МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОЛОГОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра электроснабжения

МЕТРОЛОГИЯ

Лабораторный практикум

Факультеты: электроэнергетический, ЗДО
Специальность 140211 - электроснабжение
Направление 140400 – электроэнергетика и электротехника

Вологда
2011

УДК 389 (076)

Метрология: лабораторный практикум. – Вологда, ВоГТУ, 2011. – 23 с.

В лабораторном практикуме рассматриваются методы измерений различных физических величин, принципы функционирования средств измерений, расчет погрешностей средств измерений с целью определения их пригодности.

Лабораторный практикум предназначен для студентов всех форм обучения.

Утверждено редакционно-издательским советом ВоГТУ

Составители: А.Н. Алюнов, канд. техн. наук, доцент
О.С. Вяткина, канд. техн. наук, доцент

Рецензент Е.В. Несговоров, канд. техн. наук, доцент каф. «Управляющие и вычислительные системы»

Лабораторная работа №1

ПОВЕРКА ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ И НАЗНАЧЕНИЙ

Цель работы: Приобретение практических навыков поверки приборов и определение погрешности у приборов различных измерительных систем и назначений

Теоретическая часть

Отклонение результата измерений физической величины от истинного значения называется погрешностью.

По форме количественного выражения различают абсолютную (имеет размерность измеряемой величины), относительную (безразмерная величина) и приведенную погрешности.

Абсолютная погрешность (ΔX) вычисляется по формуле:

$$\Delta X = X' - X\,, \tag{1.1}$$

где X' – измеренное значение величины (снимается с поверяемого прибора, находящегося на лабораторном стенде); X – истинное значение (показание образцового прибора).

Относительная погрешность определяется по формуле:

$$\delta_X = \frac{\Delta X}{X}, \tag{1.2}$$

Иногда значение относительной погрешности определяется в процентах:

$$\delta_X = \frac{\Delta X}{X} \cdot 100\%\,. \tag{1.3}$$

В случае, если хотя бы одно значение относительной погрешности из нескольких, вычисленных при изменении отсчетов показаний образцового прибора (δ_{Xmax}), превышает класс точности средства измерения, можно говорить о том, что поверяемый прибор не пригоден для измерений.

Перед началом поверки средств измерений заполняется метрологическая карта средств измерения с указанием единиц измерения (табл. 1.1).

Все данные для заполнения метрологической карты берутся с панели приборов.

Предел измерения записывается от начальной опорной точки.

Чувствительность прибора определяется по одной из двух формул:

$$S = \frac{\text{длина шкалы}}{\text{предел измерения}}, \tag{1.4}$$

$$S = \frac{1}{C}, \tag{1.5}$$

где C – цена деления прибора.

Таблица 1.1

Метрологическая карта средств измерения

Наименование прибора, инв.№ и индекс	Диапазон показаний шкалы прибора	Пределы измерения	Длина шкалы	Цена деления прибора (С)	Чувствительность прибора (S)	Класс точности
1. Амперметр переменного тока (поверяемый) Э365-1 №86020264	0-2 А	0,4 2 А	15 делений	0,1 А/дел	10 дел/А	1,5
2. …	…	…	…	…	…	…

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Заполнить метрологическую карту средств измерений.
2. Произвести поверку ваттметра и амперметра переменного тока:
   2.1.Собрать электрическую цепь для поверки (рис.1.1);

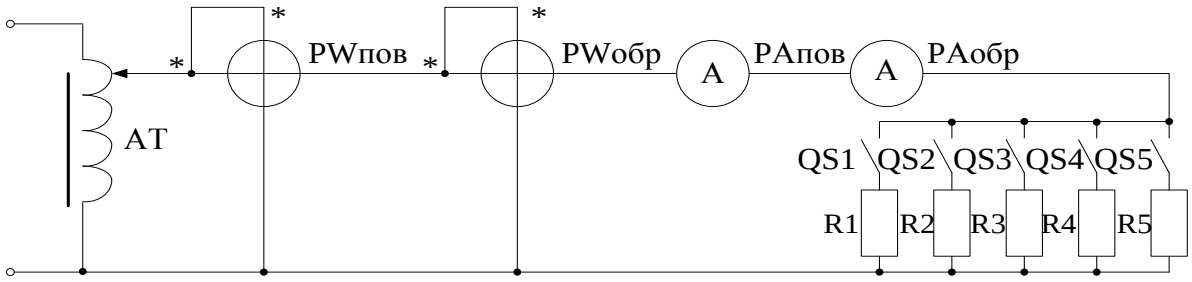

Рис. 1.1

   2.2.Установить рукоятку автотрансформатора в нулевое положение;
   2.3. Включить схему и прогреть приборы в течение 3-5 минут;
   2.4. Произвести поверку ваттметра и амперметра, расположенных на лабораторном стенде, по пяти отметкам шкалы поверяемых приборов ($W_{пов}$; $I_{пов}$) с одновременным отсчетом показаний образцовых приборов. При этом показания образцового прибора ($W_{обр}$, $I_{обр}$) записываются сначала при плавном увеличении показаний шкалы поверяемого прибора от начального значения до конца шкалы, а потом при уменьшении показаний шкалы от конца шкалы до начального значения;
   2.5. Измеренные результаты занести в таблицу (табл. 1.2);
   2.6. По результатам измеренных данных с помощью формул (1.1) и (1.3) вычислить абсолютные погрешности (ΔW_1, ΔW_2; ΔI_1, ΔI_2) и относительные (δ_1, δ_2);
   2.7. По результатам вычислений найти максимальную погрешность (δ_{max});
   2.8.Результаты вычислений занести в таблицу (табл. 1.2);
   2.9.Сделать вывод о пригодности поверяемых приборов.

Таблица 1.2

№ опыта	Измерено			Вычислено				
	$W_{пов}$, Вт	$W_{обр}$, Вт		ΔW_1, Вт	ΔW_2, Вт	δ, % при увелич.	δ,% при уменьш.	δ_{max}, %
		при увелич.	при уменьш.	при увелич.	при уменьш.			
1								
2								
3								
4								
5								
№ опыта	Измерено			Вычислено				
	$I_{пов}$, А	$I_{обр}$, А		ΔI_1, А	ΔI_2, А	δ, % при увелич.	δ,% при уменьш.	δ_{max}, %
		при увелич.	при уменьш.	при увелич.	при уменьш.			
1								
2								
3								
4								
5								

3. Произвести поверку вольтметра и амперметра постоянного тока:
   3.1. Собрать электрическую цепь для поверки (рис.1.2);
   3.2. Установить рукоятку автотрансформатора в нулевое положение;
   3.3. Включить схему и прогреть приборы в течение 3-5 минут;
   3.4. Произвести поверку вольтметра и амперметра, расположенных на лабораторном стенде, по пяти отметкам шкалы поверяемых приборов ($U_{пов}$; $I_{пов}$) с одновременным отсчетом показаний образцовых приборов. При этом показания образцового прибора ($U_{обр}$, $I_{обр}$) записываются сначала при плавном увеличении показаний шкалы поверяемого прибора от начального значения до конца шкалы, а потом при уменьшении показаний шкалы от конца шкалы до начального значения;
   3.5. Измеренные результаты занести в таблицу (табл. 1.3);
   3.6. По результатам измеренных данных с помощью формул (1.1) и (1.3) вычислить абсолютные погрешности (ΔU_1, ΔU_2; ΔI_1, ΔI_2) и относительные (δ_1, δ_2);
   3.7. По результатам вычислений найти максимальную погрешность (δ_{max});
   3.8. Результаты вычислений занести в таблицу (табл. 1.3);
   3.9. Сделать вывод о пригодности поверяемых приборов.

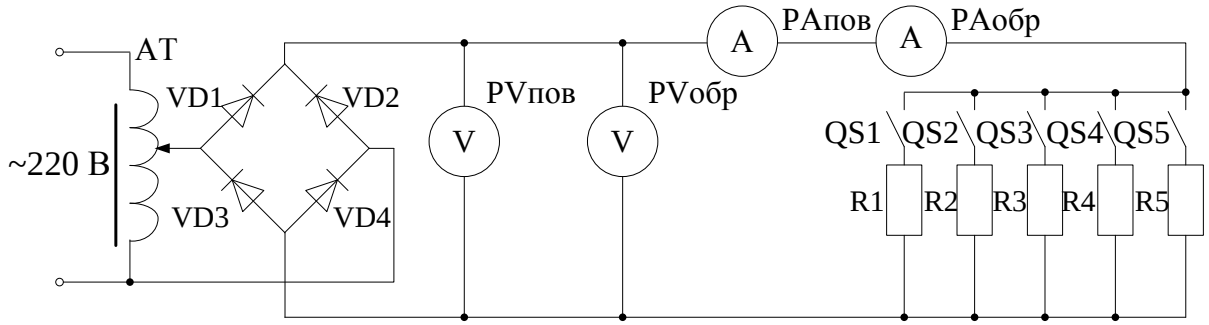

Рис.1.2

Таблица 1.3

№ опыта	Измерено			Вычислено				
	$U_{пов}$, В	$U_{обр}$, В		ΔU_1, В	ΔU_2, В	δ, %	δ,%	δ_{max}, %
		при увелич.	при уменьш.	при увелич.	при уменьш.	при увелич.	при уменьш.	
1								
2								
3								
4								
5								
№ опыта	Измерено			Вычислено				
	$I_{пов}$, А	$I_{обр}$, А		ΔI_1, А	ΔI_2, А	δ, %	δ,%	δ_{max}, %
		при увелич.	при уменьш.	при увелич.	при уменьш.	при увелич.	при уменьш.	
1								
2								
3								
4								
5								

4. Произвести поверку вольтметра переменного тока:
   4.1. Собрать электрическую цепь для поверки (рис.1.3);
   4.2. Установить рукоятку лабораторного автотрансформатора в нулевое положение;
   4.3. Включить схему и прогреть приборы в течение 3-5 минут;
   4.4. Произвести поверку ваттметра и амперметра, расположенных на лабораторном стенде, по пяти отметкам шкалы поверяемых приборов ($U_{пов}$) с одновременным отсчетом показаний образцовых приборов. При этом показания образцового прибора ($U_{обр}$) записываются сначала при плавном увеличении показаний шкалы поверяемого прибора от начального значения до конца шкалы, а потом при уменьшении показаний шкалы от конца шкалы до начального значения;
   4.5. Измеренные результаты занести в таблицу (табл. 1.4);
   4.6. По результатам измеренных данных с помощью формул (1.1) и (1.3) вычислить абсолютные погрешности (ΔU_1, ΔU_2) и относительные (δ_1, δ_2);

4.7. По результатам вычислений определить максимальную погрешность (δ_{max});

4.8. Результаты вычислений занести в таблицу (табл. 1.4);

4.9. Сделать вывод о пригодности поверяемых приборов

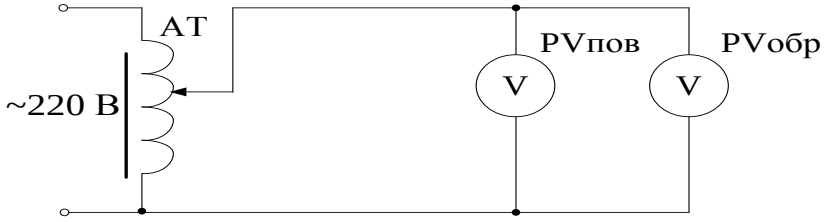

Рис.1.3

Таблица 1.4

№ опыта	Измерено			Вычислено				
	$U_{пов}$, В	$U_{обр}$, В		ΔU_1, В	ΔU_2, В	δ, %	δ,%	δ_{max}, %
		при увелич.	при уменьш.	при увелич.	при уменьш.	при увелич.	при уменьш.	
1								
2								
3								
4								
5								

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Метрологическая карта средств измерения с примерами расчетов цены деления и чувствительности приборов.
3. Схемы поверочных установок.
4. Таблицы измерений и расчетов.
5. Формулы и примеры расчетов погрешностей.
6. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое поверка, калибровка?
2. Какими метрологическими характеристиками обладает измерительный прибор?
3. Приведите пример определения чувствительности для какого-либо измерительного прибора.
4. Приведите формулы для определения абсолютной, относительной, приведенной погрешностей.
5. Как выбирается нормированное значение для определения приведенной погрешности?

6. Приведите примеры обозначения классов точностей. Какими погрешностями они характеризуются?

Лабораторная работа №2
РАСШИРЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ ИЗМЕРЕНИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Цель работы: приобретение практических навыков расчета добавочных сопротивлений и шунтов для расширения пределов измерения вольтметров и амперметров.

Теоретическая часть

Для измерения значений токов и напряжений полного отклонения (для расширения пределов измерения) имеющихся в наличии приборов, широкое применение находят электрические измерительные преобразователи. Для изменения пределов измерения приборов, работающих на постоянном токе, используются шунты ($R_ш$) и добавочные сопротивления ($R_д$).

Расширение предела измерения вольтметра осуществляется следующим образом.

1. Определение внутреннего сопротивления прибора (*PA1*).

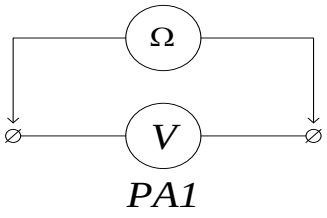

Рис. 2.1

Внутреннее сопротивление ($R_{вн}$) измерительных приборов производится с помощью омметра по схеме, изображенной на рис.2.1.

2. Определение напряжения полного отклонения.

Напряжение полного отклонения ($U_{по}$) определяется с помощью вольтметра, включенного параллельно измерительному прибору *PA1* (рис.2.2).

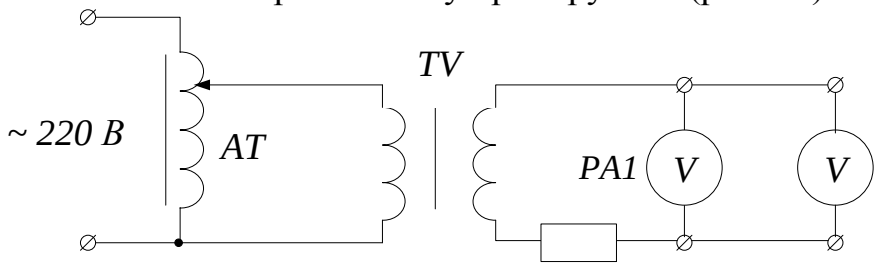

Рис.2.2

3. Вычисление добавочного сопротивления.

Расширение предела измерения вольтметра осуществляется включением в электрическую цепь добавочного сопротивления ($R_д$). Расчет добавочного сопротивления осуществляется по формуле (2.1):

$$R_д = (\frac{U_x}{U_{по}} - 1) \cdot R_{вн}, \qquad (2.1)$$

где $R_{вн}$ – внутреннее сопротивление измерительного прибора (*PA1*), *Ом;* $U_{по}$ – напряжение полного отклонения измерительного механизма, *В;* U_x – новый предел измерения вольтметра, *В*.

Рассчитанное добавочное сопротивление устанавливается с помощью омметра по схеме на рис.2.3.

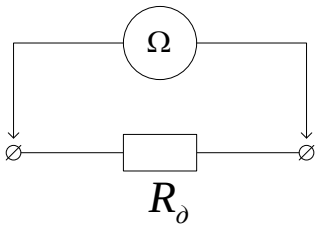

Рис. 2.3

4. Поверка вольтметра с расширенным пределом измерения.

Поверка осуществляется с помощью образцового вольтметра, имеющего предел измерения больший, чем U_x поверяемого прибора (рис.2.4).

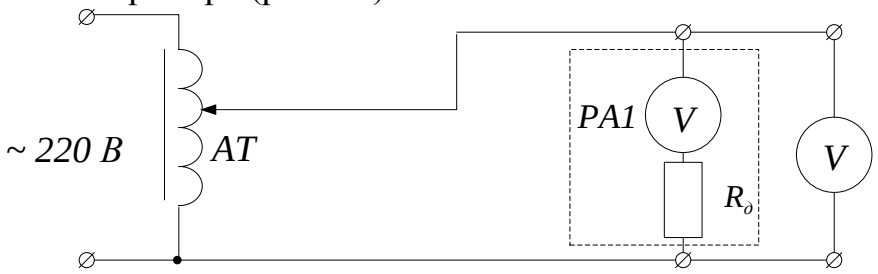

Рис. 2.4

Абсолютная погрешность (ΔU) вычисляется по формуле:

$$\Delta U = U_{пов} - U_{обр}, \qquad (2.2)$$

где $U_{пов}$ – измеренное значение величины (снимается с поверяемого прибора, находящегося на лабораторном стенде); $U_{обр}$ – истинное значение (понимается показание образцового прибора).

Относительная погрешность определяется по формуле:

$$\delta = \frac{\Delta U}{U_{обр}} \cdot 100\% . \qquad (2.3)$$

В случае, если хотя бы одно значение относительной погрешности из нескольких, вычисленных при изменении отсчетов показаний образцового прибора (δ_{max}), превышает класс точности средства измерения, можно говорить о том, что поверяемый прибор не пригоден для измерений.

Расширение предела измерения амперметра осуществляется следующим образом.

1. Определение внутреннего сопротивления прибора (*PA2*).

Внутреннее сопротивление ($R_{вн}$) измерительных приборов производится с помощью омметра по схеме, изображенной на рис.2.5.

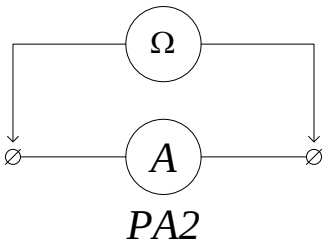

Рис. 2.5

2. Определение тока полного отклонения.

Ток полного отклонения ($I_{по}$) определяется с помощью амперметра, включенного последовательно с измерительным прибором *PA2* (рис.2.6).

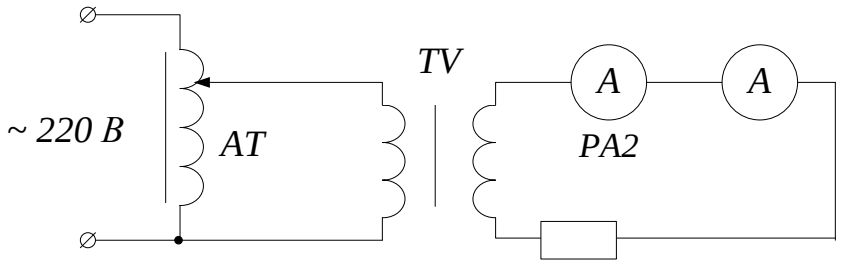

Рис.2.6

3. Вычисление сопротивления шунта.

Расширение предела измерения амперметра осуществляется включением параллельно прибору сопротивления шунта ($R_ш$). Сопротивление шунта определяется по формуле (2.4):

$$R_ш = \frac{R_{вн}}{\frac{I_x}{I_{по}} - 1}, \qquad (2.4)$$

где $R_{вн}$ – внутреннее сопротивление измерительного прибора (*PA2*), *Ом;* $I_{по}$ – ток полного отклонения, *А;* I_x – новый предел измерения амперметра, *А*.

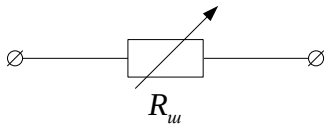

Рис. 2.7

Рассчитанное добавочное сопротивление устанавливается с помощью переменного сопротивления по схеме на рис.2.7.

4. Поверка амперметра с расширенным пределом измерения.

Поверка осуществляется с помощью образцового амперметра, имеющего предел измерения больший, чем I_x поверяемого прибора (рис.2.8).

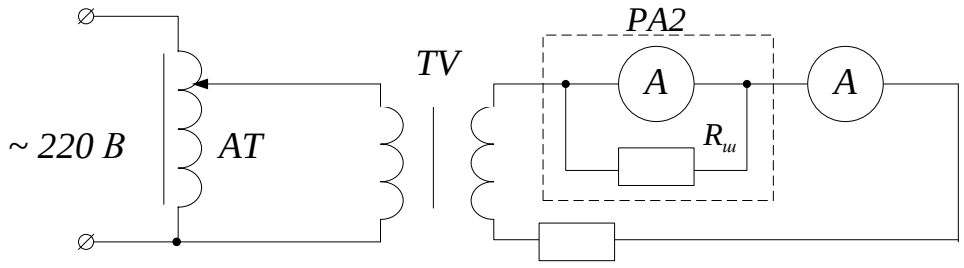

Рис. 2.8

Абсолютная погрешность (ΔI) вычисляется по формуле:

$$\Delta I = I_{пов} - I_{обр}, \qquad (2.5)$$

где $I_{пов}$ – измеренное значение величины (снимается с поверяемого прибора, находящегося на лабораторном стенде); $I_{обр}$ – истинное значение (понимается показание образцового прибора).

Относительная погрешность определяется по формуле:

$$\delta = \frac{\Delta I}{I_{обр}} \cdot 100\%. \qquad (2.6)$$

В случае, если хотя бы одно значение относительной погрешности из нескольких, вычисленных при изменении отсчетов показаний образцового прибора (δ_{max}), превышает класс точности средства измерения, можно говорить о том, что поверяемый прибор не пригоден для измерений.

Перед началом поверки средств измерений заполняется метрологическая карта средств измерения с указанием единиц измерения (табл. 1.1).

Порядок выполнения работы

1. Заполнить метрологическую карту средств измерения.
2. Определить внутреннее сопротивление прибора *PA1* с помощью схемы, изображенной на рис.2.1.
3. Определить напряжение полного отклонения U_{no}. Схема рис.2.2. Для определения U_{no} использовать вольтметр Э 531.
4. С помощью формулы (2.1) вычислить сопротивление $R_д$ при условии, что новый предел измерения напряжения U_x равен 210 В.
5. Установить на стенде рассчитанное значение сопротивления $R_д$. Схема на рис. 2.3.
6. Произвести поверку полученного прибора.
   6.1. Собрать схему для поверки полученного прибора (рис.2.4). В качестве образцового прибора использовать вольтамперметр Д 128. Предел измерения образцового прибора должен превышать 210 В.
   6.2. Определить цену деления поверяемого и образцового прибора по формуле:

$$C = \frac{U_x}{N}, \; В/дел,$$

где N – длина шкалы прибора *PA1*, *дел.*

   6.3. Изменяя напряжение с помощью автотрансформатора, снять показания поверяемого и образцового приборов в трех расчетных точках. Рассчитать абсолютную, относительную и максимальную погрешности. Результаты занести в таблицу.

Таблица 2.1

№ опыта	Количество делений поверяемого прибора	$U_{пов}$, В	$U_{обр}$, В	$\Delta U, B$	δ, %
1	10				
2	20				
3	30				

7. Определить внутреннее сопротивление прибора *PA2* с помощью схемы, изображенной на рис.2.5.

8. Определить ток полного отклонения $I_{по}$. Схема рис.2.6. Для определения $I_{по}$ использовать амперметр Д 553. Предел измерения 0,1 А.
9. С помощью формулы (2.4) вычислить сопротивление $R_ш$ при условии, что новый предел измерения тока I_x равен 2,1 А.
10. Установить на стенде рассчитанное значение сопротивления $R_ш$. Схема на рис.2.7.
11. Произвести поверку полученного прибора.
    11.1. Собрать схему для поверки полученного прибора (рис.2.8). В качестве образцового прибора использовать амперметр Д 553. Предел измерения образцового прибора должен превышать 2,1 А.
    11.2. Определить цену деления поверяемого и образцового прибора по формуле:

$$C = \frac{I_x}{N}, \; A/дел,$$

где N – длина шкалы прибора *РА2*, *дел.*

    11.3. Изменяя напряжение с помощью автотрансформатора, снять показания поверяемого и образцового приборов в трех расчетных точках. Рассчитать абсолютную, относительную и максимальную погрешности. Результаты занести в таблицу.

Таблица 2.1

№ опыта	Количество делений поверяемого прибора	$I_{пов}$, А	$I_{обр}$, А	$\Delta I, A$	δ, %
1	10				
2	20				
3	30				

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Метрологическая карта средств измерения.
3. Схемы опытных установок.
4. Формулы и расчет внутреннего сопротивления и сопротивления шунта.
5. Таблицы измерений и примеры расчета погрешностей.
6. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Объясните, каким образом можно изменить предел измерения вольтметра?
2. Объясните, каким образом можно изменить предел измерения амперметра?
3. Изобразите схему включения вольтметра с расширенным пределом измерения.
4. Изобразите схему включения амперметра с расширенным пределом измерения.
5. Приведите формулы для расчета добавочного сопротивления и сопротивления шунта.
6. Как рассчитать цену деления прибора с расширенным пределом измерения?

Лабораторная работа №3
УЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И ПОВЕРКА СЧЕТЧИКОВ

Цель работы: исследование схем включения трехфазных и однофазных счетчиков для учета активной и реактивной электроэнергии и проверка правильности работы счетчиков по показаниям контрольно-измерительных приборов лабораторного типа.

Теоретическая часть

Все потребители электроэнергии независимо от присоединенной мощности должны иметь счетчики активной энергии (расчетные счетчики) для расчета за полученную энергию. У потребителя с присоединенной мощностью 100 кВА и более должны быть установлены счетчики реактивной энергии.

В трехфазных сетях для учета электроэнергии применяют трехфазные или однофазные счетчики. Начала обмоток счетчиков обозначаются звездочками.

В сетях низкого напряжения (до 380 В) счетчики включаются или непосредственно в сеть (при токах до 10-50А) или через трансформаторы тока (ТА). Счетчики с номинальным напряжением 100В включаются в сеть через измерительные трансформаторы напряжения (TV). Счетчики, предназначенные для работы с определенными трансформаторами тока и напряжения, обозначенными на их щитках, измеряют энергию уже с учетом коэффициентов трансформации и никаких поправочных коэффициентов не требуют. Счетчики универсальные (в обозначении вводится буква «у») могут включаться с любыми ТА и TV.

В обозначениях счетчиков используют буквы и цифры, которые обозначают:

С – счетчик; О – однофазный; А – активной энергии, Р – реактивной энергии; 3 – для трехпроводной сети; 4 – для четырехпроводной сети; У – универсальный, И – индукционной измерительной системы, цифры в обозначении счетчика (исключая 3 и 4) обозначают конструктивное исполнение, П – прямоточный (для включения без измерительных трансформаторов), М – модернизированный.

Схемы включения и типы счетчиков выбираются в зависимости от назначения прибора и характера трехфазной системы, которая может быть:

1. Симметричной, когда равны между собой фазные и линейные напряжения, токи и углы сдвига фаз.
2. С простой несимметрией, когда напряжения симметричны, а токи (нагрузки) в фазах неодинаковы.
3. Системы с полной асимметрией, когда токи в фазах различны и напряжения несимметричны.

Наиболее часто встречаются симметричные системы, так как в современных энергосистемах обычно поддерживается полная симметрия напряжений.

Поэтому при выполнении лабораторной работы будем использовать четырехпроводную симметричную сеть низкого напряжения с малым током нагрузки. Таким образом, будем использовать прямое включение счетчиков без трансформаторов тока и напряжения.

В качестве потребителей электроэнергии (нагрузки) при выполнении лабораторной работы используется асинхронный двигатель и термоэлектронагреватель.

Схема включения однофазного счетчика для учета активной энергии

В трехфазной четырехпроводной симметричной сети низкого напряжения (до 380 В) учет активной энергии можно вести при помощи одного однофазного счетчика, включенного на фазный ток и фазное напряжение. Так как сеть трехфазная, то показания счетчика умножаются на три.

Схема включения однофазного счетчика активной энергии в симметричной трехфазной четырехпроводной сети, где потребителем является асинхронный электродвигатель, представлена на рис.3.1. Для поверки счетчика в качестве образцового прибора используется ваттметр (Wобр).

Схема включения однофазного счетчика для учета активной энергии термоэлектронагревателя (печки) аналогична.

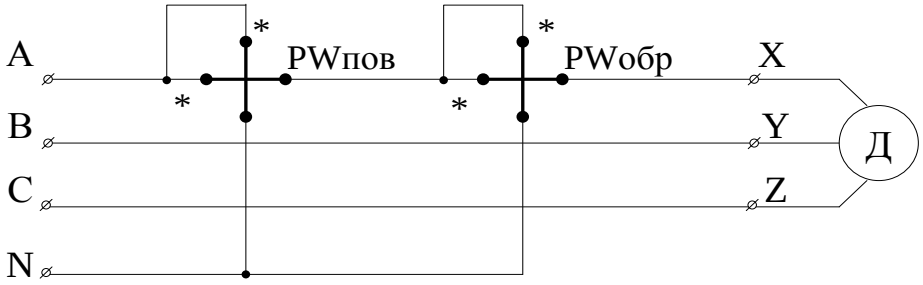

Рис. 3.1

Схема включения однофазного счетчика для учета реактивной энергии

Возможность измерения реактивной энергии цепи трехфазного тока счетчиком активной энергии вытекает из следующих соображений.

Энергия, показываемая однофазным счетчиком активной энергии, определяется током (I) его последовательной катушки, напряжением (U), приложенным к его параллельной цепи, и косинусом угла сдвига между током и напряжением. Если такой счетчик включить так, чтобы между током его последовательной катушки и напряжением на его параллельной цепи был угол сдвига 90^0, то счетчик будет измерять реактивную энергию.

Схема включения однофазного счетчика для учета реактивной энергии в симметричной трехфазной сети представлена на рис.3.2.

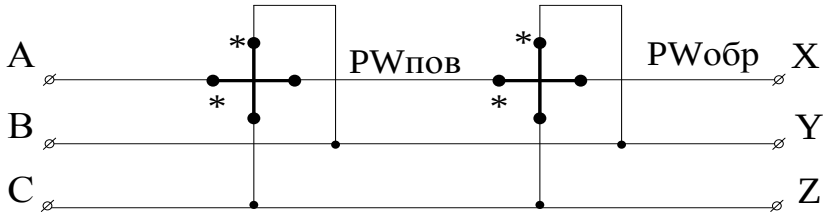

Рис. 3.2

Схема включения трехфазного счетчика для учета активной энергии

Измерение активной энергии в трехфазных сетях, особенно при наличии несимметрии, возможно производить при помощи трехфазных счетчиков активной нагрузки.

Схема включения трехфазного счетчика активной энергии в трехфазной четырехпроводной сети представлена на рис.3.3.

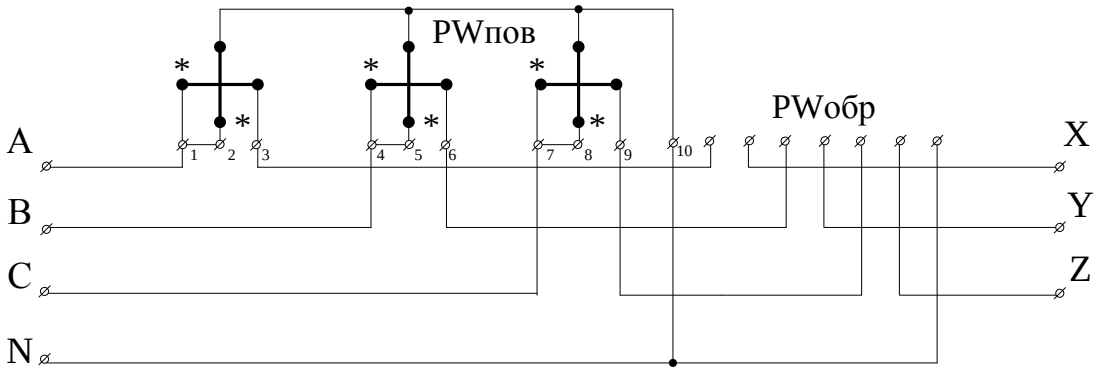

Рис. 3.3

Схема включения трехфазного счетчика для учета реактивной энергии

При включении трехфазных счетчиков для учета реактивной энергии используется общее правило: токовая обмотка включается в разрыв фазы, начало обмотки напряжения (генераторный режим) подключается к следующей в порядке чередования фазе, а конец обмотки напряжения – к оставшейся фазе. Таким образом, схема включения трехфазного счетчика для измерения реактивной энергии в трехфазной четырехпроводной сети представлена на рис.3.4.

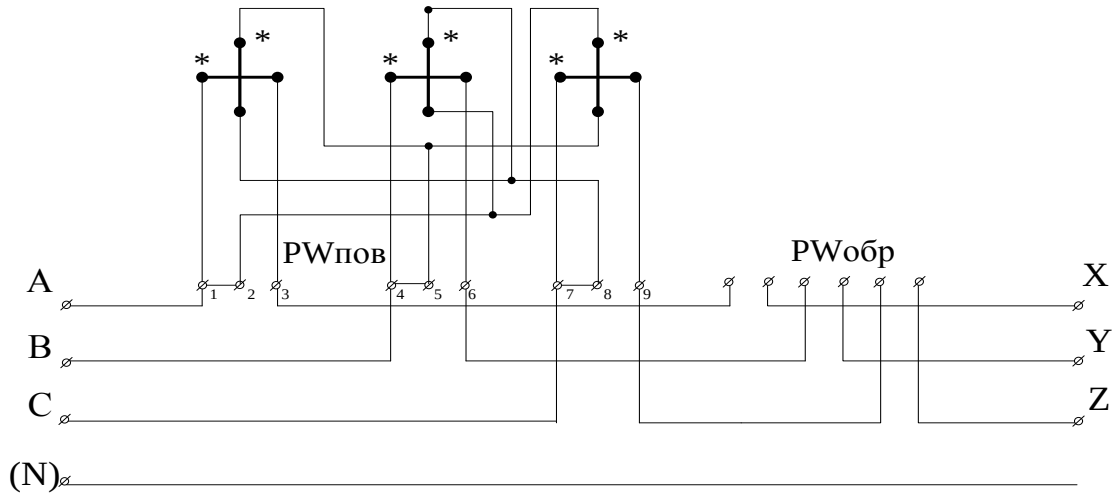

Рис. 3.4

Использование цифровых счетчиков

Счетчики разделяются на индукционные и цифровые (электронные). Цифровые счетчики отличаются более высокой, по сравнению с индукционными, точностью и надежностью. В отличие от индукционных счетчиков, использующих электромеханический принцип (учтенная энергия соответствует числу оборотов диска), электронные счетчики не содержат вращающихся частей и производят преобразование сигналов в пропорциональные величины мощности и энергии.

Кроме того, применяя цифровые счетчики, можно с достаточной степенью точности помимо активной и реактивной энергии определить пофазные значения токов, напряжений, фазовый сдвиг, частоту сети, а также общую энергию. Схема подключения цифровых счетчиков аналогична схеме подключения трехфазных счетчиков.

В данной лабораторной работе используется цифровой счетчик Меркурий 230 AR-01C производства ООО «Фирма ИНКОТЕКС» г. Москва, который может подключаться к внешнему компьютеру и управляться через проводной интерфейс «CAN» посредством тестового программного обеспечения «Конфигуратор счетчиков электрической энергии Меркурий 230».

Определение энергии по показаниям счетчика и секундомера. Поверка счетчиков

Поскольку для используемого однофазного счетчика значению энергии в 1 $кВт \cdot ч$ соответствует 1200 оборотов диска счетчика, а для трехфазного – 450 оборотов диска, то для определения потребляемой мощности по однофазному счетчику ($W_{изм1}$) и трехфазному ($W_{изм3}$) используются формулы:

$$W_{изм1} = \frac{1 \cdot n}{1200}; \quad (кВт \cdot ч), \qquad (3.1)$$
$$W_{изм3} = \frac{1 \cdot n}{450}$$

где n – количество оборотов диска счетчика за время (t, ч), отсчитываемое с помощью секундомера.

Поскольку ваттметр, используемый в лабораторной работе для поверки счетчиков, показывает активную мощность (P, Вт), то для определения полной энергии ($W_{обр}$) используется формула:

$$W_{обр} = P \cdot t \ (кВт \cdot ч), \qquad (3.2)$$

где t – количество времени, измеренное с помощью секундомера и использованное для определения потребляемой мощности по счетчику.

При использовании одного однофазного счетчика значения энергии, получаемые в формулах (3.1) и (3.2) умножаются на 3 (по количеству фаз).

Для поверки счетчиков определяют абсолютную и относительную погрешности. В случае, если относительная погрешность (в процентах) превышает класс точности поверяемого прибора, то поверяемый прибор считается непригодным для измерений.

Абсолютная погрешность:

$$\Delta W = W_{изм} - W_{обр} \ (кВт \cdot ч) \qquad (3.3)$$

Относительная погрешность:

$$\delta = \frac{\Delta W}{W_{обр}} \cdot 100\% \qquad (3.4)$$

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с принципиальной схемой лабораторного стенда.
2. Ознакомиться с типами и классами точности счетчиков, установленных на лабораторном стенде.
3. Учет активной энергии однофазным счетчиком. Поверка однофазного счетчика:
   - 3.1. Собрать схему подключения однофазного счетчика для учета активной энергии асинхронного двигателя и поверки счетчика с помощью ваттметра (рис.3.1).
   - 3.2. Включить схему.
   - 3.3. Определить активную энергию по счетчику и ваттметру, используя формулы (3.1) и (3.2). Для расчета использовать значение t=2-5 мин.
   - 3.4. Определить абсолютную и относительную погрешности, используя формулы (3.3) и (3.4).
   - 3.5. Сделать вывод о пригодности счетчика.
   - 3.6. Собрать схему подключения однофазного счетчика для учета активной энергии печки и поверки счетчика с помощью ваттметра (рис.3.1).

3.7. Повторить пункты 3.2-3.5.

4. Учет реактивной энергии однофазным счетчиком. Поверка однофазного счетчика:
   4.1. Собрать схему подключения однофазного счетчика для учета реактивной энергии асинхронного двигателя и поверки счетчика с помощью ваттметра (рис.3.2).
   4.2. Включить схему.
   4.3. Определить активную энергию по счетчику и ваттметру, используя формулы (3.1) и (3.2). Для расчета использовать значение t=2-5 мин.
   4.4. Определить абсолютную и относительную погрешности, используя формулы (3.3) и (3.4).
   4.5. Сделать вывод о пригодности счетчика.
5. Учет активной энергии трехфазным счетчиком. Поверка трехфазного счетчика:
   5.1. Собрать схему подключения трехфазного счетчика для учета активной энергии асинхронного двигателя и поверки счетчика с помощью цифрового счетчика «Меркурий» (рис.3.3).
   5.2. Включить схему.
   5.3. Определить активную энергию по трехфазному счетчику и цифровому счетчику «Меркурий», используя формулы (3.1) и (3.2). Для расчета использовать значение t=2-5 мин.
   5.4. Определить абсолютную и относительную погрешности, используя формулы (3.3) и (3.4).
   5.5. Сделать вывод о пригодности трехфазного счетчика.
   5.6. Собрать схему подключения трехфазного счетчика для учета активной энергии печки и поверки счетчика с помощью цифрового счетчика «Меркурий» (рис.3.3).
   5.7. Повторить пункты 5.2-5.5.
6. Учет реактивной энергии трехфазным счетчиком. Поверка трехфазного счетчика:
   6.1. Собрать схему подключения трехфазного счетчика для учета реактивной энергии асинхронного двигателя и поверки счетчика с помощью цифрового счетчика «Меркурий» (рис.3.4).
   6.2. Включить схему.
   6.3. Определить реактивную энергию по трехфазному счетчику и цифровому счетчику «Меркурий», используя формулы (3.1) и (3.2). Для расчета использовать значение t=2-5 мин.
   6.4. Определить абсолютную и относительную погрешности, используя формулы (3.3) и (3.4).
   6.5. Сделать вывод о пригодности трехфазного счетчика.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схемы поверочных установок.
3. Формулы и расчеты энергии и погрешностей.
4. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. В каких случаях счетчики подключаются через трансформаторы тока и через трансформаторы напряжения?
2. Объясните сокращения в обозначениях счетчиков.
3. Приведите схему включения трехфазного счетчика для учета реактивной энергии.
4. Объясните общее правило подключения токовой обмотки и обмотки напряжения при включении счетчиков на измерение реактивной энергии.
5. Опишите преимущества цифровых счетчиков.

Лабораторная работа №4
ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Цель работы: измерение изменяющихся во времени электрических величин электронным осциллографом, цифровым мультиметром.

Теоретическая часть

Прибор для наблюдения и регистрации электрических сигналов, а также для измерения различных параметров сигналов, определяющих их форму, значение, временные и частотно-фазовые соотношения, называется электронным осциллографом.

К преимуществам электронного осциллографа относятся большое входное сопротивление, высокая чувствительность, малая инерционность, широкий частотный диапазон.

Электронный осциллограф чувствителен к изменению напряжения, поэтому он широко применяется для измерения электрических и других физических величин, которые могут быть преобразованы в напряжение электрического сигнала. Наиболее часто осциллограф используется для измерения и исследования электрических сигналов, появляющихся при изучении переходных и установившихся режимов.

Осциллограф имеет следующие метрологические и технические характеристики.

1. Полоса пропускания – это диапазон частот, в котором амплитудно-частотная характеристика имеет спад не более 3 дБ относительно значения на опорной частоте.
2. Неравномерность амплитудно-частотной характеристики.
3. Нелинейность амплитудной характеристики усилителей осциллографа.
4. Качество воспроизведения сигнала в импульсном осциллографе.
5. Чувствительность.
6. Параметры входов. Например, вход открытый (закрытый), входное сопротивление 1 МОм $\pm$ 3%, входная емкость, параллельная входному сопротивлению не более 35 пФ $\pm$ 10%.
7. Погрешности калибраторов амплитуды и калибраторов временных интервалов и их измерения.
8. Длительность разверток.
9. Нелинейность развертки.

Кроме указанных характеристик, осциллограф характеризуется следующими параметрами: рабочей частью экрана, толщиной линии луча, допустимым напряжением на входах, конструктивными характеристиками (масса, габариты, питание, климатические условия и т.д.)

Осциллографы различают следующим образом:

1. По ширине полосы пропускания – низкочастотные (с полосой до единиц МГц), широкополосные или скоростные (с полосой до 1000 – 1500 МГц), сверхскоростные (с полосой до десятков ГГц).
2. По количеству одновременно используемых сигналов – однолучевые, двухлучевые, двухканальные, многолучевые, многоканальные.
3. По характеру исследуемого сигнала – для наблюдения непрерывных сигналов, импульсных сигналов, универсальных, специальных.
4. По точности.
5. По масштабу времени – запоминающие, стробоскопические и т.д.
6. По условиям эксплуатации.

Наряду с достоинствами, осциллограф имеет достаточно высокие погрешности. Альтернативой по точности измерений частоты, временных интервалов, измерения напряжения являются цифровые измерительные приборы.

Цифровые измерительные приборы классифицируются:

1. По способу преобразования непрерывной величины в код последовательного счета.
2. По измеряемой величине – для измерения индуктивности, емкости, частоты, напряжения, тока, угла сдвига фаз, сопротивления, а также мультиметры.
3. По точности (на классы).
4. По быстродействию.

5. По измеряемому параметру: мгновенные значения, средние значения (интегрирующие).
6. По режиму – циклические, следящие.

К основным характеристикам цифровых измерительных приборов относятся:

1. Погрешности – основные, дополнительные, динамические.
2. Пределы измерения и порог чувствительности.
3. Входное сопротивление.
4. Быстродействие.
5. Помехозащищенность.
6. Надежность.

Порядок выполнения работы

1. Изучить схему преобразователя, представленную на рис.4.1.
2. Изучить технические возможности и порядок работы осциллографа С1-117.
3. Изучить технические возможности и порядок работы прибора комбинированного цифрового Щ4313.
4. Подобрать аналоговые измерительные приборы для измерения напряжений в гнездах XS1-XS2; XS3-XS4; XS6-XS7; тока в гнездах XS5-XS6 и измерить входные и выходные параметры преобразователя этими приборами.
5. Определить эти же величины с помощью цифрового прибора Щ4313.
6. Исследовать формы напряжений и токов в гнездах, указанные в п.4 с помощью осциллографа С1-117, используя при необходимости делитель и шунты, без фильтра (QS3 выключен) и при его подключении (QS3 включен).
7. Зарисовать в масштабе формы напряжений и токов с экрана осциллографа, сравнить их с цифровыми и аналоговыми результатами измерений.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схемы испытательной установки.
3. Результаты проведенных исследований.
4. Выводы по работе.

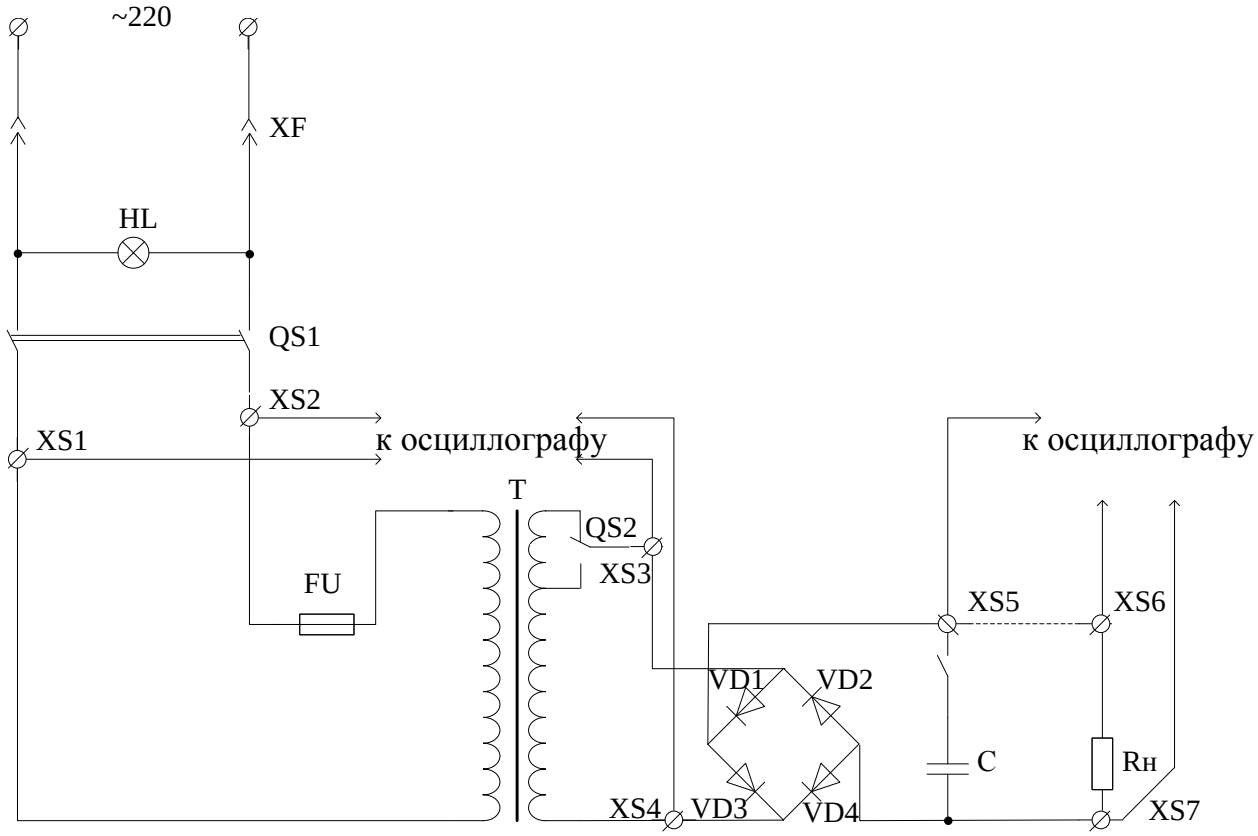

Рис.4.1

Контрольные вопросы

1. Для измерения каких величин применяется осциллограф? В чем его преимущества?
2. Какими метрологическими характеристиками обладает осциллограф?
3. Приведите классификацию цифровых измерительных приборов.

Изобразите и объясните схему преобразователя, используемого при выполнении лабораторной работы.

Библиографический список

1. Димов, Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для вузов / Ю.В. Димов. – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2004. – 432 с.
2. Допуски и посадки: справочник: в 2-х ч. – 8-е изд., перераб. и доп. – Л.: Политехника, 1991. – Ч.1. – 576 с., Ч.2. – 608 с.
3. Кузнецов, В.А. Общая метрология / В.А. Кузнецов, Г.В. Ялунина. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 269 с.
4. Сергеев, А.Г. Метрология, стандартизация и сертификация: учеб. пособие / А.Г. Сергеев, М.В. Латышев, В.В. Терегеря. – М.: Логос, 2005. – 559 с.
5. Тартаковский, Д.Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерений: учебник для вузов / Д.Ф. Тартаковский, А.С. Ястребов. – М.: Высш. шк., 2001. – 205 с.
6. Электрические измерения: учебник для вузов / под ред. А.В. Фремке. – Л.: Энергия, 1973. – 424с.
7. Шульц, Ю. Электроизмерительная техника:1000 понятий для практиков: справочник: пер. с нем / Ю. Шульц. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 288с.
8. Радкевич, Я.М. Метрология, стандартизация и сертификация: учеб. для вузов / Я.М. Радкевич, А.Г. Схиртладзе, Б.И. Лактионов. – М.: Высш. шк., 2006. – 767 с.
9. Правила устройства электроустановок: [Все действующие разделы ПУЭ-7]. – 7-е изд. – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2007. – 510 с.

Подписано в печать 20.06.2011. Усл. печ. л. 1,45. Тираж .
Печать офсетная. Бумага офисная. Заказ № _____

Отпечатано: РИО ВоГТУ, г. Вологда, ул. Ленина, 15