

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ В ЦЕПЯХ
ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

**Методические указания к лабораторной работе
по дисциплине
«Метрология, стандартизация и сертификация»**

Казань 2016

УДК 621.317

ББК 31.221

И51

И51 Измерение мощности в цепях постоянного и переменного тока: методические указания к лабораторной работе / Сост.: А.А. Наумов, С.В. Баландина, Н.А. Гарифуллина. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2016. – 12 с.

Приведено описание лабораторной работы по методам измерения мощности в цепях постоянного и переменного тока, показано влияние метода измерения на погрешности, а также определение погрешностей прямых и косвенных измерений.

Предназначено для студентов очной и заочной форм обучения по направлениям подготовки: «Электроэнергетика и электротехника», «Приборостроение», «Электроника и наноэлектроника», «Информатика и вычислительная техника», «Прикладная математика» и др.

УДК 621.317

ББК 31.221

Введение

Задача измерения мощности в электроэнергетике встречается достаточно часто. Для измерения мощности в цепях постоянного и переменного тока могут быть использованы методы прямого и косвенного измерения. В качестве средств измерений используются измерительные приборы с различными принципами действия, пределами измерения, классами точности, внутренними сопротивлениями и т.д. В процессе измерения следует оценивать точность измерения.

В данной работе студенты осваивают следующие компетенции:

- способность использовать технические средства для измерения основных параметров электроэнергетических и электротехнических объектов и систем и происходящих в них процессов;
- способность использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации электроэнергетических и электротехнических объектов, элементы экономического анализа в практической деятельности;
- готовность планировать экспериментальные исследования;
- готовность выполнять экспериментальные исследования по заданной методике, обрабатывать результаты экспериментов.

Цель работы

Целью настоящей работы является ознакомление студентов с методами и средствами измерения мощности в цепях постоянного и однофазного переменного тока, получение навыков работы с измерительными приборами и обработки результатов измерений, а также с причинами возникновения и способами учета погрешностей прямых и косвенных измерений мощности.

Краткие теоретические сведения

Для измерения мощности в цепях постоянного и переменного тока используют прямые и косвенные измерения. Прямые измерения мощности производятся электродинамическими и ферродинамическими ваттметрами, кроме того, используются цифровые ваттметры, в которых для нахождения мощности реализована функция перемножения векторов тока и напряжения. В лабораторных условиях электродинамические ваттметры до сих пор используются чаще других, они выпускаются в виде переносных многопредельных приборов с классом точности 0,1–0,5.

Мощность в цепях постоянного тока можно определить косвенным путем по показаниям амперметра и вольтметра. При таком измерении мощность P потребления нагрузки R определяется произведением тока в нагрузке I и падением напряжения на ней U :

$$P = U \cdot I = I^2 \cdot R.$$

При косвенных измерениях электрической мощности возможны две схемы включения приборов (рис. 1). В обоих случаях на результатах измерений сказывается погрешность, обусловленная влиянием внутреннего сопротивления вольтметра и/или амперметра. В схеме, представленной на рис. 1, а, амперметр измеряет не ток нагрузки, а сумму токов нагрузки $I_{\text{нагр}}$ и вольтметра I_V , в схеме, представленной на рис. 1, б, – показания вольтметра определяются не падением напряжения на нагрузке, а суммой падений напряжения на нагрузке $U_{\text{нагр}}$ и амперметре U_A .

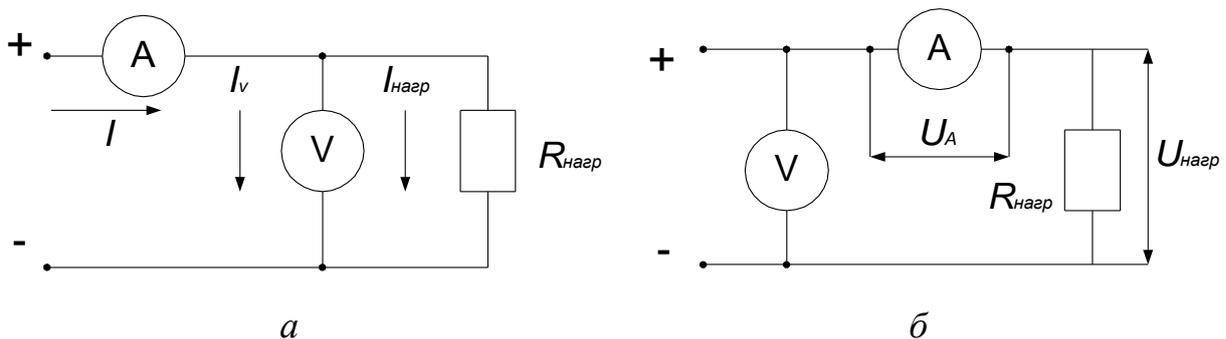


Рис. 1. Схемы косвенного измерения мощности: а – вольтметр параллельно нагрузке; б – амперметр последовательно с нагрузкой

Следовательно, в обоих случаях мощность, вычисленная на основании показаний амперметра и вольтметра, будет отличаться от действительного значения $P_{\text{д}}$. Первую схему лучше использовать, если $R_{\text{нагр}} \ll R_V$, вторую – если $R_{\text{нагр}} \gg R_A$, где $R_{\text{нагр}}$ – сопротивление нагрузки, а R_V и R_A – внутреннее сопротивление вольтметра и амперметра соответственно.

При выполнении косвенных измерений мощности, в соответствии с описанной выше процедурой, абсолютная погрешность влияния внутренних сопротивлений, в случае, изображенном на рис. 1, а, вычисляется по формуле

$$\begin{aligned}
 P &= U_V \cdot I_A = U_V \cdot (I_V + I_{\text{нагр}}) = U_V \cdot \left(I_{\text{нагр}} \frac{R_{\text{нагр}}}{R_V} + I_{\text{нагр}} \right) = \\
 &= P_{\text{Д}} \frac{R_{\text{нагр}}}{R_V} + P_{\text{Д}}, \\
 \Delta P &= P - P_{\text{Д}} = P_{\text{Д}} \frac{R_{\text{нагр}}}{R_V},
 \end{aligned}$$

а во втором случае (рис. 1, б) – по формуле

$$\begin{aligned}
 P &= U_V \cdot I_A = I \cdot (U_A + U_{\text{нагр}}) = I \cdot \left(U_{\text{нагр}} \frac{R_A}{R_{\text{нагр}}} + U_{\text{нагр}} \right) = \\
 &= P_{\text{Д}} \frac{R_A}{R_{\text{нагр}}} + P_{\text{Д}}, \\
 \Delta P &= P - P_{\text{Д}} = P_{\text{Д}} \frac{R_A}{R_{\text{нагр}}}.
 \end{aligned}$$

Оценка предельной результирующей относительной погрешности косвенных измерений мощности электрического тока проводится по формуле:

$$\delta_{P_{\text{мет}}} = \left(\frac{\Delta P}{P} \right) \cdot 100 \% = \left(\frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta U}{U} \right) \cdot 100 \% = \delta_I + \delta_U,$$

где ΔP , ΔI и ΔU – абсолютные погрешности измерений мощности, силы тока и напряжения соответственно.

В цепях переменного тока мгновенное значение мощности потребления $p(t)$ равны

$$p(t) = u(t) \cdot i(t),$$

где $u(t)$, $i(t)$ – мгновенные значения напряжения и тока нагрузки соответственно.

В цепях синусоидального тока измеряют активную P , реактивную Q и полную S мощности:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi;$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi;$$

$$S = U \cdot I,$$

где U , I – действительные значения напряжения и тока в цепи; φ – сдвиг по фазе между напряжением и током в нагрузке.

В однофазных цепях часто ограничиваются измерением активной мощности.

Описание лабораторного стенда

В лабораторной работе используется стенд СИПП-3. Измерение мощности прямым и косвенным методами выполняют при помощи следующих средств измерений: ваттметра, амперметра и вольтметра. В качестве нагрузки используется магазин сопротивлений Р-33 с диапазоном от 100 Ом до 100 кОм.

Питание схемы постоянным током осуществляется от встроенного источника регулируемого напряжения 0–50 В, переменным – от однофазного лабораторного автотрансформатора 0–250 В.

Предварительное задание

Перед выполнением экспериментальной части лабораторной работы каждый студент получает карточку с номиналами сопротивлений нагрузки. Необходимо рассчитать токи для всех схем при различных значениях нагрузки.

Рабочее задание

В данной лабораторной работе требуется произвести:

1. Прямые измерения мощности в цепи постоянного тока при двух схемах включения ваттметра;
2. Косвенные измерения мощности в цепи постоянного тока при двух схемах включения амперметра и вольтметра;
3. Прямые измерения мощности в цепи переменного тока при двух схемах включения ваттметра;
4. Косвенные измерения мощности в цепи переменного тока при двух схемах включения амперметра и вольтметра.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомьтесь со схемой лабораторного стенда, запишите в табл. 1 паспортные данные всех приборов (тип, класс точности, диапазон измерений, внутренние сопротивления последовательной или параллельной цепей приборов).

Таблица 1

Перечень измерительных приборов, используемых в лабораторной работе

| Наименование средства измерения | Класс точности | Диапазон измерения | Внутреннее сопротивление, Ом |
|---------------------------------|----------------|--------------------|------------------------------|
| | | | |

2. Соберите схему для прямого измерения мощности в цепи постоянного тока рис. 2, *а*. Установите напряжение источника питания $U_{\text{пит}} = 50$ В. Изменяя сопротивление нагрузки $R_{\text{нагр}}$ при помощи декад магазинов сопротивлений, выполните измерение мощности P_W для значений, указанных преподавателем.

3. Рассчитайте абсолютную погрешность из-за влияния внутреннего сопротивления ваттметра на результаты измерений, занесите ее в табл. 2.

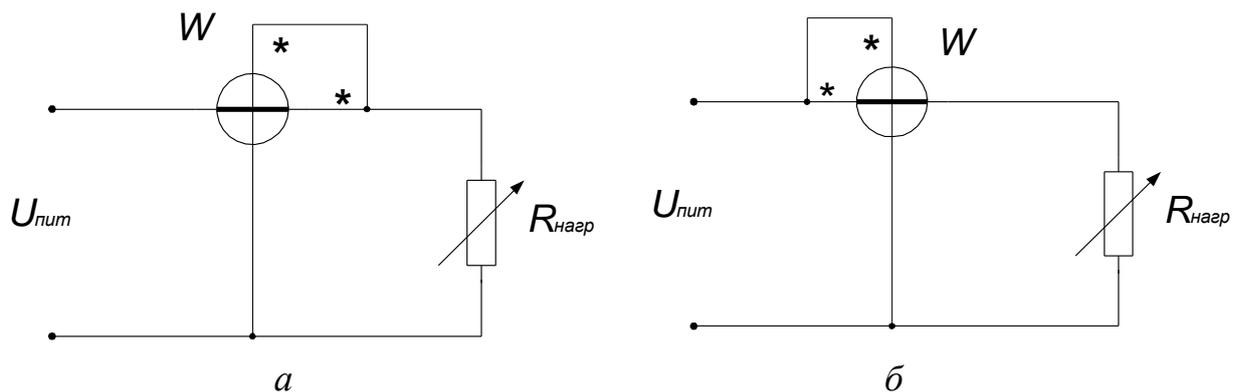


Рис. 2. Прямое измерение мощности: *а* – подвижная катушка параллельно нагрузке; *б* – неподвижная катушка последовательно с нагрузкой

4. Соберите схему рис. 2, *б*. Изменяя сопротивление магазина, аналогично выполните измерение мощности для значений сопротивлений нагрузки предыдущего пункта.

5. Рассчитайте абсолютную погрешность ΔP из-за влияния внутреннего сопротивления ваттметра на результаты измерений, занесите ее в табл. 2.

Таблица 2

Результаты прямого измерения мощностей

| Сопротивление нагрузки $R_{\text{нагр}}$, Ом | Результаты измерений по рис. 2, а | | Результаты измерений по рис. 2, б | |
|--|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| | Мощность P_W , Вт | Погрешность ΔP , Вт | Мощность P_W , Вт | Погрешность ΔP , Вт |
| | | | | |

6. Соберите схему для косвенного измерения мощности рис. 3, а, затем рис. 3, б. Снимите показания вольтметра и амперметра, устанавливая те же значения сопротивлений нагрузки, что и в предыдущих пунктах. Запишите результаты в табл. 3.

7. По результатам косвенных измерений рассчитайте измеренные значения мощности нагрузки $P_{\text{нагр}}$, абсолютные погрешности влияния сопротивления средств измерений.

8. Рассчитайте относительные погрешности, сделайте вывод, какой метод измерения мощности обеспечивает наивысшую точность.

9. Рассчитайте инструментальные погрешности средств измерений. Сделайте вывод о соотношении инструментальных погрешностей и погрешностей влияния сопротивлений средств измерений.

Таблица 3

Результаты косвенного измерения мощностей

| Сопротивление нагрузки $R_{\text{нагр}}$, Ом | Результаты измерений по рис. 3, а | | | Результаты измерений по рис. 3, б | | |
|--|-----------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| | Ток I , А | Напряжение U , В | Мощность, $P_{\text{нагр}}$, Вт | Ток I , А | Напряжение U , В | Мощность, $P_{\text{нагр}}$, Вт |
| | | | | | | |

10. Выполните прямые и косвенные измерения мощности в цепи переменного тока. Эксперименты проводятся аналогично по схемам рис. 2, и рис. 3. Питание осуществляется от ЛАТРа и устанавливается равным 50 В. Результаты измерений запишите в таблицы, аналогичные табл. 2 и табл. 3. Сделайте выводы о погрешностях измерений.

Указания по выполнению эксперимента

Поскольку измерение мощности происходит для широкого диапазона значений сопротивления, при выполнении задания изменяйте по необходимости пределы измерений ваттметра, вольтметра и амперметра так, чтобы показания попадали в рабочий диапазон средств измерений (рекомендуется, чтобы показания оказывались как можно ближе к пределу шкалы прибора).

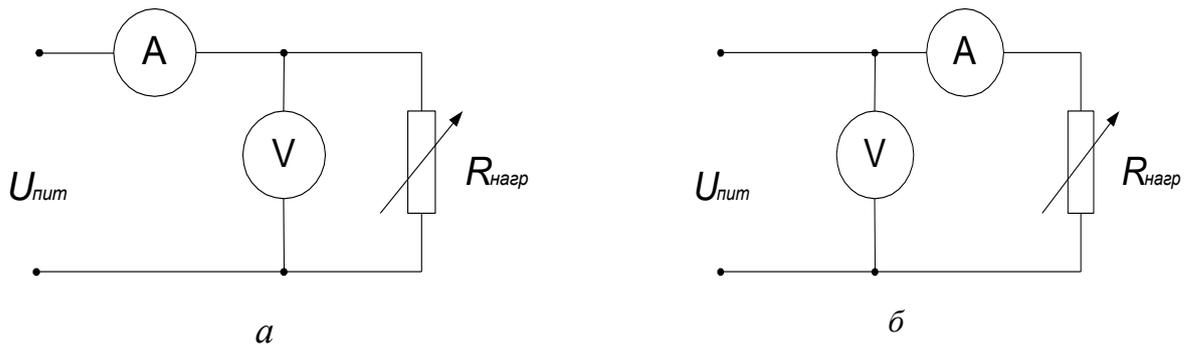


Рис. 3. Косвенное измерение мощности: *а* – вольтметр параллельно нагрузке; *б* – амперметр последовательно с нагрузкой

Указания по обработке результатов измерений и оценке погрешностей

Абсолютную погрешность измерения вычислить по формуле

$$\Delta P = P_{\text{изм}} - P_{\text{д}},$$

где $P_{\text{изм}}$ – измеренное значение мощности; $P_{\text{д}}$ – действительное значение мощности, потребляемой нагрузкой.

$P_{\text{д}}$ вычислить по формуле:

$$P_{\text{д}} = U^2 / R_{\text{нагр}},$$

где U – напряжение источника питания.

Абсолютная допустимая инструментальная погрешность определяется классом точности ваттметра k_W и для прямого метода равна

$$\Delta W = \frac{k_W \cdot P_{\text{ном}}}{100\%},$$

где $P_{\text{ном}} = I_{\text{ном}} \cdot U_{\text{ном}}$, k_W – класс точности ваттметра.

Для косвенного метода абсолютная инструментальная погрешность находится по формулам:

$$\Delta I = \frac{k_A \cdot I_{\text{НОМ}}}{100 \%};$$

$$\Delta U = \frac{k_V \cdot U_{\text{НОМ}}}{100 \%};$$

$$\Delta P_{\text{инс}} = I_{\text{НОМ}} \cdot \Delta U + U_{\text{НОМ}} \cdot \Delta I = \frac{I_{\text{НОМ}} \cdot U_{\text{НОМ}}}{100 \%} (k_A + k_V),$$

где k_A – класс точности амперметра, k_V – класс точности вольтметра.

Указания по оформлению отчета

Отчет о выполнении лабораторной работы каждый студент оформляет индивидуально. Отчет должен содержать:

- титульный лист с названием работы;
- цель работы;
- сведения об использованных методах измерений, а также о характеристиках использованных средств измерений;
- схему и описание лабораторного стенда;
- результаты измерений и расчетов;
- анализ полученных данных и вывод об особенностях и качестве проведенных измерений и по результатам проделанной работы.

Указания по технике безопасности

Перед выполнением лабораторных работ со студентами проводится инструктаж по технике безопасности, о чем каждый студент расписывается в специальном журнале.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение физической величины. Что такое размерность физической величины?
2. Дайте определение понятий «истинное значение» и «действительное значение».
3. Почему нельзя при измерениях определить истинное значение физической величины?

4. Какие электромеханические механизмы используются в ваттметрах постоянного тока? Какими особенностями, достоинствами и недостатками они обладают?

5. Какая область значений мощности постоянного тока доступна для измерения электромеханическими и электронными ваттметрами?

6. Дайте определения прямых и косвенных измерений.

7. Назовите основные источники погрешности при косвенном измерении мощности постоянного тока.

8. Приведите примеры методических погрешностей.

9. Нарисуйте и объясните схему включения приборов для измерения мощности нагрузки, имеющей большое сопротивление.

10. Нарисуйте и объясните схему включения приборов для измерения мощности нагрузки, имеющей малое сопротивление.

11. Исправный электродинамический ваттметр имеет класс точности 0,5 и шкалу от 0 до 100 Вт. Какова максимально возможная относительная погрешность измерения мощности, если прибор показывает 50 Вт?

Библиографический список

1. Э.Г. Атамаян. Приборы и методы измерения электрических величин. – М: Дрофа, 2005. (Для изучения стр. 85–87, 251–256).

2. Б.Я. Авдеев, Е.М. Автонюк, Е.М. Душин и др.; Под ред. Е.М. Душина. Основы метрологии и электрические измерения. – Л: Энергоатомиздат. Ленингр.отд., 1987. (для изучения стр. 400–411).

Учебное издание

**ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ В ЦЕПЯХ
ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

Методические указания к лабораторной работе
по дисциплине
«Метрология, стандартизация и сертификация»

Составители: **Наумов Анатолий Алексеевич,
Баландина Светлана Владимировна,
Гарифуллина Надежда Александровна**

Кафедра теоретических основ электротехники КГЭУ

Редактор издательского отдела *С.Н.Касимова*
Компьютерная верстка *Т.И. Лунченкова*

Подписано в печать 24.06.16.

Формат 60 × 84/16. Бумага «Business». Гарнитура «Times». Вид печати РОМ.
Усл. печ. л. 0,69. Уч.-изд. л. 0,77. Тираж 300 экз. Заказ № 77/эл.

Редакционно-издательский отдел КГЭУ,
420066, Казань, Красносельская, 51