

Лабораторная работа №2-1.

Изучение основных характеристик электроизмерительных приборов

Цель работы:

1. Изучить устройство и принцип действия приборов разных систем, их погрешности, достоинства, недостатки и область применения.
2. По шкале конкретного прибора определить его основные характеристики и абсолютную погрешность намерения.
3. Рассчитать шунт и дополнительное сопротивление для расширения пределов измерения прибора.

Приборы и принадлежности:

Приборы и принадлежности: приборы разных систем или набор шкал от различных приборов.

Теоретическая часть.

Электроизмерительным прибором называется устройство, которое предназначено для измерения различных электрических величин: тока, напряжения, сопротивления, электрической мощности и т.д.

Все измерительные приборы делятся на две большие группы: аналоговые и цифровые.

Аналоговые измерительные приборы – приборы, показания которых являются непрерывной функцией изменения входной измеряемой величины. Аналоговые измерительные приборы делятся на приборы для статических и динамических измерений.

К приборам для статических измерений относятся вольтметры, амперметры, омметры и другие.

К приборам для динамических измерений относятся электронно-лучевые осциллографы, самопишущие приборы.



Рассмотрим аналоговые измерительные приборы предназначенные для статических измерений: электромеханические и электронные.

Все электромеханические измерительные приборы основаны на преобразовании электрической энергии входного сигнала в механическую энергию углового (линейного) перемещения подвижной части отсчетного устройства.

Электромеханические измерительные приборы подразделяются на приборы магнитно – электрической (МЭ), электромагнитной (ЭМ), электродинамической (ЭД), ферродинамической (ФД), электростатической (ЭС), индукционной (И) и термоэлектрической (ТЭ) систем.

Конструктивные особенности приборов магнитно – электрической системы приведены в таблице 1 и на рисунке 1

Таблица 1

Система прибора	Обозначение системы	Характеристики и достоинства	Недостатки	Применение
Магнитно-электрическая	<p>С подвижной рамкой</p>  <p>С подвижным магнитом</p> 	<p>высокий класс точности – 0.05 и ниже; равномерная шкала; высокая и стабильная чувствительность; малое собственное потребление мощности; ($P_{\text{соб}}=10^{-5} - 10^{-4}$ Вт) большой диапазон измерений; на показания МЭП не влияют внешние магнитные электрические поля</p>	<p>Без преобразователей используются только в целях постоянного тока, имеют малую нагрузочную способность, сложны, дороги, на их показания влияют колебания температуры</p>	<p>Используют в амперметрах, вольтметрах, гальванометрах (обычных, баллистических, вибрационных) и омметрах</p>

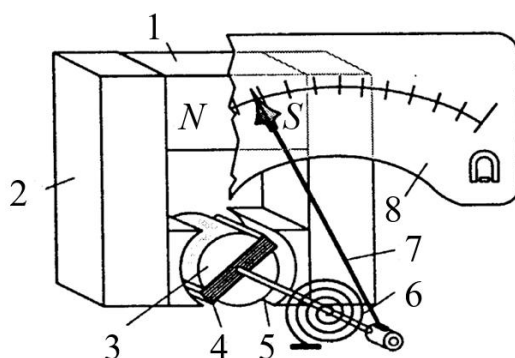


Рис.1. Конструкция магнитоэлектрического механизма:

1 – постоянный магнит; 2 – магнитопровод; 3 – цилиндрический сердечник из магнитомягкого материала; 4 – рамка с измеряемым током; 5 – ось; 6 – спиральная пружина; 7 – стрелка; 8 – шкала.

В данной системе (см. рис. 1) измерительный механизм состоит из проволочной рамки с протекающим в ней током, помещенной в поле постоянного магнита (магнит провода). Поле в зазоре, где находится рамка, однородное. Под действием протекающего тока I рамка вращается в магнитном поле. Угол отклонения стрелки ограничивается спиральной пружиной, равной: $\alpha = I \frac{\Psi}{\omega}$, где $\Psi = BSN$ – удельное потокосцепление.

ω – удельный противодействующий момент пружины.

Конструктивные особенности приборов электромагнитной системы приведены в таблице 2 и на рисунке 2.

Таблица 2

Система прибора	Обозначение системы	Характеристик и и достоинства	Недостатки	Применение
Электромагнитная		простота конструкции и высокая надежность; возможность работы в цепях постоянного и переменного токов; класс точности 1.0; 1.5; 2.5; частотный диапазон 45 Гц – 10 кГц большой диапазон измерений по току	большое собственное потребление энергии; невысокая чувствительность; неравномерная шкала; влияние внешних магнитных и температурных полей; влияние частоты питающего напряжения	используется в амперметрах, вольтметрах, фазометрах, частотомерах, генриметрах, фарад метрах

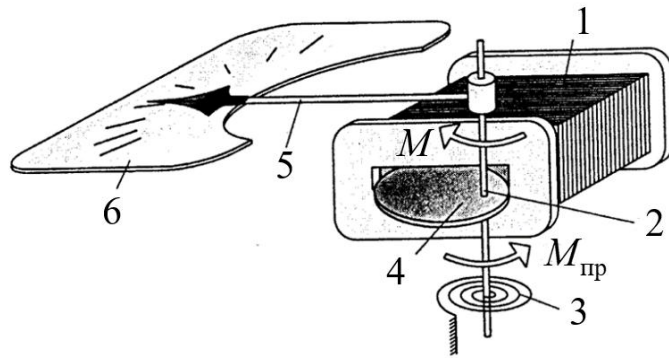


Рис.2. Устройство электромагнитного механизма:

1 – катушка с измеряемым током; 2 – ось; 3 – спиральная пружина; 4 – сердечник из магнитомягкого материала; 5 – стрелка; 6 – шкала.

Принцип действия этой системы (см. рис. 2) основан на взаимодействии катушки с ферро магнитным сердечником. Протекающий по катушке ток I создает магнитный поток, который вытягивает сердечник. Спиральная пружина связана со стрелкой, угол поворота которой равен:

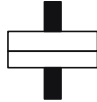
$$\alpha = \frac{1}{2\omega} I^2 \frac{dL}{d\alpha},$$

где L – индуктивность катушки;

ω – удельный противодействующий момент пружины.

Конструктивные особенности приборов электродинамической системы приведены в таблице 3 и на рисунке 3.

Таблица 3

Система прибора	Обозначение системы	Характеристики и достоинства	Недостатки	Применение
Электродинамическая		используются в цепях постоянного и переменного токов; классы точности 0.05; 0.1; 0.2; частотный диапазон до 40 кГц; диапазон измерений на постоянном токе	большое собственное потребление энергии; неравномерная шкала; невысокая чувствительность, сложная конструкция; тряски и вибрации недопустимы; влияние	лабораторные амперметры, вольтметры, ваттметры, фазометры

		(0.015÷10)А, на переменном токе (0.005 ÷ 200)А	внешних магнитных полей, температуры и частоты питающего напряжения	
--	--	--	---	--

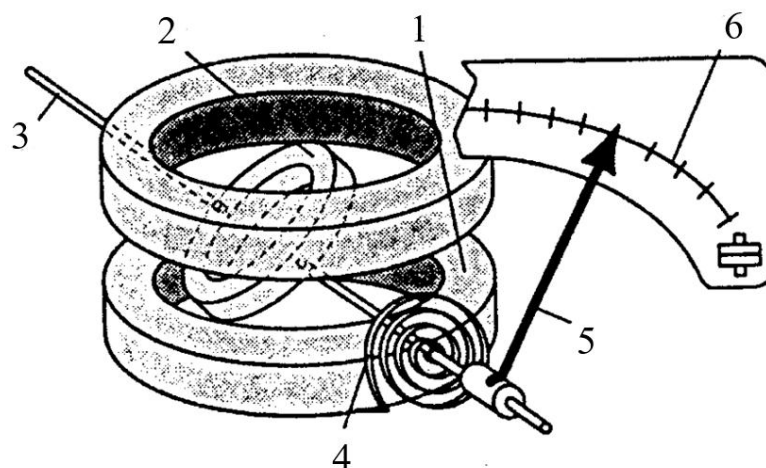


Рис.3. Конструкция электродинамической системы: 1 – неподвижная катушка; 2 – подвижная катушка; 3 – ось; 4 – спиральная пружина; 5 – стрелка; 6 – шкала.

Принцип действия системы (рис. 3) основан на взаимодействии магнитных потоков двух катушек с током I_1 и I_2 . Протекающие по катушкам токи создают магнитные потоки, которые стремятся принять одно направление. При этом подвижная катушка поворачивается внутри неподвижной. Спиральная пружина, закрепленная на оси, связана со стрелкой, угол поворота которой равен:



$$\alpha = \frac{1}{\omega} I_1 I_2 \cos \varphi \frac{dM}{d\alpha},$$

где φ – угол сдвига фаз между токами;

M – коэффициент взаимной индуктивности катушек.

Разновидностями электродинамической системы являются ферродинамическая и электростатическая система (таблица 4 и рисунок 4). У ферродинамической магнитные потоки катушек замыкаются не по воздуху, а по вспомогательным магнит проводам.

Таблица 4

Система прибора	Обозначение системы	Характеристики и достоинства	Недостатки	Применение
Ферродинамическая		не боится вибраций и тряски; внешние магнитные поля мало влияют; класс точности: 0.2; 0.5; 1.0; 1.5; 2.5;	возрастает погрешность на постоянно м токе за счет потерь на гистерезис; точность приборов ниже; диапазон частот хуже чем у ЭД;	работа в электрических цепях переменного тока промышленной частоты в качестве амперметров, вольтметров, ваттметров.
Электростатическая		не потребляет энергии в цепях постоянного тока и имеет очень незначительное потребление в цепях переменного тока; классы точности: 0.05; 0.1; 1.0; 1.5; 2.5; частотный диапазон 20 Гц ÷ 10 МГц независимость показаний от изменения температуры и внешних магнитных	низкая чувствительность; неравномерная шкала; влияние внешних электрических полей;	в цепях постоянного и переменного токов в качестве только вольтметров;

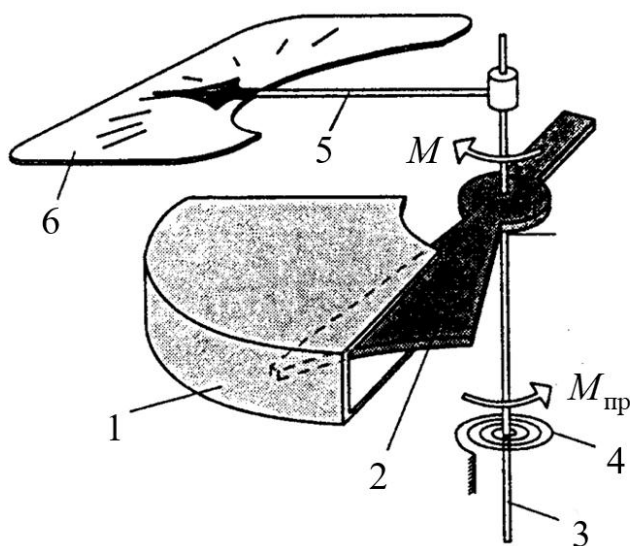


Рис.4. Устройство электростатического механизма:

1 – неподвижная пластина; 2 – подвижная пластина; 3 – ось; 4 – спиральная пружина; 5 – стрелка; 6 – шкала.

Принцип действия системы (рис. 4) основан на взаимодействии электрически заряженных проводников. Подвижная алюминиевая пластина закреплена вместе с указателем, перемещается, взаимодействуя с неподвижной пластиной. Угол поворота стрелки равен:


$$\alpha = \frac{1}{\omega} U^2 \frac{dC}{d\alpha},$$


где U – напряжение на пластинах;

C – электрическая ёмкость.

Характеристики и достоинства приборов индукционная и термоэлектрическая системы приведены в таблице 5.

Таблица 5

Система прибора	Обозначение системы	Характеристики и достоинства	Недостатки	Применение
Индукционная			зависимость показаний от колебаний частоты тока возбуждения и температур	для измерения электрической энергии

			ы	
Термоэлектрическая		работа с постоянными и переменными токами и напряжениями; широкий диапазон частот; высокая точность приборов, классы точности 1.0; 1.5	с невысокое быстродействие; неравномерность шкалы	для измерения малых токов и напряжений

Основными характеристиками электроизмерительных приборов являются: погрешность средства измерений, чувствительность, цена деления шкалы, диапазон измерений и другие.

Погрешность средства измерений – это разность между показанием прибора и истинным значением измеряемой величины (средним значением) абсолютная погрешность $\Delta X = \bar{X} - X$, где

X – результат измерения,

\bar{X} – истинное значение величины (наиболее близкое к истинному значению – среднее значение)

Относительная погрешность – отношение абсолютной погрешности к истинному значению, выраженное в процентах:

$$\delta = \frac{\Delta X}{\bar{X}} \cdot 100\%.$$

Класс точности k – это наибольшая величина относительной или приведенной погрешности, которой может обладать прибор на любом участке его шкалы.

Установлен следующий ряд чисел для выражения пределов допускаемых погрешностей и применяемых для обозначения классов точности: $1 \cdot 10^n$; $1.5 \cdot 10^n$; $2 \cdot 10^n$; $4 \cdot 10^n$; $5 \cdot 10^n$; $6 \cdot 10^n$, где $n = 1, 0, -1, -2$ и т.д.

Для приборов непосредственной оценки присваивают классы точности: 0.05; 0.1; 0.2; 0.5; 1.0; 1.5; 2.5; и 4. Класс точности характеризует свойства приборов в отношении точности, но не является непосредственным показателем точности измерений, выполняемых с помощью этих приборов.

Чувствительность S – это отношение линейного или углового перемещения указателя к изменению измеряемой величины,

вызвавшему это перемещение $S = \frac{d\alpha}{dx}$

У измерительных приборов при постоянной чувствительности шкала равномерная.

Чувствительность прибора не следует смешивать с порогом чувствительности, под которым понимают наименьшее изменение входного сигнала, способное вызвать заметное изменение показания прибора.

Цена деления шкалы C_{\min} – это разность между верхним и нижним пределами измерения деленная на число делений между ними. Цена деления может быть определена, как величина обратная чувствительности $C_{\min} = \frac{1}{S}$.

Чтобы снять показание прибора надо цену деления шкалы умножить на число делений, до которого дошел указатель.

Важной характеристикой является надежность средства измерения – это способность прибора сохранять заданные характеристики при определенных условиях работы в течении заданного времени.

На каждый прибор (шкалу) наносят условные обозначения. Обозначают: единицу измеряемой величины; класс точности; род тока; товарный знак предприятия – изготовителя, дату выпуска; испытательное напряжение изоляции; систему прибора и другие обозначения (рис. 5)

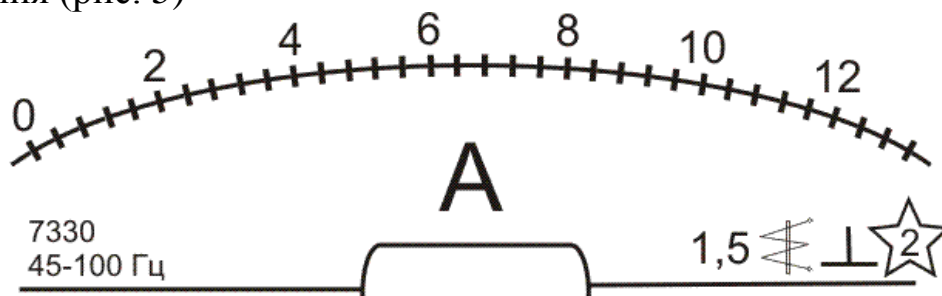


Рис. 5

Рассмотрим пример описания прибора шкала которого изображена на рис. 5: амперметр для работы в цепях переменного тока; электромагнитной системы типа 7330; предельное значение измеряемой величины – 10 А; класс точности 1.5; рабочее положение –

вертикальное; измерительная цепь прибора изолирована от корпуса и испытана напряжением 2 кВ;

$$\text{Цена деления прибора } C_{\min} = \frac{4-2}{5} = 0.4 \frac{\text{А}}{\text{дел}}$$

$$\text{Чувствительность прибора } S = \frac{1}{0.4} = 2.5 \frac{\text{дел}}{\text{А}}$$

Показание прибора: необходимо цену деления умножить на число делений n , на которые отклонился указатель(стрелка) прибора $X = C_{\min} \cdot n$.

Расчет погрешности прямых измерений по характеристикам электроизмерительных приборов и результатом измерений.

Допустим, имеем ряд замеров x_1, x_2, \dots, x_n , полученных одним прибором при измерении одной и той же величины X .

Тогда результатом измерения, следует считать среднее арифметическое всех замеров:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}.$$

Абсолютная погрешность результата измерения складывается из абсолютной погрешности отсчета $\Delta X_{\text{отс}} = 0.5 C_{\min}$ и абсолютной погрешности прибора $\Delta X_{\text{пр}}$, т.е. $\Delta X = \Delta X_{\text{пр}} + \Delta X_{\text{отс}}$, где

$$\Delta X_{\text{пр}} = \pm \frac{k x_{\text{пред}}}{100},$$

где k – класс точности прибора.

Относительная погрешность результата измерений

$$\delta = \frac{\Delta X}{\bar{X}} \cdot 100\%.$$

Окончательный результат измерения выглядит так:

$X = \bar{X} \pm \Delta X$ при $\alpha = 1$, где α – доверительная вероятность.

Расширение пределов измерения электрических приборов. Для измерения малых токов (до 100 мА) используются магнитоэлектрические амперметры, которые в электрическую цепь включаются последовательно. Амперметры должны иметь малое сопротивление, чтобы включение их не изменяло величины тока в цепи. Для расширения пределов измерения амперметров применяются шунты (точные резисторы с малым сопротивлением), которые подсоединяются в цепь параллельно амперметру (рис. 6).

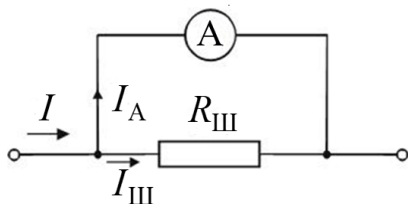


Рис. 6

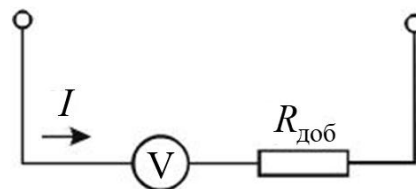


Рис. 7

Тогда $I = I_A + I_{\text{ш}}$.

Для параллельного соединения $U = \text{const}$, т.е. $I_A R_A = I_{\text{ш}} R_{\text{ш}}$ и

$$R_{\text{ш}} = \frac{I_A R_A}{I_{\text{ш}}} = \frac{I_A R_A}{I - I_A} \text{ или } R_{\text{ш}} = \frac{R_A}{n - 1}, \text{ где } n = \frac{I}{I_A}.$$

Для расширения пределов измерения магнитоэлектрического вольтметра, который в электрическую цепь включается последовательно к нему подключается добавочное сопротивление (рис. 9).

Применив закон Ома для участка цепи, получим:

$$U = I(R_{\text{доб}} + R_V) = IR_{\text{доб}} + IR_V,$$

$$R_{\text{доб}} = \frac{U}{I} - R_V = R_V \left(\frac{U}{IR_V} - 1 \right) = R_V \left(\frac{U}{U_V} - 1 \right) = R_V (n - 1).$$

Цифровые измерительные приборы. В практике электрических измерений во всем мире используются цифровые измерительные приборы, которые по всем показателям превосходят аналоговые измерительные приборы. У них гораздо более высокие метрологические и эксплуатационные характеристики, но стоимость выше, чем у аналоговых приборов.

Блок – схема универсального цифрового прибора показана на (рис. 8).

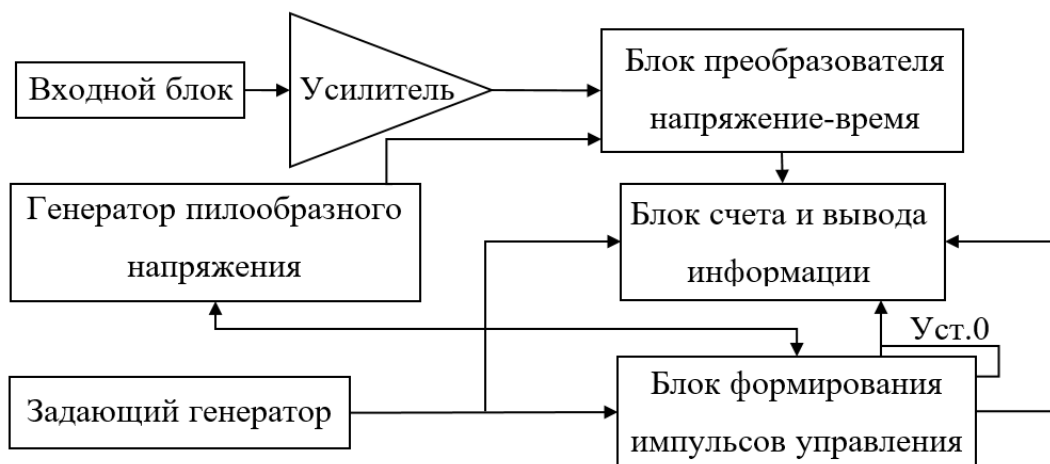


Рис. 8

Входной блок служит для ослабления слишком сильных сигналов в 1000, 100 или 10 раз, если это необходимо. В этом блоке все измеряемые параметры (ток, напряжение, сопротивление, температура и т.д.) при помощи соответствующих датчиков преобразуются в постоянное напряжение, пропорциональное измеряемому параметру. Это напряжение усиливается до значения, находящегося в интервале от 0 до 10 Вольт, и поступает на один вход пороговой схемы сравнения (блок преобразования напряжения – время). На второй вход схемы сравнения подается периодическое, линейно нарастающее (пилообразное) напряжение (рис. 9.а)

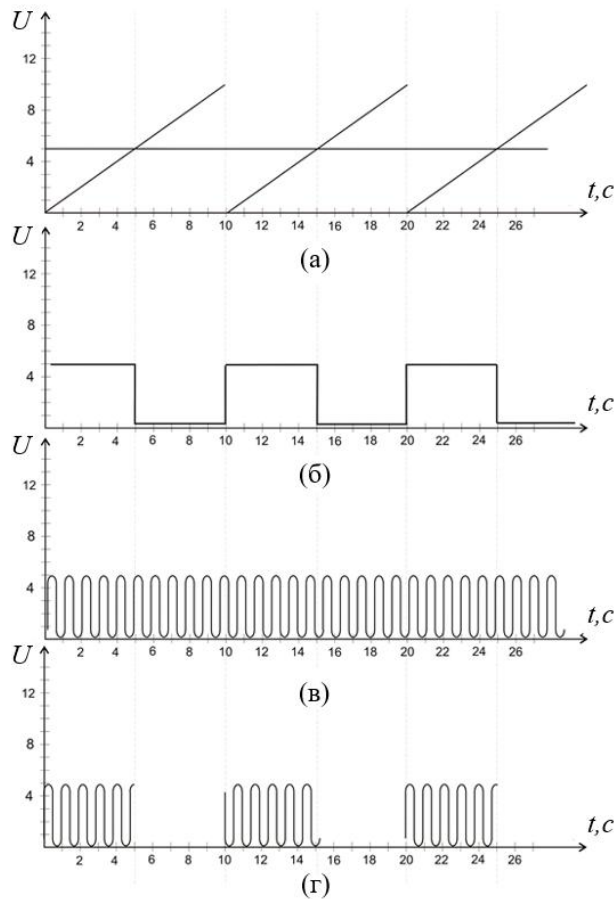


Рис. 9

На выходе первой схемы сравнения получаем пакеты импульсов напряжения (рис. 7.б), которые затем подаются на один из входов второй схемы сравнения, а на второй вход подается импульсный сигнал с частотой 100 000 Гц или 1 000 000 Гц от кварцевого генератора, обеспечивающего высокую точность и стабильность частоты (рис. 7.в). На выходе второй схемы сравнения присутствует напряжение только тогда, когда оно есть одновременно на двух входах. Поэтому, на выходе второй схемы сравнения присутствуют импульсы напряжения стандартной частоты только в пределах каждого пакета, причем их количество пропорционально длительности пакета, а значит и измеряемому напряжению. Цифровое отсчетное устройство регистрирует измеряемую величину и высвечивает полученное число на индикаторах.

К основным характеристикам цифровых измерительных приборов относятся: разрешающая способность, длина шкалы (определяется разрядностью), быстродействие, класс точности (0.005; 0.01; 0.02; 0.05; 0.1; 0.2; 0.5; 1.0)

Порядок выполнения работы

Задание 1. Изучение характеристик электроизмерительных приборов.

1. Получить у преподавателя прибор (шкалу прибора), характеристики которого следует определить
2. Характеристики прибора и результаты вычислений занести в таблицу 1 (Если на шкале вашего прибора есть обозначения, которые не рассмотрены выше см. Приложение 1.)

Таблица 1

№	Название прибора	Система прибора	Предел измерения	Класс точности	Цена деления	Абсолютная погрешность прибора
1						

Задание 2. Рассчитать шунт и добавочное сопротивления для расширения пределов измерения прибором, оценить мощность рассеиваемую дополнительными элементами и самим прибором (задание получить у преподавателя).

Сделать выводы.

В выводах дать ответы на следующие вопросы.

1. Каковы устройство и принцип действия приборов разных систем, их погрешности, достоинства, недостатки и область применения.
2. Представить основные характеристики изучаемого прибора. Каковы погрешности при измерениях данным прибором.
3. Каковы величины рассчитанных сопротивлений шунта и дополнительного сопротивления.