор подробно.



Рисунок 1.1 – Меню раздела Instruments

1. Мультиметр (Multimeter)

На лицевой панели мультиметра (рис. 1.2, а) расположен дисплей для отображения результатов измерения, клеммы для подключения к схеме и кнопки управления:

 - выбор режима измерения тока, напряжения, сопротивления и ослабления (затухания);

 - выбор режима измерения переменного или постоянного тока;

Settings - режим установки параметров мультиметра. После нажатия на эту кнопку открывается диалоговое окно (рис. 1.2, б), на котором обозначены: Ammeter resistance – внутреннее сопротивление амперметра;

Voltmeter resistance – входное сопротивление вольтметра; Ohmmeter current – ток через контролируемый объект;

Decibel standart – установка эталонного напряжения V_1 при измерении ослабления или усиления в децибелах (по умолчанию $V_1 = 1$ В). При этом для коэффициента передачи используется формула: $K[\text{дБ}] = 20 \log V_2/V_1$, где V_2 – напряжение в контролируемой точке.

Внимание! Мультиметр измеряет эффективное (действующее) значение переменного тока.

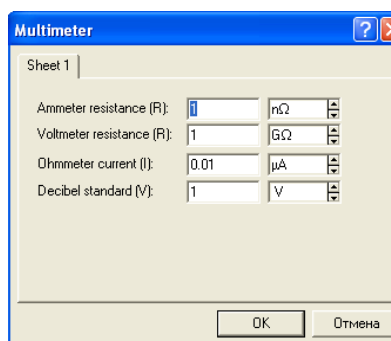


Рисунок 1.2 - Лицевая панель мультиметра (а); окно установки его режимов (б)

2. Функциональный генератор (Function Generator)

Лицевая панель генератора показана на рис. 2.1. Управление генератором осуществляется следующими органами управления:

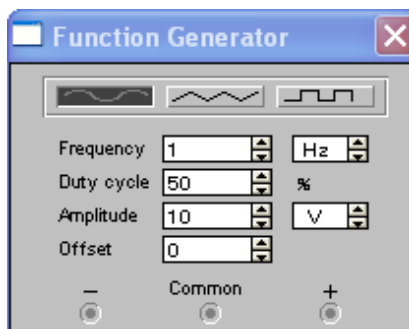
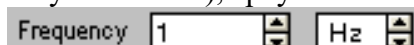


Рис. 2.1 - Лицевая панель функционального генератора



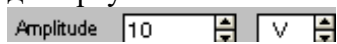
- выбор формы выходного сигнала: синусоидальной (выбрана по умолчанию), треугольной и прямоугольной;



- установка частоты выходного сигнала;



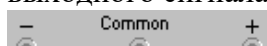
- установка коэффициента заполнения в %: для импульсных сигналов это отношение длительности импульса к периоду повторения - величина, обратная скважности, для треугольных сигналов - соотношение между длительностями переднего и заднего фронтов;



- установка амплитуды выходного сигнала;



- установка смещения (постоянной составляющей) выходного сигнала;



- выходные зажимы; при заземлении клеммы COM (общий) на клеммах "-" и "+" получаем паразитный сигнал.

3. Осциллограф (Oscilloscope)



Лицевая панель осциллографа показана на рис. 3.1 Осциллограф имеет два канала (CHANNEL) A и B с отдельной регулировкой чувствительности в диапазоне от 10 мкВ/дел (mV/Div) до 5 кВ/дел (kV/Div) и регулировкой смещения по вертикали (Y POS). Выбор режима по входу осуществляется нажатием кнопок **AC** **0** **DC**. Режим AC предназначен для наблюдения только сигналов переменного тока (его еще называют режимом "закрытого входа", поскольку в этом режиме на входе усилителя включается разделительный конденсатор, не пропускающий постоянную составляющую). В режиме 0 входной зажим замыкается на землю. В режиме DC (включен по умолчанию) можно проводить осциллографические измерения как постоянного, так и переменного тока. Этот режим еще называют режимом "открытого входа", поскольку входной сигнал поступает на вход вертикального усилителя непосредственно. С правой стороны от кнопки DC расположен входной зажим.

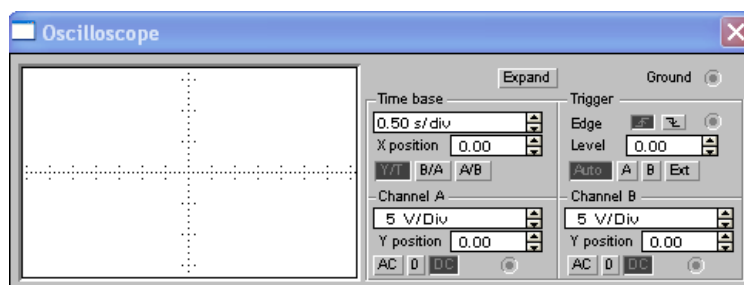


Рисунок 3.1 - Лицевая панель осциллографа

Режим развертки выбирается кнопками **Y/T** **B/A** **A/B**. В режиме Y/T (обычный

режим, включен по умолчанию) реализуются следующие режимы развертки: по вертикали - напряжение сигнала, по горизонтали - время; в режиме В/А: по вертикали - сигнал канала В, по горизонтали - сигнал канала А; в режиме А/В: по вертикали - сигнал канала А, по горизонтали - сигнал канала В.

В режиме Y/T длительность развертки (TIME BASE) может быть задана в диапазоне от 0,1 нс/дел (ns/div) до 1 с/дел (s/div) с возможностью установки смещения в тех же единицах по горизонтали, т. е. по оси X (X POS).

В режиме Y/T предусмотрен также ждущий режим (TRIGGER) с запуском развертки (EDGE) по переднему или заднему фронту запускающего сигнала (выбирается нажатием кнопок



при регулируемом уровне (LEVEL) запуска, а также в режиме AUTO (от канала А или В), от канала А, от канала В или от внешнего источника (EXT), подключаемого к зажиму в блоке управления TRIGGER. Названия режимы запуска развертки выбираются кнопками

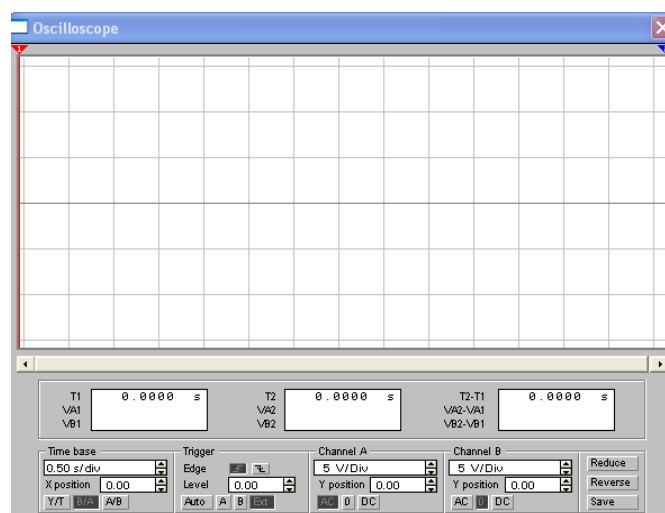


Рисунок 3.2 - Лицевая панель осциллографа в режиме Expand

Заземление осциллографа осуществляется с помощью клеммы GROUND в правом верхнем углу прибора.

При нажатии на кнопку Expand лицевая панель осциллографа существенно меняется (Рис. 3.2) - увеличивается размер экрана, появляется возможность прокрутки изображения по горизонтали и его сканирования с помощью вертикальных визирных линий (синего и красного цвета), которые за треугольные ушки (они обозначены цифрами 1 и 2) могут быть курсором установлены в любое место экрана. При этом в индикаторных окошках под экраном приводятся результаты измерения напряжения, временных интервалов и их приращений (между визирными линиями).

Изображение можно инвертировать нажатием кнопки REVERSE и записать данные в файл нажатием кнопки SAVE. Возврат к исходному состоянию осциллографа производится нажатием кнопки REDUCE.

Задание

1. Ответить на контрольные вопросы

1. Какие приборы называются цифровыми?
2. Приведите структурную схему цифрового прибора.
3. В чем преимущество двоичной системы счисления перед десятичной?
4. Где в практике электроизмерений используются цифровые приборы?
5. Основные параметры и назначение мультиметра.
6. Электронные вольтметры, их назначение, основные характеристики.
7. Техника безопасности при работе с приборами. Почему нельзя измерять напряжение сети электронным вольтметром?
8. Какой прибор используется для измерения мощности? Принцип его работы.
9. Назовите прямые и косвенные методы измерения электрических величин.
10. Электронные осциллографы, их назначение, основные характеристики.

Упражнения

Задание №1 .Тест перекрёстного выбора: из правого столбца выбрать соответствующие единицы измерений и обозначения электрических величин левого столбца.

1. Сила тока	Вольт
2. Напряжение	Ампер
3. Сопротивление	Тесла
4. Мощность	Ом
5. Частота тока	Вебер
6. ЭДС	Ватт
7. Напряжённость магнитного поля	Герц
8. Период	секунда
9. Магнитная индукция	Ампер/метр
10. Магнитный поток	Вольт Ампер
	f
	Вольт Ампер реактивный
	E
	P
	B
	Φ
	T
	H
	I
	U
	R
	S
	Q

Задание №2 Ответить на вопросы.

№п/п	Вопрос	Ответ
1	Кто отвечает за внешнее состояние и сохранность электроизмерительных приборов?	Квалифицированный персонал, обслуживающий электроизмерительные приборы.
2	Каким прибором измеряется сопротивление изоляции?	Мегаомметром.
3	Можно ли цеховому персоналу вскрывать электроизмерительные приборы?	Нет
4	Как в электрическую цепь подключается вольтметр?	Параллельно
5	Как в электрическую цепь подключается амперметр?	Последовательно
6	Сколько ваттметров подключается в трёхфазную цепь при симметричной нагрузке?	1 или 2
7	Какой метод измерения сопротивления самый точный?	Мостовой
8	Какие электрические величины можно измерить мультиметром?	Силу тока, напряжение, сопротивление.
9	Какие способы измерения температуры Вы знаете?	Контактный и бесконтактный.
10	Какой современный измерительный прибор контролирует температуру работающего оборудования?	Тепловизор.

Задание №3 Ответить на вопросы.

№п/п	Вопрос
1	Какой современный измерительный прибор контролирует температуру работающего оборудования?
2	Какие электрические величины можно измерить мультиметром?
3	Можно ли цеховому персоналу вскрывать электроизмерительные приборы?
4	Кто отвечает за внешнее состояние и сохранность электроизмерительных приборов?
5	Как в электрическую цепь подключается амперметр?
6	Сколько ваттметров подключается в трёхфазную цепь при симметричной нагрузке?
7	Каким прибором измеряется сопротивление изоляции?
8	Какой метод измерения сопротивления самый точный?
9	Какие способы измерения температуры Вы знаете?
10	Как в электрическую цепь подключается вольтметр?

Задание №4

Инструкция. Выберите лишний прибор из перечисленных приборов. Запишите в ответ:

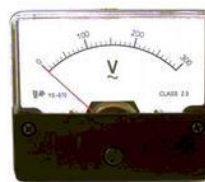


1. Электроизмерительный прибор (тестер)

2.Амперметр



3.Вольтметр



4.Вакуумметрический манометр



Ответ:

2.Инструкция. Заполните таблицу. Система СИ (международная система измерений). Впишите в таблицу единицу измерений

№	Прибор МТИ 1218, класс точности 0,6;1.	кПа	кгс/см ²	МПа
1	Верхнее значение диапазона показаний избыточного давления:		0,6	0,06
2			6	0,6
3			2,5	0,25
4			1,5	0,15

3.Инструкция. Найти цену деления прибора

Дано: Электроизмерительный прибор. Амперметр

Даны цифровые показания: 10;20;30

Количество рисок между цифровыми показаниями составляет 10 шт.


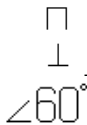
Найти цену деления (показания в кг на одно деление)?

Решение:

Ответ: Цена деления =

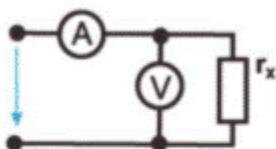


1. Заполните таблицу по условным измерениям на шкалах электроизмерительных приборов

№	Условные обозначения	Наименования У О
1.	1,5	
2.	—	
3.		
4.		
5.	A	
6.	Б	
7.	В	
8.		

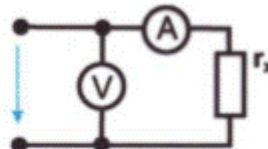
Измерение активных сопротивлений

а) методом амперметра и вольтметра



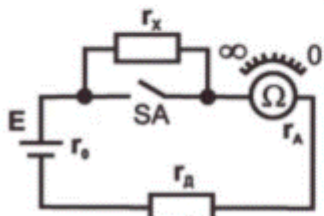
при измерении небольших сопротивлений ($r_x \sim 1 \text{ Ом}$)

$$r_x = \frac{U}{I}$$

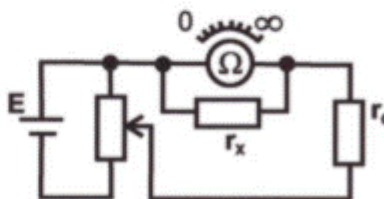


при измерении средних и больших сопротивлений ($r_x \sim 100 \text{ Ом} \dots 100 \text{ кОм}$)

б) омметром



последовательная схема ($r_x > 1 \text{ КОм}$)



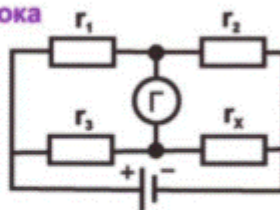
параллельная схема ($r_x < 1 \text{ КОм}$)

$$I = \frac{E}{r_x + r_о + r_д + r_а}$$

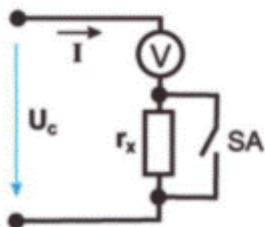
в) мостом постоянного тока

$$r_x = \frac{r_2 \cdot r_3}{r_1}$$

(при равновесии моста)



г) одним вольтметром

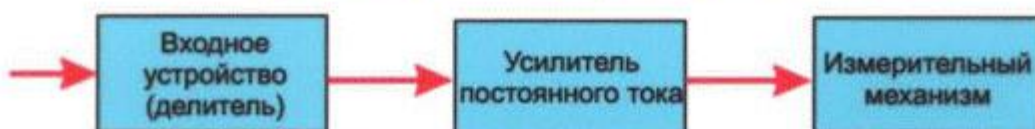


$$I r_x = (U_v / r_v) r_x = U_c - U_v$$

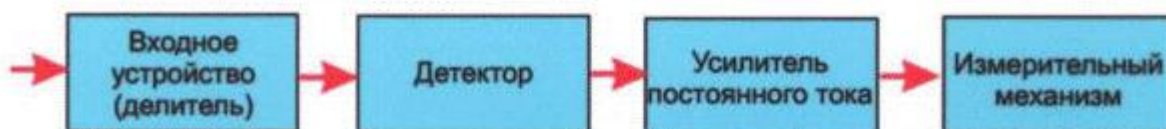
$$r_x = (U_c / U_v - 1) r_v$$

Измерения

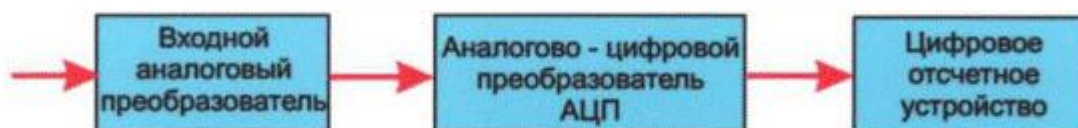
Электронный вольтметр постоянного тока



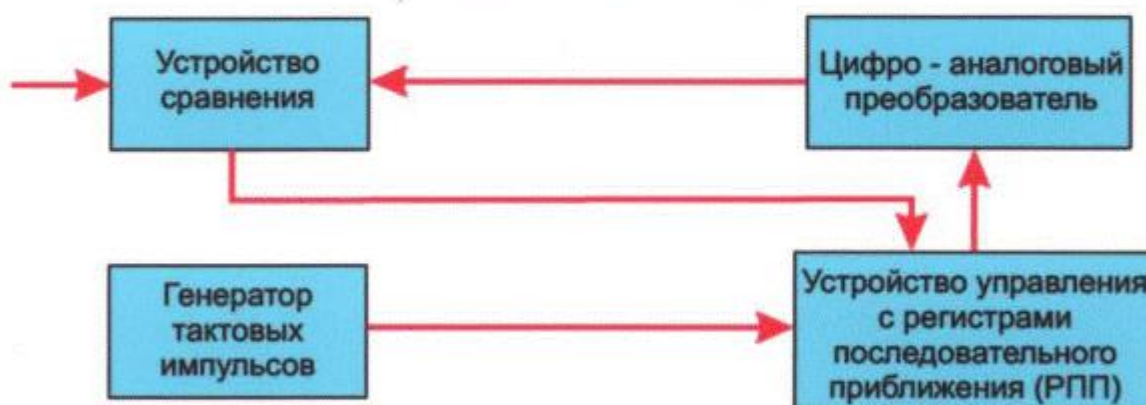
Электронный вольтметр переменного тока (10Гц...1000МГц)



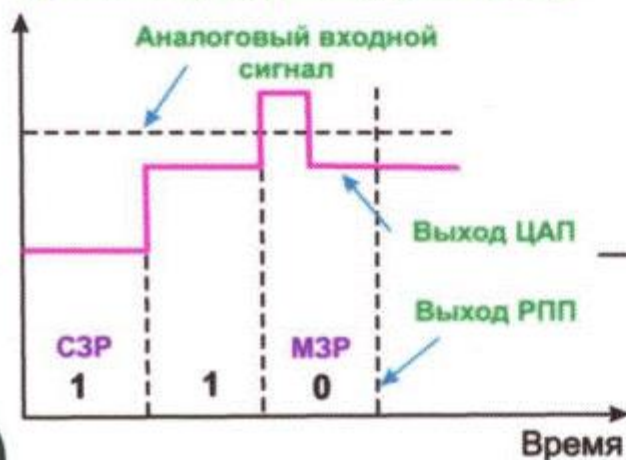
Цифровой измерительный прибор



Аналогово - цифровой преобразователь последовательного приближения



Временная диаграмма работы АЦП



Логическая схема работы АЦП

