

# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ (ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН)

## 1. Значение измерений

Сколько существует человечество, столько существуют задачи измерений. При этом по мере появления новых областей деятельности человека появляются и решаются новые задачи измерений новых величин, новых технических и технологических параметров. А что такое измерение какой-то физической величины? Это сравнение и оценка неизвестного значения определенной физической величины при помощи известного общепринятого значения этой физической величины, единицы измерений, которая имеет свое общепринятое название (грамм, метр, ампер, вольт и т. д.). Для измерений, т. е. для сравнения неизвестных значений физических величин с известными значениями, разработаны и общеприняты специальные эталоны различных физических величин.

Эти измерения, т. е. сравнения неизвестных значений физических величин с эталонами, чаще всего производят при помощи измерительных приборов, разработанных и изготовленных специально для каждой физической величины.

Развитие средств измерений является одной из основных возможностей познания природы, ее явлений и законов, развития техники.

Особенно важную роль в познании природы и развитии электротехники играют электрические измерения, которые позволили за короткий исторический срок с 1800 года развить электротехнику, электронику, микропроцессорную технику до высочайшего уровня. Ведь электрические и магнитные явления и величины не воспринимаются непосредственно нашими органами чувств. Поэтому изучение этих явлений и их количественные определения возможны только при помощи электроизмерительных приборов.

Любая электроустановка, а тем более сложная, может работать нормально, если все ее составляющие элементы – генераторы, приемники и другие элементы электрической цепи удовлетворяют определенным техническим требованиям. А это можно проверить только при помощи измерительных приборов. В современное время во всех сферах человеческой деятельности широко используются электрические установки и электрические измерения и электрических, и неэлектрических величин. Это означает, что электрические измерения

обеспечивают рациональное ведение любых технологических процессов и, следовательно, улучшают технико-экономические показатели работы любого предприятия.

Отсюда вывод – каждый специалист любой специальности должен знать и уметь:

1. Какие существуют электрические измерительные приборы.
2. Выбрать измерительный прибор для измерений нужной величины с необходимой точностью.
3. Правильно включить прибор и произвести измерение.
4. Правильно оценить полученные результаты измерений.

## 2. Общие сведения

**Измерение** – это процесс сравнения опытным путем измеряемой физической величины с некоторым значением этой физической величины, принятой за единицу. Это сравнение осуществляется при помощи специальных технических средств – электроизмерительных приборов.

Средства электрических измерений применяют не только для получения информации об измеряемой физической величине, но и для осуществления постоянного контроля и управления различными технологическими процессами с помощью микропроцессорных систем. Развитие микропроцессорных систем управления технологическими процессами предъявляет все более жесткие требования к точности и надежности средств электрических измерений и стимулирует дальнейшее развитие средств измерений и телеизмерений.

**Мера** – это образец, аттестованный метрологическим учреждением, и представляющий собой техническое средство, служащее для вещественного воспроизведения единицы определенной физической величины.

В электрических измерениях используют меры ЭДС, тока, сопротивления, индуктивности, взаимной индуктивности и емкости.

Техническое средство измерений, электроизмерительный прибор – это устройство, с помощью которого вырабатывается сигнал измерительной информации в форме, доступной восприятию человека.

## 3. Погрешности измерений

Показания электроизмерительных приборов всегда несколько отличаются от действительных значений измеряемых величин. Это вы-

звано непостоянством параметров измерительной цепи, несовершенством конструкции измерительных механизмов (наличие трения и т. д.), влиянием внешних факторов (внешние магнитные и электрические поля, изменения температуры окружающей среды, влажности и т. д.).

Для характеристики несоответствия между измеренной и действительной величинами используется понятие погрешностей измерений.

1. Абсолютная погрешность  $\pm \Delta A = A_{и} - A_{д}$ , где  $A_{и}$  – результат измерений,  $A_{д}$  – действительная величина.

2. Относительная погрешность в процентах

$$\gamma = \frac{\pm \Delta A}{A_{д}} 100 \% = \frac{A_{и} - A_{д}}{A_{д}} 100 \%. \quad (2.1)$$

Однако  $A_{д}$  нам неизвестна. Мы ее пытаемся определить. Следовательно, погрешность измерения по этой формуле определить нельзя. Поэтому ввели понятие приведенной погрешности.

3. Основная *приведенная погрешность* прибора в процентах

$$\gamma_{пр} = \frac{\pm \Delta A}{A_{н}} 100 \% = \frac{A_{и} - A_{н}}{A_{н}} 100 \%, \quad (2.2)$$

где  $A_{н}$  – номинальная измеряемая величина прибора.

Однако в качестве  $A_{н}$  принимают *максимальное* значение измеряемой величины данным прибором (*предел шкалы прибора*).

Приведенная погрешность прибора  $\gamma_{пр}$  в процентах определяет *класс точности* прибора. Например, класс точности 0,5 имеет  $\gamma_{пр} = \pm 0,5 \%$ . Эта погрешность  $\gamma_{пр}$  называется основной, так как она гарантирована в нормальных условиях работы прибора:  $t^{\circ} = 20^{\circ} \text{C}$  отсутствие внешних магнитных полей, правильное положение прибора и т. д. При других условиях возникают *дополнительные* погрешности.

Из уравнений (2.1) и (2.2) можно получить

$$\gamma = \gamma_{пр} \frac{A_{н}}{A_{д}}. \quad (2.3)$$

Следовательно, для прибора данного класса относительная погрешность измерения  $\gamma$  *не может быть меньше* класса  $\gamma_{пр}$ . И чем ближе измеренная величина к *пределу шкалы* прибора  $A_{н}$ , тем погрешность измерения  $\gamma$  будет ближе к  $\gamma_{пр}$ . Поэтому при измерениях,

чтобы уменьшить  $\gamma$ , надо прибор выбирать такой, у которого *измеряемая* величина была бы как можно *ближе к пределу шкалы* – чтобы показания прибора были *не менее  $\frac{3}{4}$  предела шкалы*.


*Пример.* Вольтметром измерили напряжение  $U$ . Получили  $U = 80$  В. Вольтметр класса точности  $\gamma_{\text{пр}} = 1,0$ . Предел измерения вольтметра 150 В. Тогда абсолютная погрешность  $\Delta U = \pm 1,0 \frac{150}{100} = \pm 1,5$  В. Следовательно,  $U_{\text{д}} = 80 - (\pm 1,5) = 80 \mp 1,5$  В. Тогда относительная погрешность измерения (в пределах)  $\gamma = \frac{\pm 1,5}{80 \mp 1,5} 100 \% = (1,91 \% \div -1,84 \%)$ .

#### 4. Классификация измерительных приборов


Как выше было сказано, для измерений каждой физической величины, в том числе и электрической, разработаны и используются специальные приборы. Следовательно, основная классификация и электрических измерительных приборов обусловлена электрическими величинами (параметрами). Ее часто называют классификацией:

• **По роду измеряемой величины:**

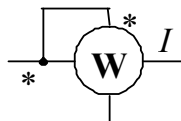
1. Вольтметр – прибор для измерения напряжения  $U$  и ЭДС  $E$ . Единица измерения вольт (В). Условно-графическое обозначение

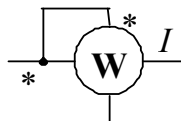
прибора . Подключают к двум точкам цепи, между которыми необходимо измерить напряжение. А чтобы вольтметр при включении не изменял сопротивление между этими точками, вольтметр должен иметь большое внутреннее сопротивление, «стремящееся к бесконечности».

2. Амперметр – прибор для измерения электрического тока (иногда называют силы тока)  $I$ . Единица измерения ампер (А). Обозначение прибора

. Включают амперметр в разрыв электрической цепи, чтобы весь электрический ток  $I$  проходил через прибор. А чтобы прибор не изменил сопротивление всей цепи, амперметр должен иметь малое внутреннее сопротивление, близкое к нулю. «Нулевое» сопротивление – это «мечта амперметра».


3. Ваттметр – прибор для измерения активной электрической мощности. Единица измерения ватт (Вт).





Обозначение прибора . Как известно, активная мощность в электрической цепи определяется действующими значениями напряжения  $U$  и тока  $I$ , которые измеряются вольтметром и амперметром соответственно. Поэтому ваттметр имеет две обмотки, одна из которых измеряет напряжение  $U$  (включается и работает как вольтметр), а другая измеряет электрический ток  $I$  (включается в разрыв цепи и работает как амперметр). Для нормальной работы ваттметра выводы токовой обмотки и обмотки напряжения, отмеченные «звездочкой», соединяются вместе, как показано на рисунке (обозначение ваттметра).

Магнитное поле неподвижной обмотки  $I_* - I$  создает такую магнитную силу, которая, взаимодействуя с магнитным полем подвижной обмотки  $U_* - U$ , заставляет эту подвижную обмотку поворачиваться на угол  $\varphi$ , пропорциональный мощности  $P = UI \cos \varphi$ .


4. Частотомер – прибор для измерения частоты электрического тока в приемнике. Единица измерения частоты герц. Обозначение

прибора .

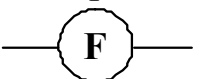
5. Фазометр – прибор для измерения сдвига фаз между электрическими величинами. Обозначение .

6. Омметр – прибор для измерения электрического сопротивления. Единица измерения ом. Обозначение .

7. Генриметр – прибор для измерения индуктивности катушки (обмотки). Единица измерения индуктивности генри. Обозначение

прибора .

8. Фарадометр – прибор для измерения электрической емкости электрического конденсатора. Единица измерения емкости фарада.

Обозначение прибора . Так как фарада – сверхбольшая величина, то электрические емкости измеряют в микрофарадах  $C = 1 \text{ мкФ} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$ , или в пикофарадах  $C = 1 \text{ пкФ} = 1 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$ .

9. Счетчик киловатт-часов – прибор для измерения энергии, полученной приемником в течение определенного времени. Обозначение

— kWh —  
ние .

• **По методу измерения:**

1. Приборы непосредственной оценки.
2. Приборы сравнения – компенсационные и мостовые.

• **По роду измеряемого тока:**

1. Для измерения электрических величин постоянного тока.
2. Для измерения электрических величин однофазного переменного тока.
3. Для измерения электрических величин трехфазного тока.

• **По степени точности прибора (по классам точности):**

0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5. Класс точности определяет минимальную относительную погрешность измерений в процентах, которую может обеспечить данный прибор. Так, например, прибор класса 0,1 может обеспечить измерение с погрешностью 0,1 %, согласно с уравнением (2.3), только при  $A_d = A_n$ . Если стрелка прибора показывает меньше  $A_n$ , то погрешность  $\gamma > 0,1$  %.

• **По принципу действия различают приборы с:**

- 1) магнитоэлектрической системой;
- 2) электромагнитной системой;
- 3) электродинамической системой;
- 4) индукционной системой;
- 5) электростатической системой;
- 6) ферродинамической системой;
- 7) логометры.

• **По представлению информации:**

1. Аналоговые приборы.
2. Цифровые приборы.

## 5. Методика измерений

1. Главное требование при любых измерениях – измерения не должны изменять параметры, характеристики и ход контролируемого процесса, изменять параметры и характеристики электрической цепи. Это означает, что включение в электрическую цепь любого измеряющего прибора не должно изменять электрическое сопротивление цепи (активное, индуктивное, емкостное). В противном случае мы получим

весьма искаженные результаты измерений даже при использовании высокоточного прибора, если неправильно включим его в цепь, или испортим сам прибор. Поэтому, прежде чем приступить к измерениям, необходимо внимательно изучить инструкцию по использованию выбранного измерительного прибора, а при отсутствии ее – получить пояснения у специалиста.

Рассмотрим методику измерений при помощи наиболее часто используемых приборов – вольтметров, амперметров и ваттметров. Знание этой методики необходимо также студентам при выполнении лабораторных работ по электротехнике.

2. Итак, самый-самый первостепенный прибор в электротехнике – это вольтметр. Как мы уже знаем, вольтметр предназначен для измерения электрического напряжения.

3. Измерение электрического тока осуществляется при помощи амперметров. Для этого необходимо весь ток пропустить через амперметр. Следовательно, амперметр необходимо включить в разрыв цепи. Но чтобы при его включении амперметр не искажал результаты измерений, необходимо, чтобы он (амперметр) имел сопротивление во много раз меньше, чем сопротивление цепи, в которой измеряется электрический ток.

На рис. 2.1 приведена схема замещения простейшей электрической цепи постоянного тока, в которой включен амперметр для измерения тока. Для того чтобы включение амперметра не изменило сопротивление всей цепи, т. е. не изменило действующего тока в цепи, необходимо, чтобы амперметр имел сопротивление многократно меньше сопротивления всей цепи, т. е.  $r_a \ll R_{\text{и}} + R_{\text{н}}$ . «Мечта амперметра» – иметь нулевое сопротивление. Тогда измеренный амперметром ток будет  $I = \frac{E}{R_{\text{и}} + R_{\text{н}}}$ .

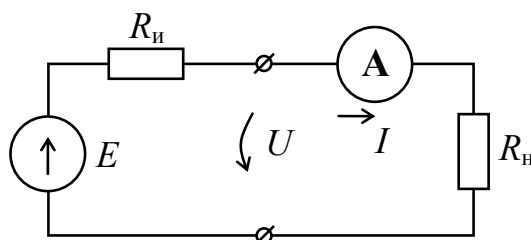


Рис. 2.1. Схема замещения электрической цепи

Измерение переменного тока выполняется по такой же методике, но амперметр выбирается для измерения переменного тока. Но при этом следует помнить, что амперметр измеряет не амплитудное значение, а действующее значение  $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$  (см. § 4.2 в гл. 2).

4. Измерение активной мощности в электрической цепи. Как известно, активная мощность определяется по формуле  $P = UI \cos \varphi$ . Следовательно, измерив напряжение и ток, мы определим и мощность. Поэтому для разовых измерений мощности нам не необходим ваттметр. Однако в тех случаях, когда требуется постоянный контроль мощности в электрической цепи, необходимо устанавливать ваттметр.

В этих случаях ваттметры устанавливаются перед тем участком, мощность электрической цепи которого намерены контролировать. На рис. 2.2 приведена схема замещения электрической цепи, в которой установлены ваттметры.

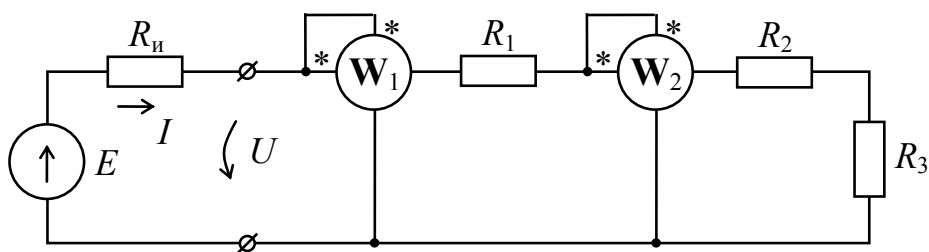


Рис. 2.2. Контроль мощности

5. Напряжение действует между двумя точками электрической цепи. Пусть нам необходимо измерить напряжение  $U_n$  на приемнике электрической энергии между точками 1 и 2, как показано на рис. 2.3 (схема замещения электрической цепи постоянного тока). Вольтметр необходимо включить параллельно сопротивлению нагрузки (приемника) между клеммами 1–2. Но для того чтобы вольтметр не исказил действительное значение напряжения  $U_n$ , необходимо, чтобы он имел сопротивление  $R_V \gg R_n$ . В идеале вольтметр должен иметь  $R_V \rightarrow \infty$ . Это «мечта вольтметра» – иметь бесконечно большое сопротивление! Только в этом случае  $U_n = \frac{E}{R_n + R_n} R_n$  не изменится при



включении вольтметра, так как сопротивление между точками 1-2  $R_{1-2} = \frac{R_V R_H}{R_V + R_H} = \frac{R}{1 + \frac{R_H}{R_V}} = R_H$ . При  $R_V \gg R_H$   $U_H = U_V$ .

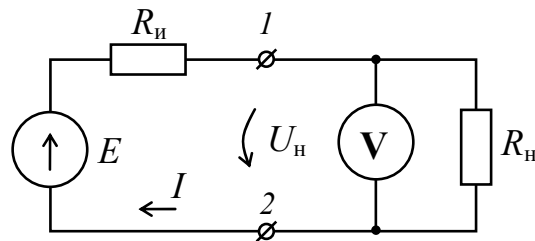


Рис. 2.3. Схема замещения электрической цепи

И в общем случае, в любой сколь угодно сложной цепи, при измерении напряжений между двумя любыми точками цепи необходимо соблюдать правило: сопротивление вольтметра должно быть многократно больше сопротивления между этими точками электрической цепи. Только тогда мы получим удовлетворительные результаты измерения.

Измерение напряжения в электрической цепи переменного синусоидального тока выполняется по такой же методике, но вольтметр выбирается для измерения переменного напряжения. При этом вольтметр измеряет не амплитудное значение напряжения  $U_m$ , а действующее значение  $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$  (тоже в вольтах).

В более сложных электрических цепях может появиться необходимость измерить напряжение на различных участках цепи. Например, на рис. 2.4 приведена электрическая цепь, где необходимо измерить напряжение на двух участках цепи.

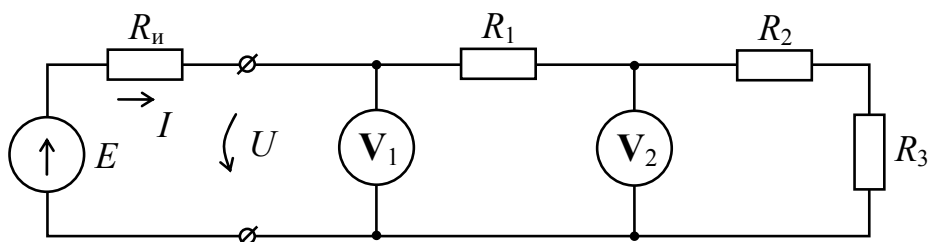


Рис. 2.4. Измерение напряжения на двух участках цепи

В этих случаях вольтметр включают параллельно участку электрической цепи перед тем участком цепи, на котором необходимо измерить напряжение.