

Глава 11.
Электрические измерения и
приборы.

Роль измерений в электротехнике

- В любой области знаний измерения имеют исключительно большое значение, но особенно важны они в электротехнике.
- Механические, тепловые, световые явления человек ощущает при помощи своих органов чувств. Мы, хотя и приблизительно, можем оценить размеры предметов, скорость их движения, яркость светящихся тел. Долгое время именно так люди изучали звездное небо.
- Но мы с вами совершенно одинаково реагируем на проводник, ток которого равен 10 мА или 1 А (т. е. в 100 раз больше).
- Мы видим форму проводника, его цвет, но наши органы чувств не позволяют оценить величину тока. Точно так же мы совершенно равнодушны к магнитному полю, созданному катушкой, электрическому полю между обкладками конденсатора. Медицина установила определенное влияние электрических и магнитных полей на организм человека, но это влияние мы не ощущаем, и величину электромагнитного поля оценить не можем.
- Исключения составляют только очень сильные поля. Но и здесь неприятное покалывание, которое можно заметить, гуляя око высоковольтной линии передачи, не позволит нам даже приблизительно оценить величину электрического напряжения в линии.
- Все это заставило физиков и инженеров с первых шагов исследования и применения электричества пользоваться электроизмерительными приборами.
- Приборы - глаза и уши инженера-электрика. Без них он глух и слеп и совершенно беспомощен. Миллионы электроизмерительных приборов установлены на заводах, в научно-исследовательских лабораториях. В каждой квартире тоже есть измерительный прибор - электрический счетчик.
- Показания (сигналы) электроизмерительных приборов используют для оценки работы различных электротехнических устройств и состояния электрооборудования, в частности состояния изоляции. Электроизмерительные приборы отличаются высокой чувствительностью, точностью измерений, надежностью и простотой исполнения.
- Успехи электроприборостроения привели к тому что его услугами стали пользоваться и другие отрасли. Электрические методы стали применять для определения размеров, скоростей, массы, температуры. Появилась даже самостоятельная дисциплина *“Электрические измерения неэлектрических величин”*.
- Показания электроизмерительных приборов можно передавать на дальние расстояния (телеизмерение), они могут использоваться для непосредственного воздействия на производственные процессы (автоматическое регулирование); с их помощью регистрируют ход контролируемых процессов, например путем записи на ленте и т.д.
- Применение полупроводниковой техники существенно расширило применение электроизмерительных приборов.
- Измерить какую-либо физическую величину - значит найти ее значение опытным путем с помощью специальных технических средств.
- Стендовые испытания новейшего оборудования немислимы без электрических измерений. Так, при испытании турбогенератора мощностью 1200 МВт на заводе “Электросила” измерения производились в 1500 его точках.
- Развитие электроизмерительных приборов привело к использованию в них микроэлектроники, что позволяет измерять физические величины с погрешностью не более $0,005-0,0005 \%$.

Основные понятия, термины и определения

- Результаты теоретической деятельности без проверки экспериментом недостоверны. Измерительная техника при эксперименте дает результаты, которые указывают на качество и количество продукции, правильность ведения технологических процессов, распределения, потребления и изготовления. При этом электрические измерения за счет малого потребления энергии, возможности передачи измерительных величин на расстояние, большой скорости измерений и передачи, а также высокой точности и чувствительности оказались предпочтительнее.
- Электрические измерения и приборы, методы и средства обеспечения их единства, способы достижения требуемой точности - все это относится к метрологии, а принципы и методы установления оптимальных норм и правил взаимодействия - к *стандартизации*.
- В Российской Федерации стандартизация и метрология объединены в единой государственной службе - Государственном комитете стандартов. В 1963 г. ГОСТ 9867-61 ввел Международную систему единиц (СИ) на базе метра (**м**), килограмма (**кг**), секунды (**с**), ампера (**А**), кельвина (**К**) и канделы (**кд**).
- Вопросы электрических измерений и приборов проще воспринимаются, если известны содержание терминов и определений.
- *Метрология* - наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства, способах достижения требуемой точности.
- *Измерение* - нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.
- *Результат измерения* - значение физической величины, найденной путем измерения.
- *Мера* - средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера (например, единицы измерения света - кд).
- *Измерительный преобразователь* - средство измерений для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки (или хранения), но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем. Первичный измерительный преобразователь - датчик.
- *Измерительный прибор* - средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем.

Методы измерений.

Погрешность измерений

- Для различных измеряемых электрических величин существуют свои *средства измерений*, так называемые меры. Например, мерами ЭДС служат нормальные элементы, мерами электрического сопротивления - измерительные резисторы, мерами индуктивности измерительные катушки индуктивности, мерами электрической емкости - конденсаторы постоянной емкости и т. д.
- На практике для измерения различных физических величин применяют различные методы. Последние в зависимости от способа получения результата делятся на *прямые* и *косвенные*. При *прямом измерении* значение величины получают непосредственно из опытных данных. При *косвенном измерении* искомое значение величины находят путем подсчета с использованием известной зависимости между этой величиной и величинами, получаемыми на основании прямых измерений. Так, определить сопротивление участка цепи можно путем измерения протекающего по нему тока и приложеного напряжения с последующим подсчетом этого сопротивления из закона Ома. Наибольшее распространение в электроизмерительной технике получили методы прямого измерения, так как они обычно проще и требуют меньших затрат времени.
- В электроизмерительной технике используют также *метод сравнения*, в основе которого лежит сравнение измеряемой величины с воспроизводимой мерой. Метод сравнения может быть компенсационным и мостовым. Примером применения *компенсационного метода* служит измерение напряжения путем сравнения его значения со значением ЭДС нормального элемента. Примером *мостового метода* является измерение сопротивления с помощью четырех-плечной мостовой схемы. Измерения компенсационным и мостовым методами очень точные, но для их проведения требуется более сложная измерительная техника.
- При любом измерении неизбежны *погрешности*, т. е. отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины, которые обуславливаются, с одной стороны, непостоянством параметров элементов измерительного прибора, несовершенством измерительного механизма (например, наличием трения и т. д.), влиянием внешних факторов

$$\delta = (\Delta A / A_D) \cdot 100 = \frac{A_{\Pi} - A_D}{A_D} \cdot 100\% .$$

(1)

$$A_D = A_{\Pi} + \Delta \theta .$$

$$\Delta P = -\Delta A = A_D - A_{\Pi} .$$

$$\Delta A = A_{\Pi} - A_D .$$

- Следует отметить, что по относительным погрешностям оценивать точность, например, стрелочных измерительных приборов, весьма неудобно, так как для них абсолютная погрешность вдоль всей шкалы практически постоянная, поэтому с уменьшением значения измеряемой величины растет относительная погрешность (1). Рекомендуется при работе со стрелочными приборами выбирать пределы измерения величины так, чтобы не пользоваться начальной частью шкалы прибора, т.е. отсчитывать показания по шкале ближе к ее концу.

Точности измерительных приборов оценивают по приведенным погрешностям, т.е. по выраженному в процентах отношению абсолютной погрешности к н

$$\gamma = (\Delta A / A_H) \cdot 100 = \frac{A_{П} - A_{D}}{A_H} \cdot 100\%.$$

- *Нормирующим значением* измерительного прибора называется условно принятое значение измеряемой величины, могущее быть равным *верхнему пределу измерений, диапазону измерений, длине шкалы и др.*
- Погрешности приборов подразделяют на *основную*, присущую прибору при нормальных условиях применения вследствие несовершенства его конструкции и выполнения, и *дополнительную*, обусловленную влиянием на показания прибора различных внешних факторов.
- Нормальными рабочими условиями считают температуру окружающей среды $20 \pm 5^\circ\text{C}$ при относительной влажности воздуха $65 \pm 15\%$, атмосферном давлении 750 ± 30 мм.рт.ст., в отсутствие внешних магнитных полей, при нормальном рабочем положении прибора и т. д. В условиях эксплуатации, отличных от нормальных, в электроизмерительных приборах возникают дополнительные погрешности, которые представляют собой изменение действительного значения меры (или показания прибора), возникающее при отклонении одного из внешних факторов за пределы, установленные для нормальных условий.
- Допустимое значение основной погрешности электроизмерительного прибора служит основанием для определения его *класса точности*. Так, электроизмерительные приборы по степени точности подразделяются на восемь классов: 0.05; 0.1; 0.2; 0.5; 1.0; 1.5; 2.5; 4.0, причем цифра, обозначающая класс точности, указывает на наибольшее допустимое значение основной погрешности прибора (в процентах). Класс точности указывается на шкале каждого измерительного прибора и представляет собой жирно выделенную или обведенную кружком цифру.
- Шкалу прибора разбивают на *деления*. *Цена деления* (или постоянная прибора) есть разность значений величины, которая соответствует двум соседним отметкам шкалы. Определение цены деления, например вольтметра и амперметра, производят следующим образом:
 - $C_U = U_H / N$ - число вольт, приходящееся на одно деление шкалы;
 - $C_I = I_H / N$ - число ампер, приходящееся на одно деление шкалы;
 - N - число делений шкалы соответствующего прибора.
- Но иногда встречаются приборы с неравномерно разбитой по делениям шкалой, цену деления нужно определять на участке шкалы, например, цену малых делений определяют на участке между большими делениями с цифровой разметкой.
- Важной характеристикой прибора является *чувствительность S*, которую, например, для вольтметра S_U амперметра S_I определяют следующим образом:
 - $S_U = N / U_H$ - число делений шкалы, приходящееся на 1 В;
 - $S_I = N / I_H$ - число делений шкалы, приходящееся на 1 А.
- Другой важной метрологической характеристикой прибора является его *надежность* - способность сохранять заданные характеристики при определенных условиях работы в течение заданного времени. Количественной мерой надежности является *вероятность безотказной работы (ВБР)* - вероятность того, что в течение определенного времени T непрерывной работы не произойдет ни одного отказа. Так, амперметры и вольтметры типа **Э8027** имеют минимальное значение **ВБР** 0,96 за 2000 ч непрерывной работы. Иными словами, из 100 таких приборов за 2000 часов непрерывной работы лишь 4 будут нуждаться в ремонте.

Основные системы электроизмерительных приборов

- Принцип действия приборов электромагнитной системы основан на механизме втягивания подвижного ферромагнитного сердечника внутрь неподвижной катушки под действием ее магнитного поля, создаваемого в катушке проходящим через нее измеряемым током. Наиболее широко распространены электромагнитные приборы с плоской катушкой (рис. 3.1).
- Прибор состоит из прямоугольной неподвижной катушки **4** через которую проходит измеряемый ток. Катушка имеет узкую щель, в которую может входить сердечник, выполненный в виде тонкого лепестка **3** из магнитомягкой стали и закрепленной эксцентрично на оси **7** прибора. К этой же оси прикреплены указательная стрелка **2**, спиральная пружина **5** и балансировочные грузы **6** и (или) может крепиться поршень воздушного успокоителя. Концы оси прибора удерживаются в подшипниках. Ток **I** проходя через витки катушки, создает магнитный поток, который, намагничивая стальной сердечник, втягивает его в катушку, причем тем сильнее, чем больше магнитная индукция поля катушки. При втягивании стального сердечника ось прибора отклоняется и стрелка отклоняется на некоторый угол α .

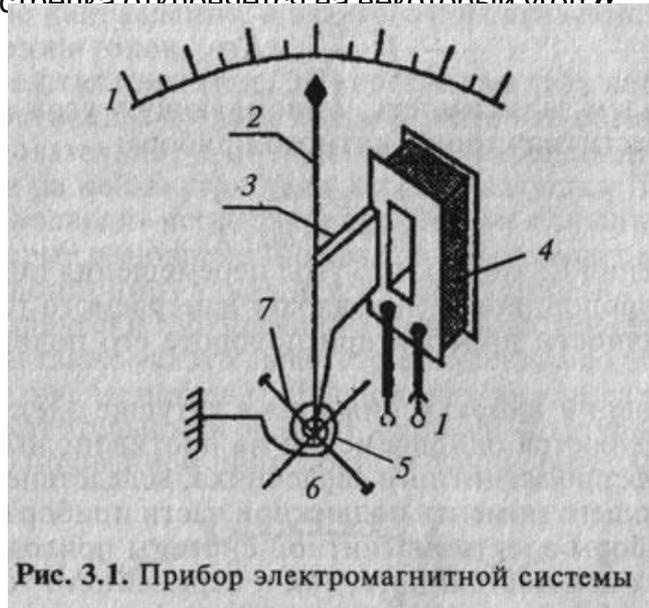
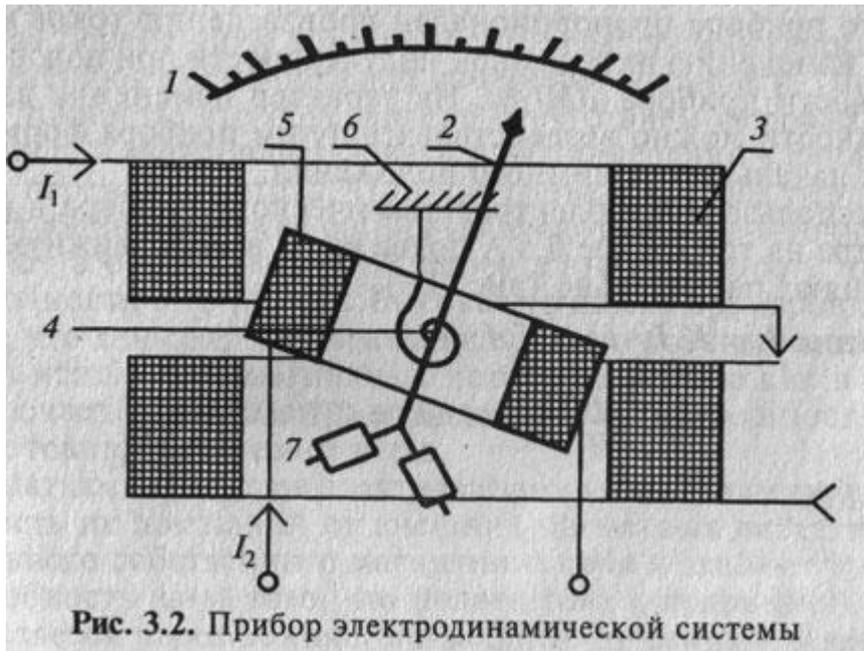


Рис. 3.1. Прибор электромагнитной системы

Приборы электродинамической системы

Принцип действия приборов электродинамической системы основан на взаимодействии проводников с токами. Известно, что два проводника с токами взаимно отталкиваются, если токи в них имеют одинаковое направление, и взаимно притягиваются при различном направлении токов.



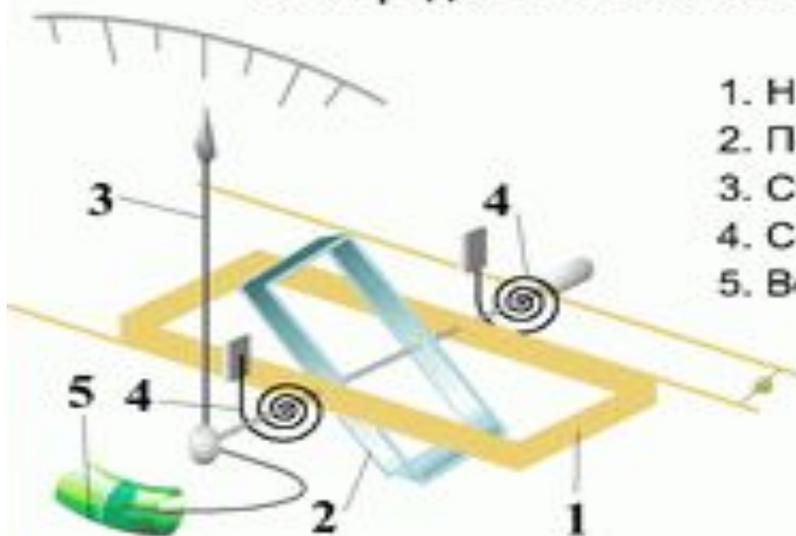
Прибор этой системы (рис. 3.2) состоит из двух катушек: неподвижной **3**, состоящей из двух секций, которые соединены между собой последовательно, и подвижной **5**, закрепленной на оси **4** и вращающейся на ней внутри неподвижной катушки. Ток к подвижной катушке подводят через закрепленные на оси спиральные пружинки **6**, которые одновременно создают противодействующий момент $M_{пр}$ пропорциональный углу закручивания α . При этом пружина электрически изолирована от оси. На оси подвижной катушки закреплены также указательная стрелка **2** и крыло воздушного успокоителя (на рис. не показан). Для повышения класса точности прибора и его чувствительности обмотку подвижной катушки выполняют из тонкой изолированной проволоки на ток не более **0,5 А**.

Электроизмерительные приборы — класс устройств, применяемых для измерения различных электрических величин.



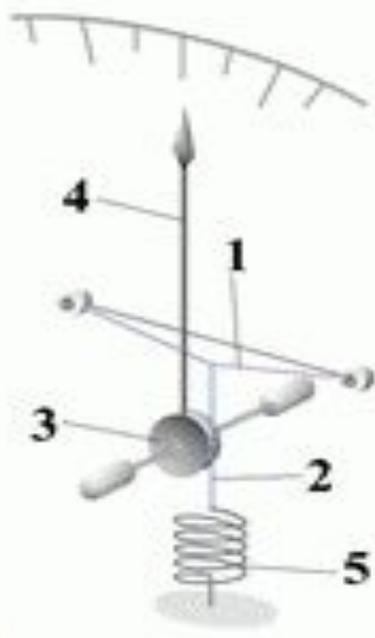
Электроизмерительные приборы

Электродинамическая система



1. Неподвижная катушка
2. Подвижный сердечник
3. Стрелка
4. Спиральная пружина
5. Воздушный демпфер

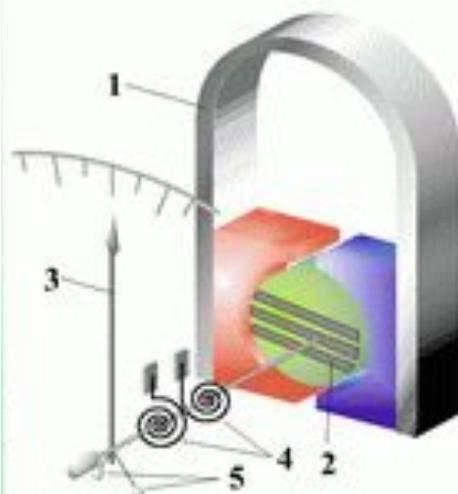
Тепловая система



1. Нагревающаяся электрическим током проволока
2. Оттягивающая нить
3. Ролик
4. Стрелка
5. Пружина

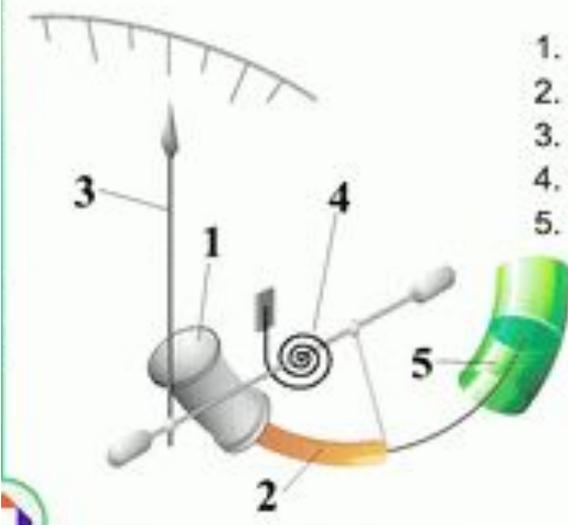
Электроизмерительные приборы

Магнитноэлектрическая система



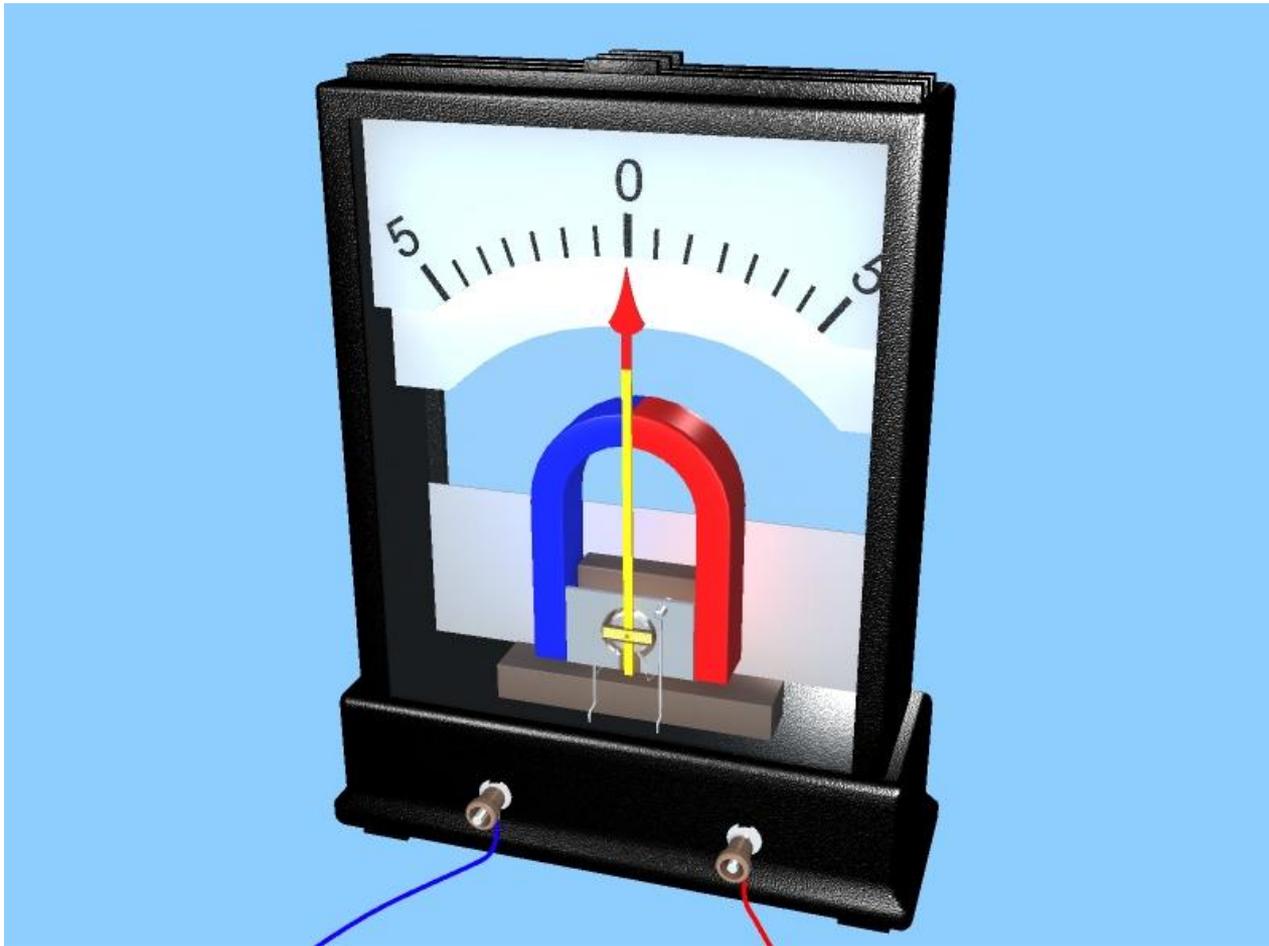
1. Постоянный магнит
2. Подвижная катушка с сердечником
3. Стрелка
4. Спиральные пружины
5. Противовесы

Электромагнитная система



1. Неподвижная катушка
2. Подвижный сердечник
3. Стрелка
4. Спиральная пружина
5. Воздушный демпфер

Электроизмерительные приборы устроены на основе взаимодействия магнитных полей



- **Счетчики** - это электроизмерительные приборы для учёта электроэнергии, отдаваемой станцией в сеть или получаемой потребителем от сети за определённый промежуток времени.

