

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ
ДЕПАРТАМЕНТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ
ФГБОУ ВПО КОСТРОМСКАЯ ГСХА

Кафедра ТОЭ и автоматики

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

Методические указания
по изучению дисциплины и выполнению контрольной работы
для студентов направления подготовки
110800.62 «Агроинженерия»
заочной формы обучения

КАРАБАЕВО
Костромская ГСХА
2013

УДК 621.3. 01

ББК 30.10

М 54

Составители: сотрудники кафедры теоретических основ электротехники и автоматики Костромской ГСХА к.т.н., доцент *А.В. Рожнов*, ст. преподаватель *А.В. Симонов*.

Рецензент: к.т.н., доцент кафедры электропривода и электротехнологии Костромской ГСХА *Ф.А. Новожилов*.

Рекомендовано к изданию методической комиссией факультета электрификации и автоматизации сельского хозяйства, протокол № 3 от 3 апреля 2013 г.

М 54 Метрология, стандартизация и сертификация : методические указания по изучению дисциплины и выполнению контрольной работы для студентов направления подготовки 110800.62 «Агроинженерия» заочной формы обучения / сост. А.В. Рожнов, А.В. Симонов. — Караваево : Костромская ГСХА, 2013. — 41 с.

В издании приведены общие методические рекомендации по изучению дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация» и задания для выполнения контрольной работы.

Методические указания по изучению дисциплины и выполнению контрольной работы предназначены для студентов направления подготовки 110800.62 «Агроинженерия» заочной формы обучения.

УДК 621.3. 01
ББК 30.10

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. Общие методические рекомендации	
по изучению дисциплины	5
1.1. Цель и задачи курса.....	5
2. Содержание разделов курса.....	7
2.1. Введение в дисциплину	7
2.2. Основы метрологии и техники измерений.....	7
2.3. Основы теории и конструкции измерительных приборов.....	8
2.4. Измерения электрических, неэлектрических и магнитных величин.....	10
2.5. Метрологический надзор и государственная поверка средств измерений.....	11
2.6. Стандартизация и сертификация.....	11
3. Методические рекомендации по выполнению	
контрольной работы.....	13
3.1. Требования к выполнению контрольной работы	13
3.2. Примеры решения задач	13
4. Задания для контрольной работы.....	34
Список рекомендуемых источников.....	39

ВВЕДЕНИЕ

В сельском хозяйстве, как и в других отраслях, уровень развития измерительной техники в значительной мере определяет состояние технического прогресса. Из всего многообразия средств измерений наиболее распространены электрические. Они позволяют измерять различные параметры в широком диапазоне, имеют высокую чувствительность и точность, их применение упрощает процессы автоматизации получения, передачи, обработки и хранения результатов измерений.

В издании приведены методические указания по изучению дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация» и задания для контрольной работы для студентов, обучающихся по направлению подготовки 110800.62 «Агроинженерия» заочной формы обучения.

1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цель и задачи курса

Дисциплина «Метрология, стандартизация и сертификация» относится к профессиональному циклу базовой (общепрофессиональной) части ФГОС ВПО по направлению подготовки 110800.62 «Агроинженерия» квалификация (степень) «Бакалавр».

Развитие и эксплуатация сельскохозяйственного производства сопровождается контролем над технологическими процессами на всех его этапах. Это невозможно осуществить без измерительной техники, которая является одним из решающих факторов научно-технического прогресса.

Цель дисциплины заключается в формировании знаний и практических навыков по использованию современных средств электрических измерений, а также методов измерений в сельскохозяйственном производстве. Исходя из этого, при изучении дисциплины ставятся следующие задачи:

- дать студентам основы конструкции современных измерительных приборов и устройств;
- дать студентам основы теории измерений при помощи современных измерительных приборов и устройств;
- научить студентов производить электрические измерения при помощи современных измерительных средств.

Бакалавр по направлению подготовки 110800.62 «Агроинженерия» должен быть подготовлен к решению следующих профессиональных задач в соответствии с профилем подготовки и видами профессиональной деятельности:

- организация метрологической поверки основных средств измерений для оценки качества производимой, перерабатываемой и хранимой сельскохозяйственной продукции;
- участие в стандартных и сертификационных испытаниях сельскохозяйственной техники, электрооборудования и средств автоматизации.

Выпускник должен обладать следующими профессиональными компетенциями (ПК):

- способностью проводить и оценивать результаты измерений (ПК-5);
- владением способами анализа качества продукции, организации контроля качества и управления технологическими процессами (ПК-6);
- способностью использовать технические средства для определения параметров технологических процессов и качества продукции (ПК-14);
- готовностью к участию в проведении исследований рабочих и технологических процессов машин (ПК-20).

2. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ КУРСА

2.1. Введение в дисциплину

Предмет и задачи дисциплины. Краткие сведения из истории развития метрологии и электрических измерений. Роль отечественных ученых в разработке вопросов теории, методов и средств измерений. Основные тенденции и перспективы развития электроизмерительной техники для метрологического обеспечения сельскохозяйственного производства.

Вопросы для самопроверки

1. Каковы преимущества электрических средств измерения перед неэлектрическими?
2. Назовите имена русских ученых, разработавших теорию, методы и средства измерений.
3. Какова роль метрологического обеспечения в контроле и управлении технологическими процессами?

2.2. Основы метрологии и техники измерений

Принципы и методы измерений. Метрология как наука. Основные понятия и определения. Физическая величина. Виды величин. Единицы физических величин. Международная система единиц (СИ).

Виды и методы измерений. Прямые, косвенные методы. Метод непосредственной оценки и метод сравнения с мерой.

Виды и классификационные признаки средств измерений. Меры. Измерительные приборы. Характеристики измерительных приборов: диапазон измерения, чувствительность, точность, надежность и т.д.

Классификация и принцип маркировки приборов. Погрешности измерений. Абсолютная, относительная и приведенная погрешности. Статическая и динамическая погрешности средств измерений. Метрологическое обоснование выбора средств измерений.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое измерение?
2. Какие средства измерений называют эталоном измерений?
3. Что такое меры электрических величин?
4. Назначение измерительного механизма и измерительной цепи электромеханических приборов.
5. Основные узлы и детали электромеханических приборов прямого действия.

6. За счет чего создаются вращающий и противодействующий моменты в электромеханических приборах прямого действия?

7. Что такое абсолютная, относительная и приведенная погрешности?

8. Что такое класс точности прибора?

9. Что называется чувствительностью и ценой деления прибора?

10. Каковы преимущества и недостатки аналоговых и цифровых приборов?

11. Какие условные обозначения наносятся на шкалы электроизмерительных приборов?

2.3. Основы теории и конструкции измерительных приборов

Магнитоэлектрические измерительные механизмы и приборы: устройство, принцип действия, уравнение преобразования и характер шкалы. Типы приборов и область применения. Магнитоэлектрические логометры. Принцип действия. Магнитоэлектрические гальванометры.

Электромагнитные механизмы и приборы. Устройство и принцип действия электромагнитных амперметров и вольтметров. Астатические приборы. Электромагнитные логометры: устройство, достоинства и недостатки.

Электродинамические и ферродинамические амперметры, вольтметры и ваттметры. Электродинамические и ферродинамические логометры.

Устройство и принцип действия электростатических вольтметров.

Индукционные механизмы и приборы. Устройство и принцип действия счетчиков электрической энергии. Их классификация и характеристики.

Приборы сравнения. Одинарные и двойные мосты постоянного тока. Мост переменного тока. Устройство и принцип действия. Автоматические мосты и компенсаторы.

Электронные измерительные приборы постоянного и переменного тока. Устройство и принцип действия электронных омметров, частотомеров, ваттметров.

Регистрирующие приборы. Назначение и классификация. Светолучевые осциллографы.

Цифровые измерительные приборы. Основные узлы и элементная база. Микропроцессорные цифровые измерительные приборы. Устройства сопряжения и вспомогательные измерительные преобразователи. Шунты, добавочные резисторы. Трансформаторы тока и напряжения. Блоки питания.

Вопросы для самопроверки

1. Определите зависимость угла отклонения стрелки магнитоэлектрического прибора. Каков характер шкалы?
2. Выведите уравнение для угла отклонения подвижной части электромагнитного прибора. Каков характер шкалы?
3. Определите зависимость угла отклонения стрелки электродинамического прибора, характер шкалы прибора при измерении тока, напряжения, мощности.
4. Выведите уравнение для угла отклонения подвижной части ферродинамического прибора.
5. От чего зависит применение измерительных приборов для постоянного, переменного или постоянного и переменного токов?
6. Как устроены электромагнитные логометры?
7. Что такое передаточное число и постоянная счетчика электрической энергии?
8. Погрешность счетчиков и их классы точности.
9. Что такое порог чувствительности и самоход счетчика?
10. Устройство и принцип действия магнитоэлектрического гальванометра.
11. Что такое явление параллакса и как от него избавиться при измерении?
12. Напишите условие равновесия одинарного моста постоянного тока.
13. Начертите схему моста для определения индуктивности. В чем принцип измерения?
14. Принцип действия автоматического моста и автоматического компенсатора.
15. По какому принципу классифицируются регистрирующие приборы?
16. Устройство и принцип действия самопишущего прибора барабанного типа.
17. Как устроены электронные вольтметры постоянного тока?
18. Как устроены электронные вольтметры переменного тока?
19. Из каких элементов состоит электронно-лучевая трубка? Устройство и принцип действия.
20. Принцип работы трансформаторов напряжения. Их характеристики.
21. Принцип работы трансформаторов тока.
22. Почему нельзя размыкать вторичную обмотку трансформатора тока при протекании тока в первичной обмотке?

23. Для чего заземляют вторичные обмотки высоковольтных измерительных трансформаторов?

24. Назовите состав информационной измерительной системы.

25. Каковы функции интерфейса в информационной измерительной системе?

2.4. Измерения электрических, неэлектрических и магнитных величин

Измерение тока и напряжения в цепях постоянного и переменного тока промышленной частоты.

Измерение мощности и электрической энергии в цепях переменного тока промышленной частоты. Измерение активной и реактивной мощности. Учет активной и реактивной энергии в трехфазных цепях переменного тока. Включение ваттметров и счетчиков через измерительные трансформаторы тока и напряжения.

Измерение сопротивления изоляции электроустановок и заземляющих устройств.

Измерение коэффициента мощности приборами прямого действия.

Общие вопросы измерения неэлектрических величин электрическими средствами. Измерительные преобразователи неэлектрических величин.

Средства измерений линейных и угловых перемещений.

Методы и средства измерений механических величин: усилий, давлений, крутящих моментов, угловых скоростей и ускорений, расхода жидкости и т.п. Измерение температуры, качества продукции. Измерение жирности молока.

Вопросы для самопроверки

1. Какими приборами производят измерения токов и напряжений?
2. Нарисуйте схему измерения активной мощности в однофазных цепях.
3. Нарисуйте схемы измерения активной мощности в цепях трехфазного тока с помощью одного, двух и трех ваттметров.
4. Начертите схемы включения трехфазных счетчиков для учета активной и реактивной энергии через измерительные трансформаторы тока и напряжения.
5. Начертите схему измерения больших и малых сопротивлений с помощью вольтметра и амперметра.
6. Изобразите схему для непосредственного измерения сопротивления заземления. Как распределяются потенциалы между электродами?

7. Какие неэлектрические величины можно измерять при использовании индукционных, емкостных, резистивных, индуктивных и пьезоэлектрических преобразователей?

8. Какие преобразователи используются при измерении температуры?

9. Какие преобразователи используются при измерении влажности?

2.5. Метрологический надзор и государственная поверка средств измерений

Государственная система обеспечения единства измерений. Организация метрологического надзора за средствами электрических измерений. Поверка средств измерений. Виды поверок. Организация и планирование работ по поверке средств измерений.

Вопросы для самопроверки

1. Какие задачи преследует поверка средств измерений?
2. Какова периодичность поверки средств измерений?
3. Какие методы поверки существуют?

2.6. Стандартизация и сертификация

Понятие стандартизации. Цели и задачи стандартизации. Научные и методические основы стандартизации. Организация работ по стандартизации, нормативные документы и требования к ним. Комплексные системы общетехнических стандартов (ЕСКД, ЕСТД, ЕСТПП, ЕСДП и др.). Стандартизация норм взаимозаменяемости. Стандартизация и нормоконтроль технической документации, международная организация по стандартизации. Стандартизация в управлении качеством. Международные стандарты ИСО серии 9 000 на системы качества, разработка документов на системы качества. Технико-экономическая эффективность стандартизации. Правовые основы стандартизации. Сертификация продукции и услуг. Термины и определения в области сертификации. Законодательство Российской Федерации о сертификации. Продукция, свойства продукции, методы оценки уровня качества продукции и услуг. Государственная система защиты прав потребителей. Схемы и системы сертификации. Аккредитация органов по сертификации и испытательных (измерительных) лабораторий. Государственный контроль и надзор за соблюдением правил сертификации.

Вопросы для самопроверки

1. Каковы основные цели стандартизации?
2. Какие органы осуществляют деятельность по стандартизации?
3. Категории стандартов, методы применения стандартов.
4. Организация работ по стандартизации.
5. Области деятельности, которые регламентируются общетехническими и организационно-экономическими стандартами.
6. Что называется стандартизацией норм взаимозаменяемости?
7. Каковы основные цели и задачи каталогизации продукции?
8. Виды и формы представления информации в системе каталогизации.
9. Каковы правовые основы стандартизации?
10. Виды классификаторов. Принципы составления классификаторов.
11. Как производится разработка документов на системы качества?
12. Что называется унификацией?
13. Расскажите о международных стандартах на системы качества ИСО серии 9 000.
14. Как осуществляется международное сотрудничество по стандартизации?
15. Признаки классификации и группы показателей качества продукции.
16. Что называется сертификацией продукции и услуг?
17. Каковы сущность и содержание сертификации продукции и услуг?
18. Что подлежит обязательной сертификации?
19. Каковы нормативные документы по сертификации?
20. Что называется идентификацией? Виды идентификации.
21. Указать требования, предъявляемые к нанесению штриховых кодов.
22. Какова практика сертификации систем обеспечения качества в России и за рубежом?
23. Как осуществляется аккредитация органов по сертификации?
24. Каков государственный контроль над соблюдением стандартов, правил и норм сертификации продукции?
25. Как осуществляется управление уровнем качества продукции и услуг?

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Учебным планом предусмотрена одна контрольная работа. В каждом варианте производится решение пяти задач, выполняемых студентом индивидуально в соответствии с номером шифра: последняя цифра шифра соответствует номеру задания (ноль соответствует десятому заданию). Номера задач, соответствующие каждому варианту, представлены в таблице 2.

Таблица 2. Варианты заданий

Последняя цифра шифра	Номера задач				
	Задача 1	Задача 2	Задача 3	Задача 4	Задача 5
0	1	2	3	4	5
1	6	7	8	9	10
2	11	12	13	14	15
3	16	17	18	19	20
4	21	22	23	24	25
5	26	27	28	29	30
6	31	32	33	34	35
7	36	37	38	39	40
8	41	42	43	44	45
9	46	47	48	49	50

3.1. Требования к выполнению контрольной работы

1. При выполнении контрольной работы следует придерживаться установленных правил.

2. Единицы заданных и вычисленных физических величин должны быть представлены в системе единиц СИ.

3. Условные обозначения всех элементов схем изображать в соответствии с действующими ГОСТ.

4. В конце работы необходимо представить список использованных источников, указать дату выполнения работы и поставить свою подпись.

3.2. Примеры решения задач

Пример 1. Шкала амперметра класса точности 0,5 разбита на 150 делений. Чувствительность прибора 0,2 дел/мА. Определить абсолютную Δ и относительную δ погрешности, если прибор показывает 32 деления.

Решение

$\gamma_{\%} = 0,5\%$; т.е. $\gamma = 0,005$; $N = 150$; $S = 0,2$ дел/мА; $n = 32$;

$$\Delta = X_{изм} - X = I_{изм} - I.$$

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_H} = \frac{\Delta}{I_H}; \quad \delta_{\%} = \frac{\Delta}{X_{изм}} 100\%;$$

$$I_H = N \frac{1}{S} = \frac{150}{0,20} = 750 \text{ мА};$$

$$I_{изм} = n \frac{1}{S} = \frac{32}{0,20} = 160 \text{ мА};$$

$$|\Delta| = 0,005 \cdot 750 = 3,75 \text{ мА};$$

$$|\delta| = \frac{3,75}{160} 100\% = 2,34\% = 2,3\%.$$

Пример 2. При измерении мощности вольтметр на 300 В класса точности 1,5 и амперметр на 5 А класса точности 1,0 соответственно показали 215 В и 3,0 А. В каких пределах может быть измеренная мощность и какова относительная погрешность измерений?

Решение

Кратко запишем исходные данные, вводя буквенные обозначения физических величин: $U_H = 300$ В; $\gamma_u = 0,015$; $I_H = 5$ А; $\gamma_i = 0,010$; $U_{изм} = 215$ В; $I_{изм} = 3,0$ А.

В задаче речь идет о косвенном измерении мощности в цепи постоянного тока (или переменного тока при $\cos \varphi = 1$).

Измеренная мощность:

$$P_{изм} = U_{изм} I_{изм} = 215 \cdot 3,0 = 645 \text{ Вт};$$

$$\delta_u = \gamma_u \frac{U_H}{U} = \gamma_u \frac{U_H}{U_{изм}} = 0,015 \frac{300}{215} = 0,0209;$$

$$\delta_i = \gamma_i \frac{I_H}{I} = 0,010 \frac{5,0}{3,0} = 0,0167.$$

Погрешности приборов считаем случайными и не коррелированными, поэтому

$$|\delta_p| = \sqrt{\delta_u^2 + \delta_i^2} = \sqrt{0,0209^2 + 0,0167^2} = 0,0268, \text{ или } \approx 2,7\%.$$

Следовательно, мощность P находится в пределе

$$P = P_{изм} \pm |\Delta P| = 645 \pm 17 \text{ Вт}.$$

Пример 3. Показание амперметра $I_{изм} = 2,0$ А, его верхний предел — $I_n = 5,0$ А, показание образцового прибора, включенного последовательно, $I_o = 2,1$ А. Определить относительную δ и приведенную γ погрешность амперметра.

Решение

Абсолютная погрешность

$$\Delta = I_{изм} - I_o = 2,0 - 2,1 = -0,10 \text{ А.}$$

Относительная погрешность

$$\delta = \frac{\Delta}{I_o} = \frac{-0,10}{2,1} = -0,048, \text{ или } 4,8\%.$$

Приведенная погрешность

$$\gamma = \frac{\Delta}{I_n} = \frac{-0,10}{5,0} = -0,02, \text{ или } 2\%.$$

Пример 4. Амперметр с сопротивлением 0,05 Ом и вольтметр с сопротивлением 200 Ом применяются для измерений сопротивления якоря электродвигателя. При измерении приборы показали: $I_{изм} = 4,5$ А; $U_{изм} = 2,0$ В. Определить относительную погрешность измерения. Изобразить схему включения измерительных приборов.

Решение

При измерениях сопротивления косвенным методом с помощью амперметра и вольтметра возникает методическая погрешность, зависящая от сопротивлений приборов и схемы их включения. Необходимо выбирать такую схему включения измерительных приборов, при которой измеренное сопротивление имеет минимальную методическую погрешность.

По закону Ома:

$$R_{изм} = \frac{U_{изм}}{I_{изм}} = \frac{2,0}{4,5} = 0,4444 \text{ Ом.}$$

Это сопротивление соизмеримо с сопротивлением амперметра, соединительных проводов и контактов. Поэтому следует предположить, что при измерениях была выбрана схема с включением вольтметра после амперметра (см. рис. 1).

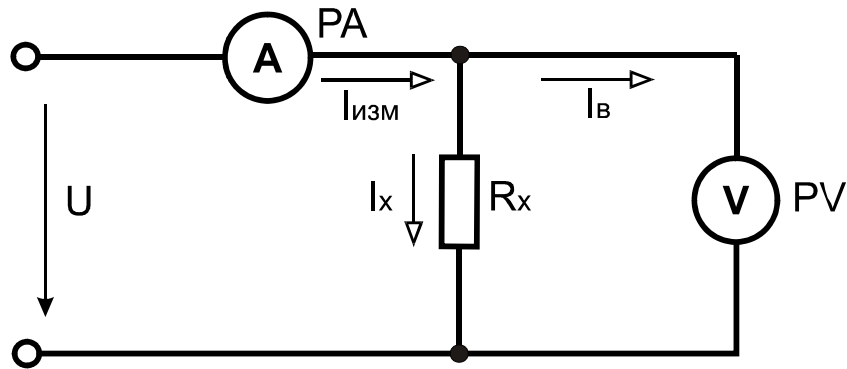


Рис. 1. Измерение сопротивления косвенным методом

Уточним сопротивление R_x с учетом сопротивлений приборов:

$$R_x = \frac{U_{изм}}{I_x} = \frac{U_{изм}}{I_{изм} - \frac{U_{изм}}{R_g}} = \frac{2,0}{4,5 - \frac{2,0}{200}} = 0,4454 \text{ Ом},$$

$$\delta_2 = \frac{R_{изм} - R_x}{R_x} = \frac{0,4444 - 0,4454}{0,4454} = -0,0021, \text{ или } 0,21\%.$$

Если бы вольтметр был включен до амперметра, то получили бы погрешность $R_{изм}$ примерно 4,7%. Следовательно, правильная схема включения измерительных приборов позволяет сразу получить более точный результат.

Пример 5. Имеется пять приборов: а) амперметр класса 0,5 с пределом измерений $I_n = 5 \text{ А}$; амперметр класса 0,2 с $I_n = 10 \text{ А}$; в) вольтметр класса 1,0 с $U_n = 220 \text{ В}$; г) вольтметр класса 0,5 с $U_n = 220 \text{ В}$; д) ваттметр класса 2,5, $I_n = 5 \text{ А}$, $U_n = 150 \text{ В}$. Какие приборы надо использовать, чтобы иметь наименьшую погрешность, если ожидаемый ток $I = 5 \text{ А}$; $U = 120 \text{ В}$; $\cos\varphi = 1$?

Решение

Если применять косвенный метод измерений мощности, то

$$P = U I = 120 \cdot 5 = 600 \text{ Вт.}$$

Относительная погрешность может быть определена по формуле

$$\delta_p = \sqrt{\delta_u^2 + \delta_i^2}.$$

Оба вольтметра имеют одинаковое номинальное напряжение, поэтому выбираем наиболее точный. Тогда

$$\delta_u = \gamma_u \frac{U_n}{U} = 0,005 \cdot \frac{220}{120} = 0,00917.$$

Для первого амперметра $\delta_{i1} = \gamma_1 \frac{I_{н1}}{I} = 0,005 \cdot \frac{5}{5} = 0,005$.

Для второго амперметра $\delta_{i2} = \gamma_2 \frac{I_{н2}}{I} = 0,002 \cdot \frac{10}{5} = 0,004$.

Следовательно, выбираем второй амперметр.

Тогда

$$\delta_p = \sqrt{0,00917^2 + 0,004^2} = 0,01, \text{ или } 1\%.$$

При прямом измерении (ваттметром) получим:

$$\delta_p = \gamma_p \frac{P_n}{P} = 0,025 \frac{5 \cdot 150}{5 \cdot 120} = 0,03125, \text{ или } 3,1\%.$$

Очевидно, что следует использовать амперметр класса 0,2 и вольтметр класса 0,5.

3.2.2. Электрические средства измерений

Пример 6. Прибор магнитоэлектрической системы на номинальный ток $I_n = 1,0$ А имеет сопротивление $R_{np} = 0,15$ Ом. Определить сопротивление шунта $R_{ш}$ для измерения токов до 10 А (см. рис. 2).

Решение

$$I_{ш} R_{ш} = I_{np} R_{np};$$

$$R_{ш} = R_{np} \frac{I_{np}}{I_n} = R_{np} \frac{I_{np}}{I - I_{np}} = R_{np} \frac{n}{n-1} = 0,15 \cdot \frac{1}{\frac{10}{1,0} - 1} = 0,0167 \text{ Ом.}$$

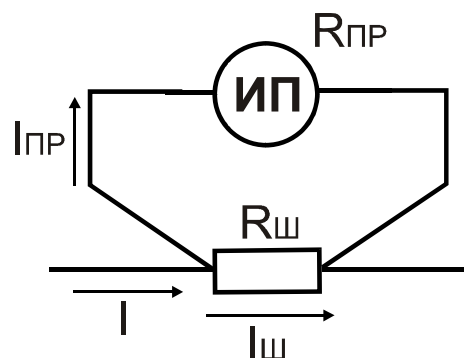


Рис. 2. Прибор с шунтом

Пример 7. Определить добавочное сопротивление R_d к прибору магнитоэлектрической системы, если номинальное напряжение прибора $U_{np} = 6$ В, его внутреннее сопротивление $R_{np} = 600$ Ом, а верхний предел измеряемого напряжения $U = 100$ В (рис. 3).

Решение

$$I = \frac{U_{np}}{R_{np}} = \frac{U}{R_{\delta} + R_{np}},$$

откуда

$$R_{\delta} = \frac{U}{I} - R_{np} = \frac{U_{np} m}{I} - R_{np} = R_{np} (m - 1) = 600 \left(\frac{100}{6} - 1 \right) = 9400 \text{ Ом.}$$

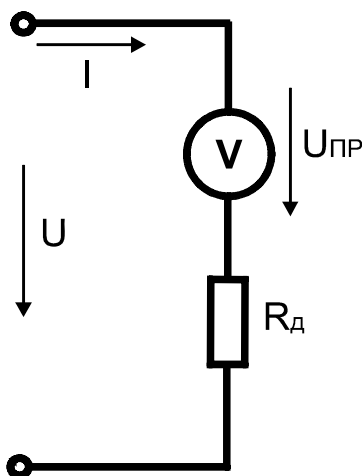


Рис. 3. Прибор с добавочным сопротивлением

Пример 8. Предел измерений электростатического вольтметра 3 кВ. Его необходимо расширить до 12 кВ. Выбрать схему для расширения предела измерений вольтметра и определить ее параметры, если емкость вольтметра при номинальном напряжении равна $0,3 \cdot 10^{-4}$ мкФ.

Решение

Расширение пределов измерений электростатических вольтметров при измерениях переменного напряжения U осуществляется:

- а) включением последовательно с вольтметром добавочного конденсатора C_{δ} ;
- б) использованием емкостного делителя, состоящего из двух конденсаторов известной емкости C_1 и C_2 (рис. 4, а и б).

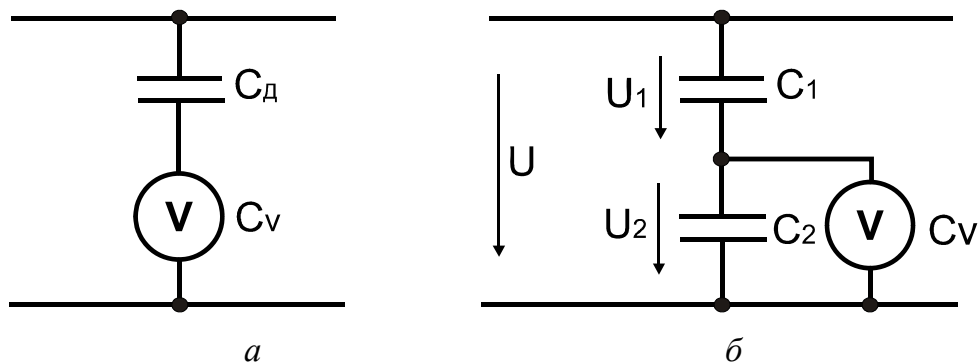


Рис. 4. Включение электростатических вольтметров:
 а — схема с добавочным конденсатором;
 б — схема с делителем напряжения

Для схемы с добавочным конденсатором:

$$C_V U_V = C_д (U - U_V),$$

откуда

$$C_д = C_V \frac{U_V}{U - U_V} = 0,3 \cdot 10^{-4} \frac{3}{12 - 3} = 0,1 \cdot 10^{-4} \text{ мкФ}.$$

Для схемы с делителем напряжения выберем $C_2 \gg C_V$, например, $C_2 = 10 \cdot 10^{-3}$ мкФ, тогда подключение вольтметра почти не изменит общую емкость, т.е. не изменит коэффициента деления. Поэтому можно выбирать C_1 без учета C_V :

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{U - U_V}{U_V};$$

$$C_1 = C_2 \frac{U_V}{U - U_V} = 10 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{3}{9} = 3,33 \cdot 10^{-3} \text{ мкФ}.$$

Пример 9. Для измерения напряжения в сети переменного тока порядка $U_C = 3\,300$ В применен вольтметр с номинальным напряжением $U_{вн} = 150$ В и трансформатор напряжения типа И510 с коэффициентом трансформации $k_U = 6000/100$. Шкала вольтметра разбита на $N = 150$ делений. Определить цену деления вольтметра C_V и его показания в делениях n .

Решение

Цена деления вольтметра

$$C_V = \frac{U_{вн}}{N} k_U = \frac{150}{150} \cdot \frac{6\,000}{100} = 60 \frac{\text{В}}{\text{дел}}.$$

Показание вольтметра (число делений)

$$n = \frac{U_c}{C_v} = \frac{3300}{60} = 55 \text{ дел.}$$

Пример 10. Расчетный ток нагрузки ЛЭП равен 80 А. Для контроля нагрузки имеется амперметр и ваттметр, $I_H = 5$ А. Выбрать коэффициент трансформации трансформатора тока, схему подключения амперметра и токовой обмотки ваттметра.

Решение

Для подключения приборов выбираем трансформатор тока с коэффициентом трансформации $k_i = 100/5$. Токовые обмотки приборов подключаем последовательно к измерительным зажимам трансформатора тока, причем для ваттметра с учетом начала обмотки. Схема измерений приведена на рисунке 5.

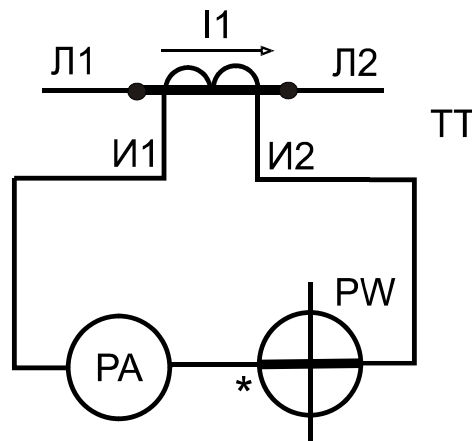


Рис. 5. Включение трансформатора тока

Пример 11. Сопротивление R_x , измеренное одинарным мостом, равно 225 Ом. При изменении R_x на один Ом стрелка указателя равновесия отклонилась на пять делений. Определить чувствительность моста.

Решение

Сравним чувствительность моста:

$$S_M = \frac{\Delta\alpha}{\Delta R} = \frac{5}{1} = 5 \text{ дел/Ом}; \quad S_{M_{отн}} = \frac{\Delta\alpha}{\frac{\Delta R}{R}} = \frac{5}{\frac{1}{225}} = 1125 \text{ дел.}$$

Если известна цена деления, то определяется чувствительность по току S_M или по напряжению S_{Mi} . Например, если $C = 1 \cdot 10^{-6}$ А/дел, то

$$\Delta I = C \Delta \alpha = 5 \cdot 10^{-6} \text{ А},$$

$$S_{Mi} = \frac{\Delta I}{\Delta R} = \frac{5 \cdot 10^{-6}}{1} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ А/Ом},$$

$$S_{\text{Міомн}} = \frac{\Delta I}{\frac{\Delta R}{R}} = \frac{5 \cdot 10^{-6}}{\frac{1}{225}} = 1,125 \cdot 10^{-3} \text{ А}.$$

Пример 12. Определить чувствительность по напряжению магнитоэлектрического прибора, рассчитанного на ток 5 мА с внутренним сопротивлением 20 Ом и шкалой на $N = 150$ делений.

Решение

При токе 5 мА падение напряжения на приборе составит $U_H = I_H R_{BH} = 5 \cdot 20 = 100$ мВ, т.е. такой прибор можно использовать как милливольтметр. Чувствительность прибора S — это величина, обратная цене деления C .

Так как

$$C_M = \frac{U_H}{N} = \frac{100}{150} \text{ мВ/дел},$$

то

$$S_H = \frac{1}{C_M} = \frac{N}{U_H} = \frac{150}{100} = 1,5 \text{ дел/мВ}.$$

Пример 13. При поверке счетчика поддерживались неизменными напряжение $U = 220$ В и ток $I = 5$ А. Сделано три измерения, каждое в течение $t = 5$ минут. Число оборотов диска счетчика в каждом измеренном случае составило: $N_1 = 83$, $N_2 = 82$, $N_3 = 84$. Ток и напряжение совпадают по фазе. Чему равна действительная постоянная счетчика C_ϕ ?

Решение

Действительная постоянная счетчика определяется из выражения

$$C_\phi = \frac{P t}{N} = \frac{U I \cos \varphi \cdot t}{N}.$$

Среднее число оборотов

$$N = N_{cp} = \frac{N_1 + N_2 + N_3}{3} = \frac{83 + 82 + 84}{3} = 83 \text{ об}.$$

Действительная постоянная счетчика

$$C_\phi = \frac{220 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 60}{83} = 3980 \frac{\text{Вт} \cdot \text{с}}{\text{об}}.$$

Пример 14. Верхний предел измерений амперметра $I_H = 5\text{ А}$, число делений шкалы $N = 150$, $r_A = 0,10\text{ Ом}$. Определить цену деления амперметра, если он включен с шунтом, сопротивление которого $r_{ш} = 0,020\text{ Ом}$.

Решение

Так как $I_{ш}r_{ш} = I_H r_A$, то

$$I_{ш} = I_H \frac{r_A}{r_{ш}} = \frac{5 \cdot 0,10}{0,020} = 25\text{ А.}$$

$$I = I_{ш} + I_H = 25 + 5 = 30\text{ А.}$$

Цена деления амперметра с учетом шунта

$$C = \frac{I}{N} = \frac{30}{150} = 0,20\text{ А/дел.}$$

3.2.3. Измерение электрических величин

Пример 15. В симметричную трехфазную трехпроводную сеть включены два ваттметра, показания которых 295 и 410 Вт (рис. 6). Определить потребляемую мощность P и коэффициент мощности $\cos \varphi$.

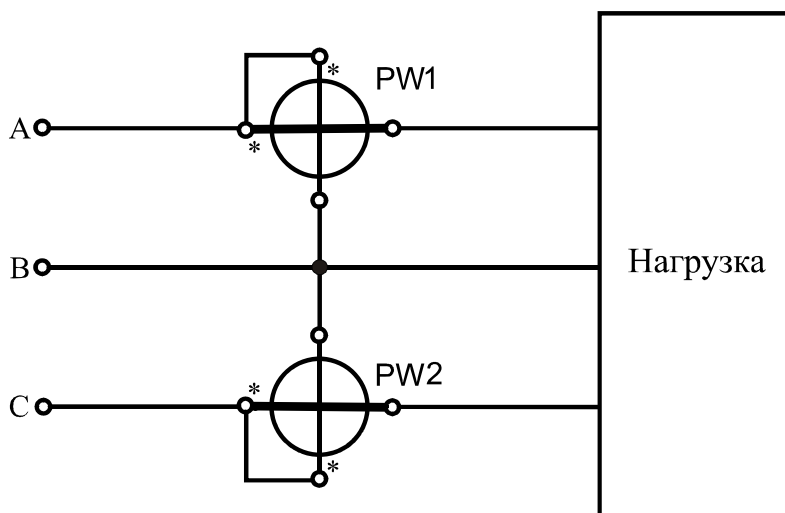


Рис. 6. Трехфазная трехпроводная схема с двумя ваттметрами

Решение

Активная мощность

$$P = P_{W1} + P_{W2} = 295 + 410 = 705\text{ Вт.}$$

Реактивная мощность

$$Q = \sqrt{3}(P_{W2} - P_{W1}) = \sqrt{3}(410 - 295) = 199,3\text{ ВАр.}$$

Полная мощность

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{705^2 + 199,2^2} = 733 \text{ ВА}, \quad \cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{705}{733} = 0,962.$$

Пример 16. Активная мощность трехфазной симметричной нагрузки, включенной по схеме «звезда», измеряется по методу двух ваттметров. Линейное напряжение $U_{\text{л}} = 220 \text{ В}$. Полное сопротивление каждой фазы $Z = 120 \text{ Ом}$. Определить показание второго ваттметра при нулевом показании первого.

Решение

Полная мощность

$$S = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} = \sqrt{3} U_{\text{л}} \frac{U_{\phi}}{Z} = \sqrt{3} U_{\text{л}} \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3} Z} = \frac{U_{\text{л}}^2}{Z} = \frac{220^2}{120} = 403,2 \text{ ВА}.$$

Из векторной диаграммы (рис. 7) следует, что

$$P_{W1} = U_{AB} I_A \cos(\varphi + 30^\circ); \quad P_{W2} = U_{BC} I_C \cos(30^\circ - \varphi).$$

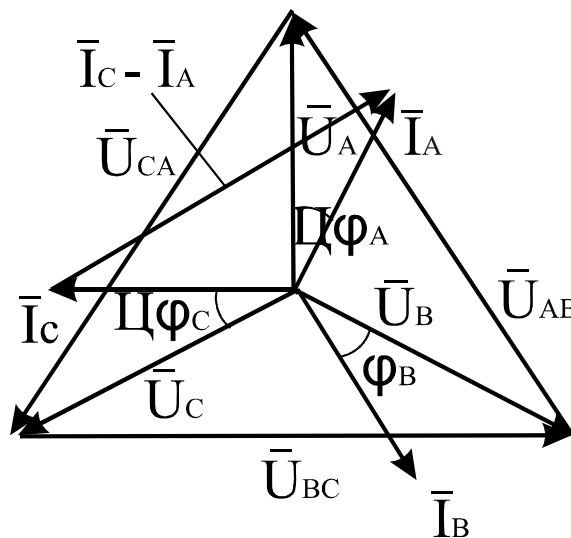


Рис. 7. Векторная диаграмма трехфазной цепи

По условию $P_{W1} = 0$, поэтому $\varphi + 30^\circ = 90^\circ$, откуда $\varphi = 60^\circ$.

Активная мощность

$$P = P_{W1} + P_{W2} = 0 + P_{W2}.$$

С другой стороны, $P = S \cos \varphi = 403,2 \cos 60^\circ = 201,6 \text{ Вт}$.

Следовательно, $P_{W2} = 201,6 \text{ Вт}$.

Пример 17. В трехфазной четырехпроводной цепи $U_{л} = 220$ В, $\cos \varphi = 0,7$, показания ваттметров в фазах А, В и С равны 210, 320 и 375 Вт. Определить активную, реактивную и полную мощности всей цепи, а также полное, активное и реактивное сопротивления каждой фазы нагрузки.

Решение

Активная P , полная S и реактивная Q мощности цепи равны:

$$P = P_A + P_B + P_C = 210 + 320 + 375 = 905 \text{ Вт},$$

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{905}{0,7} = 1293 \text{ ВА}.$$

Из условия задачи определим:

$$\varphi = \arccos 0,7 = 45,6^\circ,$$

$$Q = S \sin \varphi = 1293 \sin 45,6^\circ = 923 \text{ ВАр}.$$

Фазное напряжение

$$U_\phi = \frac{U_{л}}{\sqrt{3}} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127 \text{ В}.$$

Фазные токи:

$$I_A = \frac{S_A}{U_\phi} = \frac{210}{127 \cdot 0,7} = 2,36 \text{ А}; \quad I_B = \frac{S_B}{U_\phi} = \frac{320}{127 \cdot 0,7} = 3,60 \text{ А};$$

$$I_C = \frac{S_C}{U_\phi} = \frac{375}{127 \cdot 0,7} = 4,23 \text{ А}.$$

Полное сопротивление фазы А

$$Z_A = \frac{U_\phi}{I_A} = \frac{127}{2,36} \approx 54 \text{ Ом}.$$

Комплекс этого сопротивления равен

$$\underline{Z}_A = 54 e^{j45,6^\circ} = 37,8 + j38,6 = R_A + jX_A \text{ Ом}.$$

Аналогично для фаз В и С

$$Z_B = \frac{U_\phi}{I_B} = \frac{127}{3,60} = 35,3 \text{ Ом};$$

$$Z_B = 35,3 e^{j45,6^\circ} = 24,7 + j25,2 = R_B + jX_B \text{ Ом}$$

$$Z_C = \frac{U_\phi}{I_C} = \frac{127}{4,23} = 30 \text{ Ом};$$

$$Z_C = 30 e^{j45,6^\circ} = 21 + j21,4 = R_C + jX_C \text{ Ом}.$$

Пример 18. Через трансформатор тока 50/5 А трансформатор напряжения 3000/100 В в однофазную цепь переменного тока включен ваттметр с пределами измерений $I_n = 5$ А и $U_n = 150$ В. Определить активную мощность цепи, если ваттметр показал $n = 125$ делений. Вся шкала имеет $N = 150$ делений.

Решение

$$P = P_w k_U k_i = C_V n k_U k_i;$$

где C_V — цена деления ваттметра; $C_V = \frac{U_n I_n}{N} = \frac{150 \cdot 5}{150} = 5 \frac{\text{Вт}}{\text{дел}}$.

$$P = 5 \cdot 125 \cdot \frac{3000}{100} \cdot \frac{50}{5} = 187500 \text{ Вт} = 187,5 \text{ кВт}.$$

Пример 19. Амперметр, вольтметр и ваттметр подключены к нагрузке через трансформаторы тока 150/5 А и напряжения 1000/100 В. Показания приборов были следующие: $I = 2,4$ А; $U = 78$ В; $P = 165$ Вт. Определить ток, напряжение и мощность нагрузки, а также коэффициент мощности.

Решение

Ток нагрузки

$$I_{нагр} = I k_i = 2,4 \cdot \frac{150}{5} = 72 \text{ А}.$$

Напряжение нагрузки

$$U_{нагр} = U k_U = 78 \cdot \frac{1000}{100} = 780 \text{ В}.$$

Мощность нагрузки

$$P_{нагр} = P k_U k_i = 165 \cdot \frac{150}{5} \cdot \frac{1000}{100} = 49500 \text{ Вт}.$$

Коэффициент мощности

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{49500}{72 \cdot 780} = 0,88.$$

Пример 20. Счетчик электроэнергии имеет паспортные данные: 120 В; 10 А; 1 кВт·ч — 625 оборотов диска. Определить постоянную счетчика C_n и мощность нагрузки P , если его диск сделал за 10 минут 450 оборотов.

Решение

Постоянная счетчика

$$C_n = \frac{3600 \cdot 1000}{A} = \frac{3600 \cdot 1000}{625} = 5,76 \cdot 10^3 \frac{\text{Вт}}{\text{об}} \dots$$

Мощность нагрузки

$$P = C_n \frac{n}{t},$$

где $n = 450$ оборотов; $t = 10 \cdot 60 = 600$ с.

$$P = 5,76 \cdot 10^3 \cdot \frac{450}{600} = 4,32 \cdot 10^3 \text{ Вт.}$$

Пример 21. Для измерения температуры в нагревателе собрана мостовая схема (рис. 8) с сопротивлением плеч $R_1 = R_2 = 200$ Ом; $R_3 = 25$ Ом.

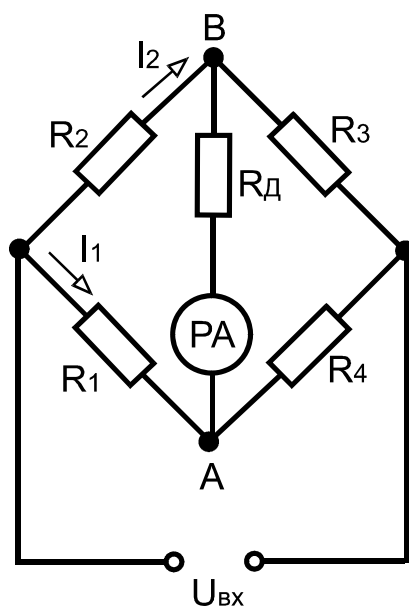


Рис. 8. Мостовая схема для измерения температуры в нагревателе

Медный измерительный преобразователь (датчик) включен в четвертое плечо моста и имеет сопротивление $R_o = 25$ Ом при 20 °С. Определить, какое добавочное сопротивление должно быть включено в измерительную диагональ моста последовательно с микроамперметром на 100 мкА и внутренним сопротивлением 750 Ом для измерения температуры в пределах $20 \dots 320$ °С при $U_{\text{вх}} = 6$ В. Определить цену деления прибора в градусах, если он имеет 50 делений.

Решение

При $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ток прибора должен быть равен нулю, т.е. $I_{np} = 0$, число делений $n = 0$.

При $T = 320 \text{ }^\circ\text{C}$ $I_{np} = 100 \text{ мкА}$, $n = N = 50$ дел.

$$\Delta T = 320 - 20 = 300 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Цена деления

$$C_n = \frac{\Delta T}{N} = \frac{300}{50} = 6 \frac{\text{град}}{\text{дел}}.$$

Сопротивление медного датчика R_t зависит от температуры

$$R_t = R_o (1 + \alpha \Delta T).$$

Для медного провода, применяемого в датчике температуры, $\alpha = 0,00426 \frac{1}{\text{град}}$.

При $T = 320 \text{ }^\circ\text{C}$ $R_t = 25 (1 + 0,00426 \cdot 300) = 56,5 \text{ Ом}$.

По методу эквивалентного генератора

$$I_{np} = \frac{U_{abxx}}{R_{ex} + R_o + R_{np}}. \quad (1)$$

Для определения U_{abxx} определим токи I_{1xx} и I_{2xx} :

$$I_{1xx} = \frac{U_{ex}}{R_1 + R_4} = \frac{6,0}{200 + 56,95} = 0,023351 \text{ А};$$

$$I_{2xx} = \frac{U_{ex}}{R_2 + R_3} = \frac{6,0}{200 + 25} = 0,02667 \text{ А};$$

$$I_{1xx} R_1 + U_{abxx} - I_{2xx} R_2 = 0;$$

$$U_{abxx} = I_{2xx} R_2 - I_{1xx} R_1 = 0,02667 \cdot 200 - 0,023351 \cdot 20 = 0,6638 \text{ В};$$

$$R_{ex} = \frac{R_1 R_4}{R_1 + R_4} + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \frac{200 \cdot 56,95}{200 + 56,95} + \frac{200 \cdot 25}{200 + 25} = 66,887 \text{ Ом}.$$

Следовательно, при $T = 320 \text{ }^\circ\text{C}$ уравнение (1) примет вид:

$$0,1 \cdot 10^3 = \frac{0,6638}{R_o + 66,887 + 750},$$

откуда $R_o = 5821,1 \text{ Ом}$.

Пример 22. Термопара хромель-алюмель с термо-ЭДС $42,7 \text{ мкВ/град}$ подключена к прибору магнитоэлектрической системы, имеющему 100 делений, с током полного отклонения 150 мкА и сопротивлением 200 Ом .

Определить предельную разность температур горячего и холодного спаев, предельную температуру измерения и цену деления прибора, если сопротивления термопары и подводящих проводов 13,5 Ом, а температура холодного спая 20 °С.

Решение

Обозначим:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= 42,7 \text{ мкВ/град}, & N &= 100 \text{ дел.}, \\ I_n &= 150 \text{ мкА} = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{ А}, & R_{np} &= 200 \text{ Ом}, \\ R_{\text{вн}} &= 13,5 \text{ Ом}, & T_x &= 20 \text{ }^\circ\text{С}. \end{aligned}$$

Как известно, $E_T = \alpha_T (T_z - T_x)$, а $I_n = \frac{E_T}{R_{np} + R_{\text{вн}}}$,

откуда

$$E_T = I_n (R_{np} + R_{\text{вн}}) = 0,15 \cdot 10^{-3} \cdot (200 + 13,5) = 32,025 \cdot 10^{-3} \text{ В.}$$

Тогда $T_z - T_x = \frac{E_T}{\alpha_T} = \frac{32,025 \cdot 10^{-3}}{42,7 \cdot 10^{-6}} = 0,75 \cdot 10^3 = 750 \text{ }^\circ\text{С.}$

Температура горячего спая:

$$T_z = 750 + T_x = 750 + 20 = 770 \text{ }^\circ\text{С.}$$

Цена деления прибора:

$$C = \frac{T_z - T_x}{\alpha} = \frac{750}{100} = 7,5 \frac{\text{град}}{\text{дел}}.$$

Пример 23. Сопротивление изоляции электродвигателя $R_{из} = 0,5 \text{ Мом}$. Напряжение между фазой сети 220/380 В и незаземленным корпусом двигателя, измеренное вольтметром, равно 10,5 В. Определить внутреннее сопротивление вольтметра R_v .

Решение

В данном случае вольтметр и сопротивление изоляции включены последовательно и к суммарному сопротивлению $R_{из} + R_v$ приложено напряжение $U_\phi = 220 \text{ В}$. Поэтому

$$R_v = \frac{U_v}{I} = \frac{U_v}{U_\phi - U_v} R_{из} = \frac{10,5}{220 - 10,5} \cdot 500 \cdot 10^3 = 25 \cdot 10^3 \text{ Ом.}$$

Пример 24. Для определения параметров двухполюсника была собрана электрическая цепь, показанная на рисунке 9. Показания приборов: $I = 2,0$ А; $U = 220$ В; $P = 350$ Вт. Частота сети $f = 50$ Гц. Определить параметры двухполюсника, если известно, что вектор тока \underline{I} отстает от вектора напряжения \underline{U} .

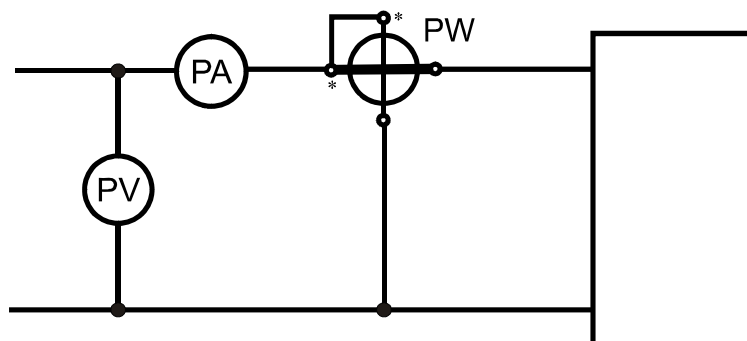


Рис. 9. Определение параметров двухполюсника

Решение

При последовательной схеме замещения двухполюсника имеем:

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{220}{2} = 110 \text{ Ом}; \quad I^2 R = P,$$

откуда
$$R = \frac{P}{I^2} = \frac{350}{2^2} = 87,5 \text{ Ом}.$$

Реактивное сопротивление

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{110^2 - 87,5^2} = \pm 66,666 \text{ Ом}.$$

Так как ток отстает от напряжения, то $X > 0$, то есть $X = X_L$, следовательно $X_L = \omega L$, откуда

$$L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{66,666}{2 \pi 50} = 0,212 \text{ Гн}.$$

Полную мощность можно рассчитать иначе:

$$S = U I = 220 \cdot 2 = 440 \text{ ВА}.$$

Коэффициент мощности

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{350}{440} = 0,795,$$

тогда $\varphi = 37,3^\circ$, а значение активного и реактивного сопротивлений:

$$R = Z \cos \varphi = 110 \cdot 0,795 = 87,5 \text{ Ом};$$

$$X_L = Z \sin \varphi = 110 \sin 37,3^\circ = 66,7 \text{ Ом}.$$

Пример 25. К зажимам А, В, С (рис. 10) подключена трехфазная система напряжений: $U_{AB} = 360$ В; $U_{BC} = 380$ В; $U_{CA} = 400$ В, $C_o \gg C$, показание вольтметра $U_o = 25$ В. Определить фазные напряжения \underline{U}_{AN} , \underline{U}_{BN} , \underline{U}_{CN} и коэффициенты несимметрии линейных и фазных напряжений. Указать, какой системы вольтметр не вносит погрешности в результаты измерений в данной схеме.

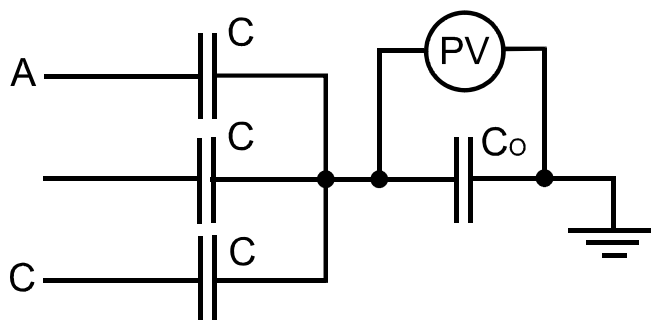


Рис. 10. Трехфазная система напряжений

Решение

Данная схема является фильтром напряжений нулевой последовательности, т.е. показание вольтметра U_o — это напряжение нулевой последовательности. Так как

$$\underline{U}_A = \underline{U}_{A1} + \underline{U}_{A2} + \underline{U}_o;$$

$$\underline{U}_B = \underline{U}_{B1} + \underline{U}_{B2} + \underline{U}_o;$$

$$\underline{U}_C = \underline{U}_{C1} + \underline{U}_{C2} + \underline{U}_o,$$

где \underline{U}_A , \underline{U}_B , \underline{U}_C — комплексы фазных напряжений;

\underline{U}_{A1} — фазное напряжение фазы А прямой последовательности;

\underline{U}_{A2} — фазное напряжение фазы А обратной последовательности, то линейные напряжения следует разложить на симметричные составляющие:

$$\underline{U}_{1л} = \frac{1}{3} (\underline{U}_{AB} + a\underline{U}_{BC} + a^2\underline{U}_{CA}); \quad \underline{U}_{2л} = \frac{1}{3} (\underline{U}_{AB} + a^2\underline{U}_{BC} + a\underline{U}_{CA}),$$

где $\underline{U}_{1л}$, $\underline{U}_{2л}$ — линейные напряжения прямой и обратной последовательностей;

$a = e^{j120^\circ}$ — фазный множитель.

Чтобы определить комплексы \underline{U}_{AB} , \underline{U}_{BC} , \underline{U}_{CA} , построим треугольник линейных напряжений (рис. 11) и определим углы α , β , γ .

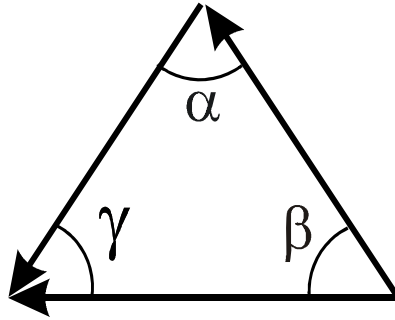


Рис. 11. Треугольник линейных напряжений

По теореме косинусов

$$\underline{U}_{BC}^2 = \underline{U}_{AB}^2 + \underline{U}_{CA}^2 - 2 \underline{U}_{AB} \underline{U}_{CA} \cos \alpha.$$

Откуда

$$\cos \alpha = \frac{-\underline{U}_{BC}^2 + \underline{U}_{AB}^2 + \underline{U}_{CA}^2}{2 \underline{U}_{AB} \underline{U}_{CA}} = \frac{-380^2 + 360^2 + 400^2}{2 \cdot 360 \cdot 400} = 0,504,$$

а угол $\alpha \approx 60^\circ$.

Из теоремы синусов

$$\frac{\underline{U}_{BC}}{\sin \alpha} = \frac{\underline{U}_{CA}}{\sin \beta}; \quad \sin \beta = \frac{\underline{U}_{CA}}{\underline{U}_{BC}} \sin \alpha = \frac{400}{380} \sin 60^\circ = 0,912.$$

Тогда углы $\beta = 65,7^\circ$; $\gamma = 180^\circ - 60^\circ - 65,7^\circ = 54,3^\circ$.

Пусть $\underline{U}_{AB} = U_{AB} = 360$ В.

Тогда $\underline{U}_{BC} = 380 e^{-j(180^\circ - \beta)} = 380 e^{-j(180^\circ - 65,7^\circ)} = 380 e^{-j114,3^\circ}$ В;

$$\underline{U}_{CA} = 400 e^{j(180^\circ - \alpha)} = 400 e^{j(180^\circ - 60^\circ)} = 400 e^{j120^\circ} \text{ В};$$

$$\underline{U}_{AB1} = \frac{1}{3} (360 + e^{j120^\circ} 380 e^{-j114,3^\circ} + e^{-j120^\circ} 400 e^{j120^\circ}) =$$

$$= 379,4 + j12,6 = 379,6 e^{j1,9^\circ} \text{ В};$$

$$\underline{U}_{AB2} = \frac{1}{3} (360 + e^{-j120^\circ} 380 e^{-j114,3^\circ} + e^{j120^\circ} 400 e^{j120^\circ}) =$$

$$= -26,6 - j12,6 = 29,4 e^{-j154,6^\circ} \text{ В};$$

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_{A1} = \underline{U}_{1л} \frac{1}{\sqrt{3}} e^{-j30^\circ} = \frac{1}{\sqrt{3}} 379,6 e^{-j1,9^\circ} e^{-j30^\circ} = 219,4 e^{-j28,1^\circ} \text{ В};$$

$$\underline{U}_2 = \underline{U}_{A2} = \underline{U}_{2л} \frac{1}{\sqrt{3}} e^{j30^\circ} = \frac{1}{\sqrt{3}} 29,4 e^{-j154,6^\circ} e^{j30^\circ} = 17 e^{-j124,6^\circ} \text{ В};$$

$$\begin{aligned}\underline{U}_{AN} &= 219,4 e^{-j28,1^\circ} + 17 e^{-j124,6^\circ} + \underline{U}_o = 183,9 - j117,3 + \underline{U}_o = \\ &= 218,1 e^{-j32,5^\circ} + 25 e^{j\varphi_o} = 193,1 e^{j\varphi_a} \text{ В.}\end{aligned}$$

Так как $218,1 - 25 = 193,1$ то $\varphi_a = -32,5^\circ$, $\varphi_o = 147,5^\circ$.

$$\begin{aligned}\underline{U}_{BN} &= a^2 \underline{U}_1 + a \underline{U}_2 + \underline{U}_o = \\ &= e^{-j120^\circ} 219,4 e^{-j28,1^\circ} + e^{j120^\circ} 17 e^{-j124,6^\circ} + 25 e^{j147,5^\circ} = \\ &= 217 e^{-j151,4^\circ} \text{ В;}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\underline{U}_{CN} &= a \underline{U}_1 + a^2 \underline{U}_2 + \underline{U}_o = \\ &= e^{j120^\circ} 219,4 e^{-j28,1^\circ} + e^{-j120^\circ} 17 e^{-j124,6^\circ} + 25 e^{j147,5^\circ} = \\ &= 250 e^{j28,2^\circ} \text{ В;}\end{aligned}$$

$$K_n = \frac{U_{2л}}{U_{1л}} = \frac{29,4}{379,6} = 0,077, \text{ или } 7,7\%;$$

$$K_\phi = \frac{U_o}{U_\phi} = \frac{25}{219,4} = 0,114 \text{ А.}$$

Для исключения погрешностей следует применить вольтметр электростатической системы или цифровой.

Пример 26. При измерении сопротивления заземления методом амперметра и вольтметра получено: $U = 12 \text{ В}$, $U_3 = 1,0 \text{ В}$, $I = 0,10 \text{ А}$ (рис. 12). Определить сопротивление заземления R_3 и вспомогательного электрода $R_{всп}$.

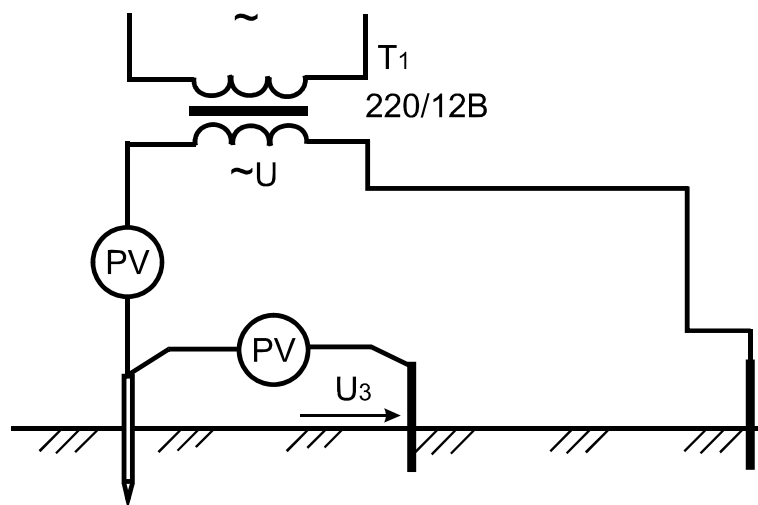


Рис. 12. Измерение сопротивления заземления

Решение

Для измерения напряжения лучше всего применить цифровой вольтметр, так как он не вносит погрешности в измерения (имеет очень большое входное сопротивление) и не боится перегрузки.

$$R_3 = \frac{U_3}{I} = \frac{1,0}{0,1} = 10 \text{ Ом}; \quad R_3 + R_{всн} = \frac{U}{I} = \frac{12,0}{0,1} = 120 \text{ Ом};$$

$$R_{всн} = 120 - 10 = 110 \text{ Ом}.$$

Пример 27. По катушке, подсоединенной к сети переменного тока частотой 50 Гц напряжением $U_{\sim} = 220 \text{ В}$, проходит ток $I_{\sim} = 2,2 \text{ А}$. Если ту же катушку подсоединить к сети постоянного тока напряжением $U_{-} = 12 \text{ В}$, то ток будет равен: $I_{-} = 0,24 \text{ А}$. Определить параметры катушки.

Решение

При переменном токе $\frac{U_{\sim}}{I_{\sim}} = \frac{220}{2,2} = 100 = Z.$

При постоянном токе $\frac{U_{-}}{I_{-}} = \frac{12}{0,24} = 50 \text{ Ом} = R.$

Тогда

$$X_L = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{100^2 - 50^2} = 86,5 \text{ Ом},$$

$$L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{86,5}{314} = 0,275 \text{ Гн}.$$

Полученные значения R и L могут отличаться от их действительных значений по нескольким причинам: 1) при расчетах принято, что активное сопротивление катушки R (т.е. на переменном токе) равно ее омическому сопротивлению (т.е. на постоянном токе); 2) предполагается, что форма кривых переменного тока и переменного напряжения синусоидальна; 3) возможна методическая погрешность, зависящая от схемы включения приборов и их внутреннего сопротивления; 4) возможна погрешность измерения.

4. ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Задача 1. В симметричную трехфазную сеть включены два ваттметра, показания которых 95 и 385 Вт. Определить коэффициент мощности. Начертить схему включения приборов.

Задача 2. Показания амперметра 20 А, вольтметра 120 В, ваттметра 1500 Вт, частотомера 50 Гц. Определить активное сопротивление и индуктивность катушки. Начертить схему включения приборов.

Задача 3. Каким образом из магнитоэлектрического вольтметра на 2,5 В с добавочным сопротивлением 245 Ом и сопротивлением рамки 5 Ом можно сделать амперметр на 1,5 А? Составить и зарисовать схемы обоих приборов.

Задача 4. В цепь переменного тока включен ваттметр на 5 А и напряжением 300 В со шкалой на 150 делений через трансформаторы тока 200/5 и напряжения 6 000/100. Определить потребляемую мощность, если показания ваттметра 53 деления. Начертить схему измерительной цепи.

Задача 5. Что является объектом стандартизации? Приведите пример.

Задача 6. На электростанции установлены счетчики активной и реактивной энергии. За год работы показания счетчиков увеличились соответственно на $110 \cdot 10^6$ и $70 \cdot 10^6$ кВт·ч. Определить среднегодовой коэффициент мощности.

Задача 7. Сопротивление изоляции прибора измерено с помощью вольтметра с сопротивлением 50 кОм. Определить сопротивление изоляции, если напряжение сети 220 В, показания вольтметра при последовательном его включении с сопротивлением изоляции — 20 В.

Задача 8. Какова максимальная допустимая абсолютная погрешность амперметра класса 0,5 на $I_n = 5$ А?

Задача 9. Счетчик активной энергии на напряжение 100 В и ток 5 А, подключенный к сети через измерительные трансформаторы тока 50/5 и напряжения 6 000/100, в начале месяца имел показания 1 234 кВт·ч, а в конце — 1 478 кВт·ч. Определить энергию, израсходованную за месяц. Начертить схему включения данного счетчика.

Задача 10. Перечислить нормативные документы по стандартизации (стандарты, правила и т.д.).

Задача 11. Какова максимальная допустимая абсолютная погрешность электродинамического ваттметра класса 1,0 $I_n = 5$ А и $U_n = 300$ В?

Задача 12. Счетчик активной энергии в начале месяца показал 6 852, а в конце — 9 156 кВт·ч, счетчик реактивной энергии, соответственно, — 9 725 и 1 123 кВАр. Определить среднемесячный коэффициент мощности.

Задача 13. Амперметр с внутренним сопротивлением 0,8 Ом и пределом измерений 5 А включен с шунтом сопротивлением 0,020 Ом. Определить ток в цепи, если амперметр показывает 2,2 А.

Задача 14. Активная мощность трехфазной симметричной нагрузки, измеренная трехфазным ваттметром, равна 2 200 Вт. Линейное напряжение 220 В, фазный ток 10 А. Если ту же мощность измерить двумя однофазными ваттметрами (схема двух ваттметров), то что покажет каждый ваттметр?

Задача 15. На достижение каких целей направлена стандартизация?

Задача 16. Для измерения энергии были найдены: напряжение с погрешностью $\gamma_u = 1\%$, сопротивление с погрешностью $\gamma_r = 1,5\%$, время с погрешностью $\gamma_t = 0,5$ с. Определить относительную погрешность измерения.

Задача 17. Определить активную и полную мощности трехфазной сети, если измерение проводится методом двух ваттметров, рассчитанных на измерение мощности до 300 Вт со шкалой на 50 делений, включенных через трансформаторы тока 25/5 и напряжения 500/100. Ваттметры показывают 100 и 130 делений. Начертить схему включения приборов.

Задача 18. Имеются амперметры с номинальными токами 2, 3 и 5 А и классами точности 0,5; 0,2; 0,1. Какой прибор и почему следует выбрать, если необходимо измерить ток 2 А с наибольшей точностью?

Задача 19. По показаниям амперметра $I = 10$ А, вольтметра $U = 120$ В и ваттметра $P = 2,0$ кВт определить активное сопротивление и индуктивность катушки. Частота тока $f = 50$ Гц. Начертить схему включения приборов.

Задача 20. Каковы основные принципы стандартизации?

Задача 21. В трехфазной цепи с номинальным линейным напряжением 380 В измерены: $U_{AB} = 350$ В; $U_{BC} = 360$ В; $U_{CA} = 380$ В. Какие показатели качества электроэнергии можно определить по этим данным? Вычислить эти показатели.

Задача 22. Предел измерений электростатического вольтметра 2 кВ. Его необходимо расширить до 10 кВ. Какова должна быть емкость добавочного конденсатора, если емкость вольтметра $2 \cdot 10^5$ мкФ?

Задача 23. Миллиамперметр рассчитан на ток 100 мА и имеет чувствительность по току 0,1 дел/мА. Определить число делений шкалы, цену деления и ток, если стрелка отклонилась на 70 делений.

Задача 24. Приведите схему измерения сопротивления заземления методом амперметра и вольтметра. Приборы каких систем можно применять для этой цели и почему?

Задача 25. Каковы основные функции стандартизации?

Задача 26. Амперметр сопротивлением 0,02 Ом и вольтметр сопротивлением 200 Ом применяются для измерения сопротивления якоря электродвигателя. При измерении приборы показали: $I = 4,5$ А и $U = 2,0$ В. Определить относительную погрешность измерения. Начертить схему включения приборов.

Задача 27. Ваттметр, вольтметр и амперметр, включенные в однофазную цепь, дали показания: $P = 200$ Вт, $U = 380$ В, $I = 1,3$ А. Определить величину разности фаз между током и напряжением. Начертить схему включения приборов.

Задача 28. К амперметру на номинальный ток 5 А, сопротивлением 0,10 Ом подключен шунт сопротивлением 0,010 Ом. Каков верхний предел измерений амперметра с шунтом?

Задача 29. Определить предел измерений и чувствительность вольтметра со шкалой на 150 делений и ценой деления 0,3 В/дел.

Задача 30. Что такое качество объекта (товара или услуг)? Приведите примеры. Каковы особенности электроэнергии как товара?

Задача 31. При измерении мощности в цепи постоянного тока вольтметр на $U_n = 300$ В класса точности 1,5 и амперметр на $I_n = 5$ А класса точности 1,0 соответственно показали: $U = 215$ В; $I = 3$ А. В каких пределах может быть измеренная мощность и какова относительная погрешность измерения?

Задача 32. Показания ваттметра класс точности 0,2 на номинальную мощность 300 Вт — 65 делений шкалы, всего шкала имеет 150 делений. Найти пределы, между которыми заключено действительное значение измеряемой мощности.

Задача 33. Какие требования предъявляются к качеству продукции?

Задача 34. Определить относительную погрешность измерения тока в 1,0 А амперметром с номинальным током 5 А класса точности 2,0.

Задача 35. Сопротивление медного терморезистора, измеренное с помощью моста постоянного тока, равно 121,3 Ом. Определить температуру терморезистора, если при 0 °С его сопротивление равно 100 Ом.

Задача 36. К вольтметру сопротивлением 8 кОм подключено добавочное сопротивление $R_0 = 12$ кОм; в этом случае он измеряет напряжение до 500 В. Какое напряжение можно измерить этим прибором без добавочного сопротивления?

Задача 37. Магнитоэлектрический вольтметр с пределом измерений 100 В имеет сопротивление $R = 10$ кОм. Число делений шкалы $n = 100$. Определить цену деления вольтметра, если его включить с добавочным резистором $R_0 = 30$ кОм.

Задача 38. Ваттметр на 5 А и 150 В со шкалой на 150 делений включен через трансформаторы тока 100/5 и напряжения 6 000/100 для измерения мощности потребителя. Определить мощность, если ваттметр показывает 120 делений. Начертить схему включения приборов.

Задача 39. Амперметр со шкалой на 5 А и сопротивлением 0,8 Ом шунтирован для измерения тока большой величины. При измерении тока 70 А стрелка прибора показала 2,8 А. Определить сопротивление шунта.

Задача 40. Какие измерения производятся при сертификации продукции?

Задача 41. Шкала прибора имеет 150 делений. Класс точности 0,1. Какова относительная погрешность, если прибор показал 90 делений?

Задача 42. Какова относительная погрешность измерения ЭДС генератора при измерении ее вольтметром с сопротивлением 20 кОм? Внутреннее сопротивление генератора 0,125 Ом.

Задача 43. Однофазный ваттметр, рассчитанный на напряжение 220 В и ток 5 А, подключили через трансформатор тока 300/5 в трехфазную цепь с симметричной нагрузкой. Определить мощность трехфазной нагрузки, если ваттметр показывает 300 Вт. Начертить схему включения измерительных приборов.

Задача 44. Температура горячего спая термопары 820 °С, а ее свободных концов — 20 °С. Определить температурный коэффициент материалов, если ЭДС термопары равна 8 мВ.

Задача 45. Какие параметры должны контролироваться при приготовлении кормов для животных для обеспечения высокого качества этих кормов?

Задача 46. По катушке, присоединенной к сети постоянного тока напряжением 110 В, проходит ток 1,8 А. Если ту же катушку подсоединить к сети переменного тока напряжением 220 В частотой 50 Гц, то протекающий ток равен 2,5 А. Определить индуктивность катушки. Пояснить, как в данном случае можно оценить точность полученного результата.

Задача 47. Определить наибольшую возможную относительную погрешность измерения электрической энергии ваттметром на номинальную мощность 300 Вт класса точности 1,0 за три минуты, измеренные с точностью до 1 секунды, если ваттметр показывает 100 Вт.

Задача 48. Для измерения мощности в трехпроводной трехфазной цепи при равномерной нагрузке установлены два однофазных ваттметра. Определить коэффициент мощности установки, если показания ваттметров 380 и 210 Вт. Начертить схему включения приборов.

Задача 49. Какие вы знаете средства измерений для контроля основных параметров среды животноводческих помещений?

Задача 50. Выбрать класс точности миллиамперметра с конечным значением шкалы 10 мА для измерения тока от $I = 2$ мА до $I = 10$ мА так, чтобы относительная погрешность измерения не превышала 1%.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алексеев, В.В. Метрология, стандартизация и сертификация. — М. : Академия, 2007. — 384 с.
2. Гончаров, А.А. Метрология, стандартизация и сертификация / А.А. Гончаров, В.Д. Копылов. — М. : Академия, 2005. — 240 с.
3. Радкевич, Я.М. Метрология, стандартизация и сертификация / Я.М. Радкевич, А.Г. Схиртладзе, Б.И. Лактионов. — М. : Высшая школа, 2004. — 767 с.
4. Димов, Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация. — СПб. : Питер, 2006. — 432 с.
5. Аристов, А.И. Метрология, стандартизация и сертификация / А.И. Аристов, Л.И. Карпов, В.М. Приходько. — М. : Академия, 2006. — 384 с.
6. Сергеев, А.Г. Метрология, стандартизация и сертификация / А.Г. Сергеев, В.В. Терегиря. — М. : Юрайт, 2010. — 820 с.
7. Сергеев, А.Г. Метрология и метрологическое обеспечение. — М. : Высшее образование, 2008. — 575 с.
8. Ким, К.К. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника. — СПб. : Питер, 2008. — 368 с.
9. Эрастов, В.Е. Метрология, стандартизация и сертификация. — М. : ФОРУМ, 2008. — 208 с.
10. Дегтярев, А.А. и др. Метрология. — М. : Академический Проект, 2006. — 256 с.
11. Гончаров, А.А. Метрология, стандартизация и сертификация / А.А. Гончаров, В.Д. Копылов. — М. : Академия, 2008. — 240 с.
12. Кравцов, А.В. Метрология и электрические измерения. — М. : Колос, 1999. — 216 с.
13. Сергеев, А.Г. Метрология / А.Г. Сергеев, В.В. Крохин. — М. : Логос, 2000. — 408 с.
14. Тартаковский, Д.Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерения / Д.Ф. Тартаковский, А.С. Ястребов. — М. : Высшая школа, 2001. — 205 с.
15. Якименков, Л.И. Метрология, стандартизация и сертификация. — Воронеж : Научная книга, 2005. — 92 с.
16. Никифоров, А.Д. Метрология, стандартизация и сертификация / А.Д. Никифоров, Т.А. Бакиев. — М. : Высшая школа, 2005. — 422 с.

Для заметок

Для заметок

Учебно-методическое издание

Метрология, стандартизация и сертификация : методические указания по изучению дисциплины и выполнению контрольной работы для студентов направления подготовки 110800.62 «Агроинженерия» заочной формы обучения / сост. А.В. Рожнов, А.В. Симонов. — Караваево : Костромская ГСХА, 2013. — 41 с.

Гл. редактор Н.В. Киселева
Редактор выпуска Т.В. Тарбеева
Корректор Т.В. Кулинич