

Электрическая энергия, ее особенности и область применения

Электрическая энергия — это энергия движущихся по проводникам свободных электронов. Она универсальна и удобна к применению в силу многих причин.

1. В электрическую энергию легко преобразуются любые виды энергии (тепловая, атомная, механическая, химическая, лучистая, энергия водного потока), и, наоборот, электрическая энергия легко может быть преобразована в любой другой вид энергии.
2. Электроэнергию можно передавать практически на любое расстояние.
3. Ее можно легко дробить на любые части (мощность электроприборов может быть от долей ватта до тысяч киловатт).
4. Процессы получения, передачи и потребления электроэнергии можно просто и эффективно автоматизировать.
5. Управление процессами, в которых используется электроэнергия, обычно очень простое (нажатие кнопки, выключателя и т. п.).
6. Использование электрической энергии способствует созданию комфортных условий труда.

Единственным недостатком электроэнергии является отсутствие «склада готовой продукции». Запасать электроэнергию и сохранять эти запасы в течение больших сроков человечество еще не научилось. Запасы электроэнергии в аккумуляторах, гальванических элементах и конденсаторах достаточны лишь для работы сравнительно маломощных установок, причем сроки хранения этих запасов ограничены. Поэтому электроэнергия должна быть произведена тогда и в таком количестве, когда и в каком количестве ее требует потребитель.

Общие сведения об электроизмерительных приборах

Электроизмерительные приборы предназначены для измерения различных величин и параметров электрической цепи: напряжения, силы тока, мощности, частоты, сопротивления, индуктивности, емкости и др.

На схемах электроизмерительные приборы изображаются условными графическими обозначениями в соответствии с ГОСТ 2.729-68 «Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические в схемах. Приборы электроизмерительные».

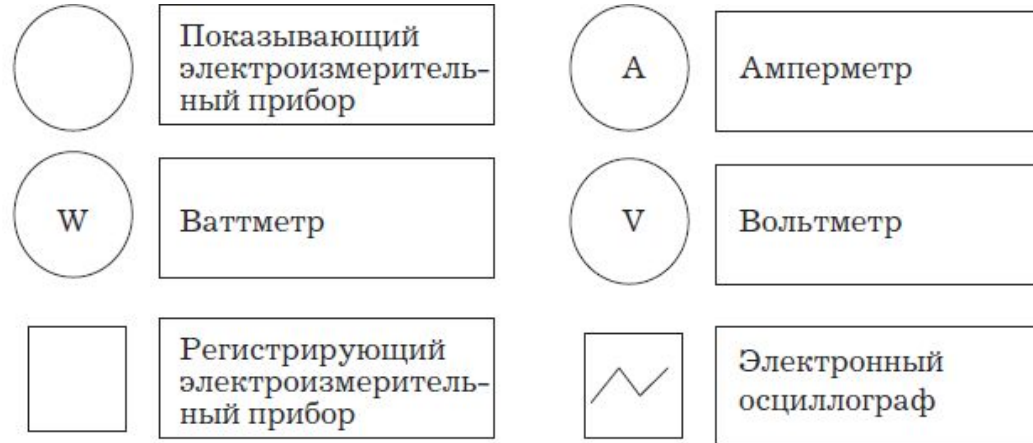


Рисунок 1. Условные графические обозначения электроизмерительных приборов


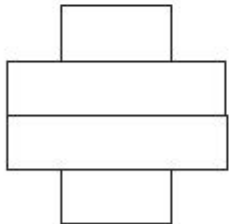
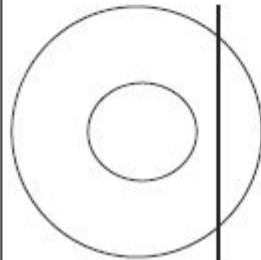
Для указания назначения электроизмерительного прибора в его общее обозначение вписывают конкретизирующее условное обозначение, установленное в стандартах, или буквенное обозначение единиц измерения прибора согласно ГОСТ 23217-78 «Приборы электроизмерительные аналоговые с непосредственным отсчетом. Наносимые условные обозначения»

Наименование единицы измерения	Условное обозначение	Наименование единицы измерения	Условное обозначение
Ампер	A	Миллиампер	mA
Вольт	V	Микроампер	μ A
Ом	Ω	Милливольт	mV
Ватт	W	Киловатт	kW
Герц	Hz	Киловар	Kvar
Коэффициент мощности	$\cos\varphi$	Мегаом	M Ω

Электромеханические измерительные приборы

По принципу действия электромеханические приборы подразделяются на приборы магнитоэлектрической, электромагнитной, электродинамической, индукционной, электростатической систем. Условные обозначения систем приведены в таблице. Наибольшее распространение получили приборы первых трех типов: магнитоэлектрические, электромагнитные, электродинамические.

Тип прибора	Условное обозначение	Род измеряемого тока	Достоинства	Недостатки
Магнитоэлектрический		Постоянный	Высокая точность, равномерность шкалы	Неустойчив к перегрузкам

Электромагнитный		Переменный и постоянный	Простота устройства, к перегрузкам устойчив	Низкая точность, чувствителен к помехам
Электродинамический		Переменный и постоянный	Высокая точность	Низкая чувствительность, чувствителен к помехам
Индукционный		Переменный	Высокая надежность, к перегрузкам устойчив	Низкая точность

Способы включения приборов в цепь

Амперметры включают в цепь последовательно с нагрузкой, вольтметры — параллельно, ваттметры и счетчики, как имеющие две обмотки (токовую и напряжения), включают последовательно-параллельно (рис. 2.).

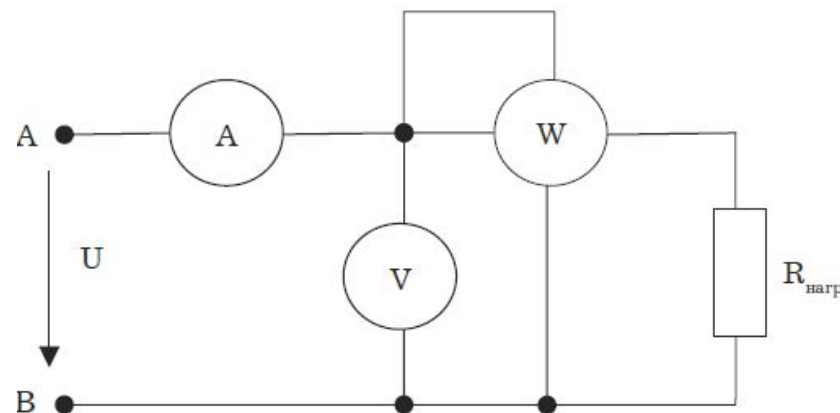


Рисунок 2. Схемы включения электроизмерительных приборов в электрическую цепь

Для расширения пределов измерения приборов применяют:

- 1) в цепи постоянного тока для амперметров — шунты. При этом на шкале амперметра обязательно указывается тип применяемого шунта, для вольтметров — добавочные резисторы.
- 2) В цепи переменного тока для амперметров — трансформаторы тока (ТА), для вольтметров — трансформаторы напряжения (ТВ).

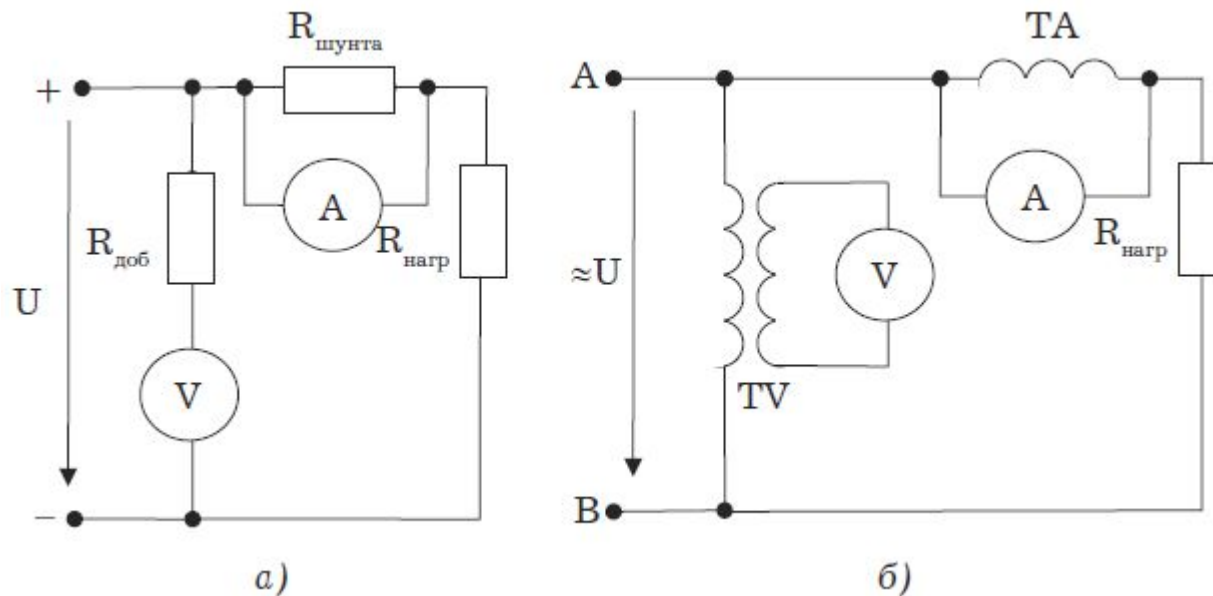


Рис. 1.3. Способы расширения пределов измерения приборов:
а — в цепи постоянного тока; б — в цепи переменного тока

Цена деления многопредельных амперметров, вольтметров, ваттметров определяется по формуле

$$C_I = \frac{I_H}{N} \left[\frac{A}{\text{дел.}} \right], C_U = \frac{U_H}{N} \left[\frac{B}{\text{дел.}} \right], C_W = \frac{I_H \times U_H}{N} \left[\frac{Вт}{\text{дел.}} \right].$$

где I_H , U_H — пределы, на которые установлены переключатели тока и напряжения у многопредельных приборов, или номинальные пределы измерений у однопредельных приборов;

N — число делений шкалы прибора.

Измеряемая величина определяется по формулам:

$$I = nC_I, A; U = nC_U, B; P = n \cdot C_W, Вт,$$

где n — число делений, показываемое стрелкой прибора при измерении.

Особенности измерения цифровыми электронными приборами

Цифровые электроизмерительные приборы бывают для измерения как одной величины, например напряжения постоянного тока, так и нескольких величин, например тока, напряжения, сопротивления. Такие универсальные приборы называют мультиметрами.

Мультиметры имеют два вида переключателей: переключатель рода измеряемой величины — напряжения или тока постоянного или переменного, сопротивления, частоты и переключатель предела измерения. Кроме того, имеются клеммы или гнезда для подключения измерительных проводов.

Достоинства электронных приборов:

- высокое входное сопротивление, что позволяет проводить измерения без влияния на цепь; широкий диапазон измерений;
- высокая чувствительность;
- широкий частотный диапазон;
- высокая точность измерений.

Погрешности измерений и измерительных приборов

Качество средств и результатов измерений принято характеризовать указанием их погрешностей. Разновидностей погрешностей около 30.

Следует иметь в виду, что погрешности средств измерений и погрешности результатов измерений — понятия не идентичные.

В зависимости от решаемых задач используются несколько способов представления погрешности, чаще всего абсолютная, относительная и приведенная.

Абсолютная погрешность — измеряется в тех же единицах что и измеряемая величина. Характеризует величину возможного отклонения истинного значения измеряемой величины от измеренного.

Относительная погрешность — отношение абсолютной погрешности к значению величины. Если мы хотим определить погрешность на всем интервале измерений, мы должны найти максимальное значение отношения на интервале. Измеряется в безразмерных единицах.

Класс точности — относительная погрешность, выраженная в процентах. Обычно значения класса точности выбираются из ряда: 0,1; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 и т. д.

Понятия абсолютной и относительной погрешностей применяют и к измерениям, и к средствам измерения, а приведенная погрешность оценивает только точность средств измерения.

Абсолютная погрешность измерения — это разность между измеренным значением x и ее истинным значением x_u :

$$\Delta = x - x_u. \quad (1.1)$$

Обычно истинное значение измеряемой величины неизвестно, и вместо него в формулу подставляют значение величины, измеряемой более точным прибором, т. е. имеющим меньшую погрешность, чем прибор, дающий значение x .

Абсолютная погрешность выражается в единицах измеряемой величины.

Относительная погрешность δ измерения равна отношению абсолютной погрешности к истинному значению измеряемой величины и выражается в процентах:

$$\delta = \frac{\Delta}{x_u} \times 100\%. \quad (1.2)$$

По относительной погрешности измерения проводят оценку точности измерения.

Приведенная погрешность измерительного прибора γ определяется как отношение абсолютной погрешности к нормирующему значению x_N и выражается в процентах

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} \times 100\%. \quad (1.3)$$

Нормирующее значение обычно принимают равным верхнему пределу рабочей части шкалы, у которой нулевая отметка находится на краю шкалы.

Приведенная погрешность определяет точность измерительного прибора, не зависит от измеряемой величины и имеет единственное значение для данного прибора.

Из (1.3) следует, что для приборов абсолютная погрешность Δ -величина, постоянная по всей шкале, тогда как относительная погрешность измерения δ , тем больше, чем меньше измеряемая величина x по отношению к пределу измерения прибора x_N .

Многие измерительные приборы различаются по классам точности. Класс точности прибора G — обобщенная характеристика, которая характеризует точность прибора, но не является непосредственной характеристикой точности измерения, выполняемого с помощью данного прибора.

Класс точности прибора численно равен наибольшей допустимой приведенной основной погрешности, вычисленной в процентах.

Для амперметров и вольтметров установлены следующие классы точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0; 5,0.

Эти числа наносятся на шкалу прибора. Например, класс 1 характеризует гарантированные границы погрешности в процентах ($\pm 1\%$, например, от конечного значения 100 В, т. е. ± 1 В) в нормальных условиях эксплуатации.

По международной классификации приборы с классом точности 0,5 и точнее считаются точными или образцовыми, а приборы с классом точности 1,0 и грубее — рабочими. Все приборы подлежат периодической поверке на соответствие метрологических характеристик, в том числе и класса точности, их паспортным значениям.

При этом образцовый прибор должен быть точнее поверяемого через класс, а именно: поверка прибора с классом точности 4,0 проводится прибором с классом точности 1,5, а поверка прибора с классом точности 1,0 проводится прибором с классом точности 0,2.

Поскольку на шкале прибора приводится и класс точности прибора G , и предел измерения X_N , то абсолютная погрешность прибора определяется из формулы (1.3):

$$\Delta = \pm \frac{\gamma X_N}{100} = \pm \frac{GX_N}{100}. \quad (1.4)$$

Связь относительной погрешности измерения δ с классом точности прибора G выражается формулой

$$\delta = G \frac{X_N}{x}, \quad (1.5)$$

откуда следует, что относительная погрешность измерения равна классу точности прибора только при измерении предельной величины на шкале, т. е. когда $x = X_N$. С уменьшением измеряемой величины относительная погрешность возрастает.

Во сколько раз $X_N > x$, во столько раз $\delta > G$. Поэтому рекомендуется выбирать пределы измерения показывающего прибора так, чтобы отсчитывать показания в пределах последней трети шкалы, ближе к ее концу.

Представление результата измерений при однократных измерениях

Результат измерения состоит из оценки измеряемой величины и погрешности измерения, характеризующей точность измерения. По МИ 1317-86 «Методические указания. Государственная система обеспечения единства измерений. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров» результат измерения представляют в форме:

$$A \pm \Delta, P, \quad (1.6)$$

где A — результат измерения;

Δ — абсолютная погрешность прибора;

P — вероятность при статистической обработке данных.

При этом A и Δ должны оканчиваться цифрами одинакового разряда, а погрешность Δ не должна иметь более двух значащих цифр.

Если при обработке данных теория вероятности не применялась, то вероятность P не указывают.

Измерения, проводимые при выполнении большинства работ, относятся к техническим, которые выполняют однократно.

Погрешность прямых однократных измерений определяется погрешностью измерительного прибора γ .

Пример. Измеряют напряжение сети U щитовым вольтметром типа Э-377, класса точности 1,5, с пределом шкалы 250 В. Показание вольтметра $U = 215$ В.

Сначала определяют абсолютную погрешность вольтметра:

$$\Delta = \pm \frac{\gamma X_N}{100} = \frac{GX_N}{100} = \frac{1,5 \times 250}{100} = 3,75 \approx 4 \text{ В.}$$

Затем записывают результат измерения с оценкой погрешности:

$$U = (215 \pm 4) \text{ В.}$$

Относительная погрешность измерения составляет:

$$\delta = G \frac{X_N}{x} = \frac{1,5 \times 250}{215} = 1,7\%.$$

В окончательном ответе должно быть записано: «Измерение проведено с относительной погрешностью $\delta = 1,7\%$. Измеренное напряжение $U = (215 \pm 4)$ В».

Косвенные измерения и их погрешности

Косвенным измерением называется измерение, при котором искомая величина находится по известной зависимости между этой величиной и другими величинами, полученными в результате прямых измерений.

Например, сопротивление R можно определить по формуле $R = U/I$, где напряжение U и ток I измерены вольтметром и амперметром соответственно.

Выражения для абсолютной и относительной погрешностей некоторых функциональных зависимостей приведены в таблице.

Вид формулы	Абсолютная погрешность	Относительная погрешность
$P = UI$, Постоянный ток $R = U/I$	$\Delta P = U\Delta I + \Delta UI$ $\Delta R = (I\Delta U + U\Delta I)/I^2$	$\delta_P = \delta_U + \delta_I$
$P = UI\cos\varphi$ Переменный ток	$\Delta P = UI\Delta\cos\varphi + U\Delta I\cos\varphi + \Delta UI\cos\varphi$	$\delta_P = \delta_U + \delta_I + \delta_{\cos\varphi}$
$X = A - B$ Постоянный и переменный ток	$\Delta X = \Delta A + \Delta B$	
$X = A + B + C$ Постоянный и переменный ток	$\Delta X = \Delta A + \Delta B + \Delta C$	$\delta X = (\Delta A + \Delta B + \Delta C)/(A + B + C)$

Очевидно, что погрешности косвенного измерения значения X часто значительно превосходят по величине погрешности прямого измерения электрических величин. Поэтому целесообразно по возможности применять для исследования электрических цепей прямые измерения.