

Федеральное агентство железнодорожного транспорта  
Уральский государственный университет путей сообщения

Кафедра «Теоретические основы электротехники»

**И.А. Бердников**

**Е.П. Санникова**

# **МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ**

ЕКАТЕРИНБУРГ

2007

Федеральное агентство железнодорожного транспорта  
Уральский государственный университет путей сообщения

---

Кафедра «Теоретические основы электротехники»

И.А. Бердников

Е.П. Санникова

**МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ  
И СЕРТИФИКАЦИЯ**

Задание на контрольную работу  
с методическими указаниями для студентов заочного обучения  
специальностей 181400,101800,211900,071900

ЕКАТЕРИНБУРГ

2007

УДК 621.317.08.(075.8)  
Б48

Задание на контрольную работу предназначено для студентов заочного обучения специальностей 181400, 101800, 210700, 071900, изучающих дисциплину «Метрология, стандартизация и сертификация» в соответствии с учебным планом.

Задание на контрольную работу содержит четыре задачи и методические указания к их выполнению.

Задание утверждено на заседании кафедры «ТОЭ протокол № 01 от 01 сентября 2006 года.

Авторы: И.А. Бердников, доцент кафедры  
«Теоретические основы электротехники» (УрГУПС)

Е.П. Санникова, старший преподаватель кафедры  
«Теоретические основы электротехники» (УрГУПС)

Рецензент: А.П. Сухогузов, заведующий кафедрой,  
«Теоретических основ электротехники» (УрГУПС),  
профессор

## ВВЕДЕНИЕ

Задание на контрольную работу предназначено для закрепления знаний, полученных студентами при изучении теоретического и практического материала по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация», а также для оценки этих знаний преподавателем.

Контрольную работу студенты выполняют самостоятельно после изучения теоретического курса и выполнения лабораторного практикума.

Контрольная работа должна удовлетворять следующим требованиям:

- контрольная работа должна быть выполнена в тетради чернилами и так, чтобы можно было без затруднения прочесть слово, знак или цифру;

- страницы должны быть пронумерованы, на каждой из них необходимы поля;

- все расчеты должны сопровождаться достаточными пояснениями;

- обозначения величин в тексте, в формулах, на векторных диаграммах и в электрических схемах должны быть согласованы и расшифрованы один раз в каждой задаче;

- схемы, векторные диаграммы и графики должны выполняться с соблюдением требований государственных стандартов, чертежными инструментами. Схемы, рисунки, векторные диаграммы и графики должны быть пронумерованы и иметь подрисуночные надписи;

- схемы, рисунки, векторные диаграммы и графики должны иметь размеры не менее  $10 \times 10$  см. Графики и векторные диаграммы должны быть построены на миллиметровой бумаге и подклеены к тексту работы. При выборе масштаба надо иметь в виду, что число единиц в выбранном отрезке длины, принятом за единицу, должно выражаться в виде степенной функции. Например,  $1 \times 10^n$ ;  $2 \times 10^n$ , где  $n$  – целое число;

- работа должна быть подписана с указанием даты ее завершения.

Задание на контрольную работу состоит из четырех задач. Вариант контрольной работы выбирается по двум последним цифрам шифра студента. Если в учебном шифре студента только одна цифра, то за предыдущую цифру необходимо принять 9.

Студенты должны выполнить контрольную работу в сроки, установленные учебным планом данного семестра.

Выполненные контрольные работы перед рецензированием должны пройти обязательную регистрацию в порядке, установленном деканатом заочного обучения.

По истечении указанного в учебном плане срока работы могут быть приняты на рецензию только с разрешения деканата.

# КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ № 1

## ПОВЕРКА АМПЕРМЕТРА И ВОЛЬТМЕТРА

### 1.1. Исходные данные

Амперметр магнитоэлектрической системы с пределом измерения по току  $I_N$  и пределом сигнала измерительной информации  $y_N = 100$  делений, имеет оцифрованные деления от нуля до  $I_N$ , проставленные на каждой пятой части шкалы сигнала измерительной информации, причем стрелки обесточенных приборов занимают нулевое положение.

Поверка амперметра осуществлена образцовым амперметром той же системы и таким же пределом измерения. При поверке установлены абсолютные погрешности для каждого из пяти оцифрованных значений измеряемой величины.

Значения абсолютных погрешностей  $\Delta_I$  и предел измерения амперметра  $I_N$  для каждого варианта приведены в табл. 1.1.

При решении задания необходимо:

- указать условия поверки приборов;
- определить поправки измерений;
- построить график поправок;
- определить относительные погрешности;
- определить приведенные погрешности;
- указать, к какому классу точности относится данный прибор;
- дать определения всех погрешностей, которые использованы в данном задании.

### 1.2. Методические указания

Поверкой называется операция определения погрешностей и установление пригодности прибора к применению. Негодными считаются приборы, имеющие механические повреждения, неисправные корректоры и отсчетные устройства, а также погрешности и вариации показаний больше допустимых. При поверке поверяемый прибор включают совместно с образцовым, и методом сличения показаний поверяемого и образцового приборов находят абсолютную, относительную и приведенную погрешности для каждого из оцифрованных делений поверяемого прибора. По наибольшей приведенной погрешности определяют класс точности прибора. Результаты решения задачи записать в табл.1.2

Таблица 1.2

№ п.п	Оцифрованные деления шкалы	Погрешности			Класс точности
		абсолютная	относительная	приведенная	
	А	А	%	%	%

Таблица 1.1

Числовые значения для контрольного задания № 1

Поверяемый амперметр	Единица измерения	Пред- последняя цифра шифра	Последняя цифра шифра									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Абсолют- ная погреш- ность $\Delta_I$	А	-	-0,01	+0,03	-0,04	+0,02	-0,03	+0,05	-0,04	+0,02	-0,06	+0,03
		-	+0,02	-0,04	+0,06	-0,08	+0,05	-0,08	+0,03	0,04	-0,03	+0,06
		-	-0,03	+0,05	-0,03	+0,07	+0,04	-0,04	+0,06	-0,05	+0,08	-0,05
		-	+0,04	-0,06	+0,02	-0,05	-0,08	+0,02	-0,07	+0,06	-0,02	+0,04
		-	-0,05	+0,07	-0,01	+0,04	-0,06	+0,03	-0,02	-0,08	+0,05	-0,02
Предел измерения $I_N$	А	0; 5	2,5	20	15	20	5,0	10	5,0	10	2,5	15
		1; 6	10	1,0	20	15	1,0	2,5	15	20	5,0	2,5
		2; 7	5,0	10	1,0	2,5	2,5	20	10	2,5	10	5,0
		3; 8	20	15	25	10	5,0	5,0	20	5,0	20	1
		4; 9	15	2,5	10	5,0	20	15	2,5	15	1,0	20

Примечание. Абсолютная погрешность  $\Delta_I$  указана для каждого оцифрованного деления шкалы после нуля в порядке возрастания, включая предел измерения по току для амперметра.

## КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ № 2

### РАСШИРЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПО ТОКУ И НАПРЯЖЕНИЮ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

#### 2.1. Исходные данные

Магнитоэлектрический преобразователь ИП рассчитан на ток  $I_N$ , напряжение  $U_N$  и имеет предел сигнала измерительной информации  $y_N$ .

При решении задания необходимо:

- определить постоянные по току  $C_I$  и напряжению  $C_U$  заданного магнитоэлектрического преобразователя ИП до изменения пределов измерения;
- привести схемы включения измерительного преобразователя ИП с масштабными преобразователями для расширения пределов измерений по напряжению и току;
- вывести формулы для расчета сопротивления шунта  $R_{ш}$  и добавочного сопротивления  $R_{д}$ ;
- рассчитать величины сопротивления шунта  $R_{ш}$  и добавочного сопротивления  $R_{д}$ ;
- определить постоянные по току  $C_I^*$  и напряжению  $C_U^*$ , при условии, что заданными приборами необходимо измерить ток  $I_H$  и напряжение  $U_H$ ;
- определить мощности, потребляемые этими приборами после изменения пределов измерения по току и напряжению.

Числовые данные для каждого варианта приведены в таблице 2.1.

#### 2.2. Методические указания

Для расширения пределов измерения магнитоэлектрических преобразователей применяют масштабные преобразователи – шунты и добавочные сопротивления.

Шунты используют для расширения пределов по току. Для этого шунт включают параллельно магнитоэлектрическому преобразователю ИП (рис. 2.1, а). В этом случае сопротивление шунта и преобразователя  $R_{п}$  образуют делитель тока. Расчет сопротивления шунта сводится к решению системы двух уравнений, записанных по законам Кирхгофа.

Добавочные сопротивления используют для расширения пределов магнитоэлектрических преобразователей по напряжению. Для этого добавочное сопротивление включают последовательно с преобразователем ИП (рис. 2.1, б). В этом случае сопротивление преобразователя и добавочное сопротивление

Таблица 2.1

## Числовые данные для контрольного задания № 2

Наименование величин	Ед. измерения	Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Напряжение ИП $U_N$	мВ	-	45	75	50	100	75	60	100	75	80	100
Ток ИП $I_N$	мА	-	5	7,5	10	10	7,5	15	30	25	40	50
Предел сигнала измерительной информации $u_N$	дел	-	50	75	100	50	150	75	100	150	50	100
Напряжение $U_H$	В	0; 5	45	300	15	200	30	60	25	75	200	100
	В	1; 6	90	150	45	20	60	30	50	150	40	15
	В	2; 7	18	75	50	150	90	150	100	300	80	30
	В	3; 8	135	225	100	50	120	300	150	15	160	50
	В	4; 9	150	15	150	100	150	15	250	30	120	10
Ток $I_H$	А	0; 1	1, 0	1,5	2,0	10	1,5	3,0	25	30	20	5
	А	6; 2	1, 5	3,0	10	2,0	3,0	1,5	2,5	25	5,0	15
	А	7; 3	2, 0	6,0	5,0	3,0	4,5	6,0	5,0	15	10	0,5
	А	8; 4	2, 5	4,5	1,5	5,0	15	4,5	7,5	1,5	0,5	1,0
	А	9; 5	3, 0	7,5	0,5	2,5	30	0,3	0,6	7,5	4,0	20

образуют делитель напряжения. Расчет добавочного сопротивления сводится к решению системы двух уравнений, основанных на законе Ома для участка цепи, без добавочного сопротивления и с ним.

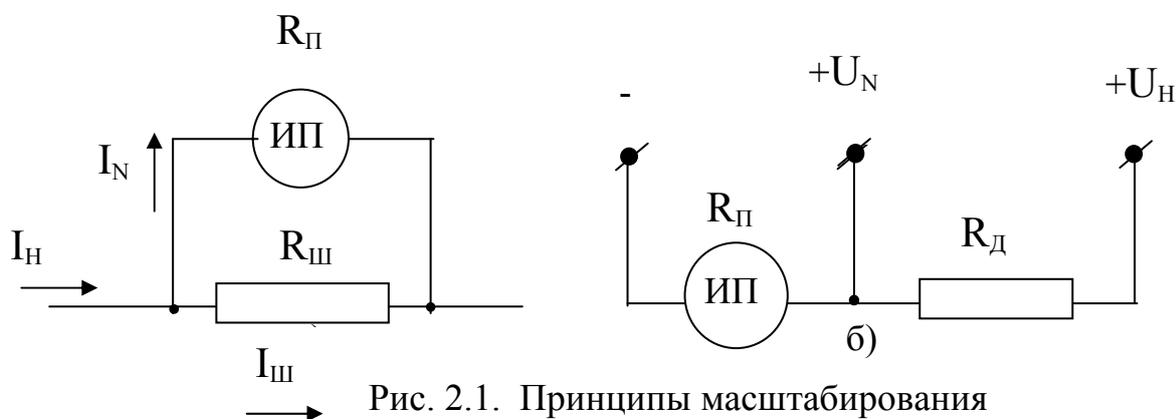


Рис. 2.1. Принципы масштабирования

а) - по току, б) - по напряжению

### КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ № 3

#### КОСВЕННЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОСТОЯННОМУ ТОКУ

##### 3.1. Исходные данные

Косвенный метод измерения – это метод, при котором по нескольким величинам, измеренным прямым методом, определяют искомую величину, связанную с ними известной теоретической зависимостью.

Для измерения косвенным методом сопротивления постоянному току использованы два прибора магнитоэлектрической системы: амперметр и вольтметр.

Измерения производили по схеме включения приборов, обеспечивающей минимальную систематическую погрешность, при температуре окружающего воздуха  $T, ^\circ\text{C}$ .

При решении задания необходимо:

- рассчитать величину сопротивления  $R_X^I$  по показаниям приборов;
- определить и начертить примененную схему включения приборов;
- рассчитать величину сопротивления  $R_X$  с учетом выбранной схемы включения приборов;
- найти наибольшие погрешности (относительную  $\delta$  и абсолютную  $\Delta R$ ) результата измерения заданного сопротивления;
- определить, в каких пределах находится действительное значение измеренного сопротивления.

Характеристики приборов и числовые данные для каждого варианта приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Числовые данные для контрольного задания № 3

Прибор	Наименование величин	Ед. измерения	Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра									
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вольтметр	Предел измерения $U_N$	В	-	380	150	15	75	300	30	300	150	75	30
	Ток полного отклонения стрелки прибора при $U_N$	мА	-	3	7,5	1	1	7,5	1	1	3	1	7,5
	Класс точности К	%	-	0,2	0,5	1,0	0,2	0,5	1,0	1,0	0,5	0,5	1,0
	Напряжение вольтметра $U$	В	0; 5	220	140	12	60	240	27	270	100	50	20
		В	1; 6	280	130	10	70	260	25	180	110	60	26
		В	2; 7	250	120	8	65	210	23	230	140	70	18
		В	3; 8	170	110	11	75	250	28	240	120	65	22
В	4; 9	290	150	14	55	200	29	160	130	75	25		
Амперметр	Предел измерения $I_N$	А	-	1,5	3,0	1,5	7,5	0,3	15	1,5	1,5	0,3	15
	Падение напряжения на зажимах прибора при $I_N$	мВ	-	100	95	100	140	27	100	100	100	27	100
	Класс точности К		-	1,5	1,0	0,2	0,5	1,0	0,2	1,0	0,5	0,2	1,5
	Показание амперметра $I$	А	0; 1	1,0	0,5	1,0	5	0,29	9	0,5	0,4	0,1	10
		А	6; 2	1,3	0,7	1,2	6	0,18	10	0,6	0,5	0,15	8
		А	7; 3	1,1	0,7	1,2	6	0,18	10	0,6	0,5	0,15	8
		А	8; 4	1,5	1,1	0,6	4	0,24	11	1,0	1,0	0,17	14
А		9; 5	1,4	1,3	0,7	3,5	0,16	13	1,5	0,8	0,3	5	
Группа приборов		-	-	А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В	А
Температура $t$		$^{\circ}\text{C}$	-	15	20	-10	30	10	0	25	30	40	10

### 3.2. Методические указания

При косвенном измерении сопротивления постоянному току при помощи амперметра и вольтметра применяются две схемы включения этих приборов в измерительную цепь (рис. 3.1). Приближенное значение измеряемого сопротивления  $R'_X$ , в соответствии с законом Ома определится как

$$R'_X = \frac{U}{I}, \quad (3.1)$$

где  $U$  и  $I$  напряжение и ток, измеренные вольтметром и амперметром соответственно.

Первая схема измерения сопротивления (ключ  $K$  в положении "а") используется тогда, когда измеряемое сопротивление велико по сравнению с сопротивлением амперметра, а вторая схема (ключ  $K$  в положении "б") - в тех случаях, когда измеряемое сопротивление мало по сравнению с сопротивлением вольтметра. Поскольку в том и другом случае на результат измерения  $R'_X$ , а значит, и на погрешность измерения влияют сопротивления приборов (амперметра  $R_A$  и вольтметра  $R_V$ ), поэтому необходимо выбрать такую схему, чтобы величина погрешности была наименьшей.

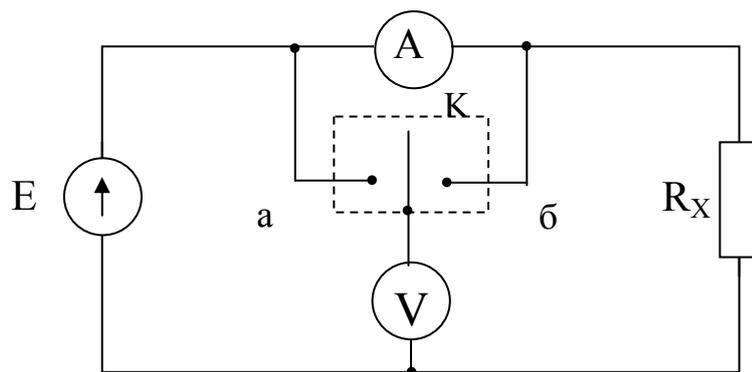


Рис. 3.1. Схема измерения  $R_X$  методом амперметра и вольтметра

Правильный выбор схемы зависит от соотношений измеряемого сопротивления с сопротивлениями приборов. Поэтому сначала следует рассчитать отношения  $R'_X / R_A$  и  $R_V / R'_X$ , и по наибольшему из них принять и начертить схему включения приборов.

Действительная величина измеряемого сопротивления  $R_X$  определяется с учетом внутреннего сопротивления амперметра  $R_A$  или вольтметра  $R_V$ , в зависимости от принятой схемы измерения.

Приступая к решению последних двух пунктов, необходимо знать, что погрешности электроизмерительных приборов, в данном случае магнитоэлектрических, зависят от влияния окружающей среды. Она может воздействовать на процесс измерения изменением давления, влажности и температуры. В зависимости от состояния указанных выше параметров окружающей среды погрешности делят на основные и дополнительные. Основные погрешности определя-

ют при нормальных значениях параметров окружающей среды, а дополнительные - при отклонении их значений от нормальных. Таким образом, в этом случае необходимо учесть как основную погрешность прибора, так и дополнительную.

Общая погрешность будет равна алгебраической сумме основной и дополнительной погрешностей прибора

$$\pm \delta = \pm \delta_{oc} \pm \delta_t, \quad (3.2)$$

где  $\delta_{oc}$  - основная погрешность прибора (класс точности прибора),  
 $\delta_t$  - дополнительная погрешность, вызванная отклонением температуры окружающего воздуха от нормальной (принимаемой  $t_H = 20^\circ C$ ).

Величина основной погрешности прибора  $\delta_{oc}$  может быть определена по следующей формуле

$$\delta_{oc} = K \frac{X_N}{X}, \quad (3.3)$$

где  $K$  - класс точности прибора,  
 $X$  - показания прибора,  
 $X_N$  - предел измерения прибора.

Относительная погрешность при косвенном методе измерения сопротивления постоянному току равна

$$\pm \delta_R = \pm \delta_A \pm \delta_V, \quad (3.4)$$

где  $\delta_A$  - общая относительная погрешность амперметра,  
 $\delta_V$  - общая относительная погрешность вольтметра.

Для определения абсолютной погрешности измерения сопротивления  $\Delta R$ , а также пределов измерения действительного значения измеряемого сопротивления  $R$ , следует воспользоваться соотношением

$$\Delta R = 0,01 \cdot \delta_R \cdot R_X. \quad (3.5)$$

Для вычисления относительных погрешностей в зависимости от условий внешней среды следует помнить, что все приборы в зависимости от климатических условий подразделяются на три группы: А, Б и В.

В табл. 3.2 приведены нормы для рабочих климатических условий по температуре для приборов различных групп.

Таблица 3.2

Нормы по климатическим условиям

Параметры окружающего воздуха	Группы приборов		
	А	Б	В
Температура	От +10...+35 $^\circ C$	От +10...+40 $^\circ C$	От -50...+60 $^\circ C$

Изменение показаний приборов, вызванное отклонением температуры внешней среды от нормальной до любой в пределах рабочих температур, не должно превышать значений, указанных в табл. 3.3, на каждые  $\pm 10^{\circ}\text{C}$  изменения температуры.

Таблица 3.3

Значение дополнительной погрешности прибора,  
в зависимости от класса точности

Класс точности прибора	Погрешности		
	А	Б	В
0,05	$\pm 0,05$	-	-
0,1	$\pm 0,1$	-	-
0,2	$\pm 0,2$	$\pm 0,15$	$\pm 0,15$
0,5	$\pm 0,5$	$\pm 0,4$	$\pm 0,3$
1,0	$\pm 1,0$	$\pm 0,8$	$\pm 0,5$
1,5	$\pm 1,5$	$\pm 1,2$	$\pm 0,8$
2,5	$\pm 2,5$	$\pm 2,0$	$\pm 1,2$
4,0	$\pm 4,0$	$\pm 3,0$	$\pm 2,0$

## КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ № 4

### ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЦЕПЯХ ТРЕХФАЗНОГО ТОКА

#### 4.1. Исходные данные

Для измерения активной мощности трехпроводной цепи трехфазного тока с потребителем в виде симметричной активно-индуктивной нагрузки, включенной «звездой» или «треугольником», необходимо выбрать два ваттметра с пределами измерения по току  $I_N$  и напряжению  $U_N$  и пределом изменения сигнала измерительной информации  $y_N = 150$  делений.

Требуется рассчитать заданную схему для двух режимов работы.

1. Для нормального режима работы:

- доказать, что активную мощность симметричной трехпроводной цепи трехфазного тока можно представить в виде суммы двух слагаемых;
- начертить схему включения ваттметров в цепь потребителя;
- построить в масштабе векторную диаграмму, выделив на ней векторы напряжений и токов, под действием которых находятся параллельные и последовательные обмотки ваттметров, а также углы сдвига фаз между этими векторами;
- определить мощности  $P_1$  и  $P_2$ , измеряемые каждым из ваттметров;
- определить количественные значения  $y_1$  и  $y_2$  сигнала измерительной информации обоих ваттметров.

2. Для режима обрыва одной фазы приемника энергии:

- начертить схему включения ваттметров в цепь потребителя;
- построить в масштабе векторную диаграмму, выделив на ней векторы напряжений и токов, под действием которых находятся параллельные и последовательные обмотки ваттметров, а также углы сдвига фаз между этими токами и напряжениями;
- определить мощности  $P_1$  и  $P_2$ , измеряемые каждым из ваттметров;
- определить количественные значения  $y_1$  и  $y_2$  сигнала измерительной информации обоих ваттметров.

Результаты расчетов для нормального режима работы и режима обрыва одной фазы приемника представить в виде табл. 4.2.

Исходные данные для каждого варианта приведены в табл. 4.1.

#### 4.2. Методические указания

При решении этой задачи необходимо в соответствии с данными своего варианта привести доказательство того, что при нормальном режиме работы активная мощность в трехфазной трехпроводной цепи может быть измерена двумя ваттметрами. При доказательстве должна быть учтена схема включения последовательных обмоток ваттметров в цепь приемника.

Так, если приемник энергии соединен по схеме «треугольник», а последовательные обмотки ваттметров включены в линейные провода, например,  $A$  и  $B$ , то мгновенную мощность трехфазной цепи можно представить как

$$p = p_{AB} + p_{BC} + p_{CA}, \quad (4.1)$$

или

$$p = u_{AB} i_{AB} + u_{BC} i_{BC} + u_{CA} i_{CA}, \quad (4.2)$$

где  $u_{AB}$ ,  $u_{BC}$  и  $u_{CA}$  - мгновенные значения фазных напряжений,  $i_{AB}$ ,  $i_{BC}$  и  $i_{CA}$  - мгновенные значения фазных токов.

После этого следует применить второй закон Кирхгофа, по которому

$$u_{AB} + u_{BC} + u_{CA} = 0. \quad (4.3)$$



Таблица 4.1

Числовые значения для контрольного задания № 4

Наименование величины	Единица измерения	Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Мощность цепи $S$	кВ·А	0; 5	3,0	6,0	5,5	5,0	3,2	1,5	2,0	2,5	3,5	1,8
	кВ·А	1; 6	3,5	5,5	6,0	5,5	3,0	2,0	2,5	2,0	3,0	2,2
	кВ·А	2; 7	2,5	5,0	6,5	6,0	3,6	2,5	1,5	1,8	2,5	2,8
	кВ·А	3; 8	2,0	4,5	5,0	4,5	5,0	3,0	5,0	3,0	2,0	1,4
	кВ·А	4; 9	1,8	4,0	4,5	4,0	6,0	3,5	5,8	3,5	1,5	3,5
Коэффициент мощности $\cos\varphi$	-	0; 1	0,7	0,8	0,9	0,72	0,82	0,88	0,83	0,92	0,84	0,72
	-	6; 2	0,72	0,82	0,92	0,74	0,83	0,80	0,85	0,90	0,86	0,70
	-	7; 3	0,74	0,84	0,73	0,76	0,84	0,81	0,87	0,88	0,85	0,76
	-	8; 4	0,76	0,86	0,75	0,78	0,85	0,82	0,89	0,86	0,83	0,74
	-	9; 5	0,78	0,88	0,71	0,80	0,86	0,84	0,91	0,83	0,74	0,80
Фазное напряжение $U_\phi$	В	-	127	220	380	220	380	127	380	220	127	127
Схема соединения	-	-										
Последовательные обмотки ваттметров включены в провода	-	-	А и В	В и С	С и А	А и В	В и С	С и А	А и В	В и С	С и А	А и В
Обрыв фазы	-	-	А	В	АВ	С	ВС	А	СА	АВ	В	С

Затем из уравнения (4.2) следует исключить напряжение между проводами, в которые включены последовательные обмотки ваттметров, выразив его из уравнения (4.3). Далее, выполнив несложные алгебраические преобразования, можно получить окончательное выражение мощности, соответствующее схеме включения ваттметров.

Определив токи и напряжения, под действием которых находятся последовательные и параллельные обмотки ваттметров, необходимо выбрать два одинаковых ваттметра с пределами измерения: по току  $I_N$  кратными 5 А, и по напряжению  $U_N$  кратными 150 В, а также с пределом изменения сигнала измерительной информации, указанным выше.

В дальнейшем необходимо построить в масштабе векторную диаграмму, выделив на ней векторы напряжений и токов, под действием которых находятся параллельные и последовательные обмотки ваттметров, а также углы сдвига фаз между этими токами и напряжениями. Определить мощности  $P_1$  и  $P_2$ , измеряемые каждым из ваттметров, и количественные значения  $y_1$  и  $y_2$  сигнала измерительной информации обоих ваттметров.

Если приемник энергии соединен по схеме «звезда», а последовательные обмотки ваттметров включены в линейные провода, например,  $A$  и  $B$ , то мгновенную мощность трехфазной цепи можно представить как

$$p = p_A + p_B + p_C \quad (4.4)$$

или

$$p = u_A i_A + u_B i_B + u_C i_C, \quad (4.5)$$

где  $u_A$ ,  $u_B$  и  $u_C$  - мгновенные значения фазных напряжений,  $i_A$ ,  $i_B$  и  $i_C$  - мгновенные значения фазных токов.

После этого следует применить первый закон Кирхгофа, по которому

$$i_A + i_B + i_C = 0. \quad (4.6)$$

Затем из уравнения (4.5) необходимо исключить ток провода, в котором отсутствуют последовательные обмотки ваттметров, предварительно выразив его из уравнения (4.6). После этого произвести преобразования, необходимые для получения окончательного выражения мощности, соответствующего схеме включения ваттметров.

Для режима обрыва одной фазы приемника, независимо от схемы включения приемника, необходимо повторить схему, указав на ней место обрыва фазы и места подключения ваттметров.

В дальнейшем необходимо помнить, что при обрыве одной фазы приемника, включенного по схеме «треугольник», ее сопротивление будет равно бесконечности, следовательно, ток в ней будет равен нулю. Токи в двух других фазах останутся прежними. Вследствие этого изменятся некоторые линейные токи, что и должно быть учтено при построении векторной диаграммы и определения мощностей  $P_1$  и  $P_2$ , измеряемых каждым из ваттметров, а также для

определения количественных значений  $y_1$  и  $y_2$  сигнала измерительной информации обоих ваттметров при обрыве фазы.

При обрыве фазы приемника, включенного по схеме «звезда», необходимо обратить внимание на то, что ток в ней будет равен нулю. Две другие фазы окажутся соединенными между собой последовательно и включенными на соответствующее линейное напряжение. Для определения тока в такой цепи необходимо предварительно определить сопротивление фазы приемника энергии, из данных его нормального режима работы.

Для симметричной трехфазной нагрузки сопротивление любой фазы приемника  $Z_\phi$  подчиняется закону Ома для участка цепи

$$Z_\phi = \frac{U_\phi}{I_\phi}, \quad (4.7)$$

тогда ток  $I_\phi^I$  в работающих фазах приемника можно определить как

$$I_\phi^I = \frac{U_\phi}{2Z_\phi}. \quad (4.8)$$

Это значение тока должно быть принято при построении векторной диаграммы и определении мощностей  $P_1$  и  $P_2$ , измеряемых каждым из ваттметров, а также для определения количественных значений  $y_1$  и  $y_2$  сигнала измерительной информации обоих ваттметров при обрыве фазы.

Результаты расчетов при обрыве фазы приемника также должны быть занесены в табл. 4.2

Таблица 4.2

Режим работы	Наименование величин	Единица измерения	Результаты расчета
Нормальный режим работы цепи	Мощность цепи $S$	ВА	
	Линейное напряжение	В	
	Линейный ток	А	
	Постоянная ваттметра	Вт/дел	
	Предел измерения по напряжению	В	
	Предел измерения по току	А	
	Мощность, измеряемая $P1$	Вт	
	Мощность, измеряемая $P2$	Вт	
	Показания $P1$	дел	
	Показания $P2$	дел	
Режим обрыва фазы приемника	Мощность, измеряемая $P1$	Вт	
	Мощность, измеряемая $P2$	Вт	
	Показания $P1$	дел	
	Показания $P2$	дел	

## ЛИТЕРАТУРА

1. Основы метрологии и электрические измерения под ред. Е.М. Душина. – 6 издание, перераб. и доп. – Л.: Энергия, 1987.- 479с.
2. Атомалян, Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин.- М.: Высшая школа, 1982.- 223с.
3. Бердников, И.А., Никитина, Т.А., Санникова, Е.П. «Метрология, стандартизация и сертификация» Методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов специальностей 181400, 101800, 210700, 071900. –Екатеринбург: УрГУПС, 2005.- 57с.

Игорь Александрович Бердников  
Елена Петровна Санникова

## **МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ**

Задание на контрольную работу  
с методическими указаниями для студентов заочного обучения  
специальностей 181400,101800,211900,071900

Редактор С. В. Пилюгина

620034, Екатеринбург, ул., Колмогорова, 66, УрГУПС  
Редакционно-издательский отдел

---

Бумага писчая № 1	Подписано в печать	Усл. печ. л. 1,3
Тираж 250 экз.	Формат 60x84 1/16	Заказ

---