

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
“ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I”

Кафедра «Теоретические основы электротехники»

Г.Н. Анисимов

Б1.Б.25 «МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ»

**Задание на контрольную работу
с методическими указаниями**

для специальности
23.05.05 «Системы обеспечения движения поездов»

по специализации
«Электроснабжение железных дорог»

форма обучения – заочная

Санкт-Петербург 2019

ВВЕДЕНИЕ

В современном представлении метрология является наукой об измерениях.

В метрологии рассматриваются общие вопросы измерений: единицы физических величин и их системы, эталоны и способы передачи размеров единиц от эталонов образцовым и рабочим средствам измерений, общие методы обработки результатов измерений и оценки их точности и достоверности, основы обеспечения единства измерений.

Под единством измерений понимают такое состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах. Такие единицы устанавливаются в каждой стране" особым законодательством с учетом рекомендаций международных организаций.

В 1960 г. XI Генеральная конференция по мерам и весам. в целях международной унификации единиц физических величин приняла единую Международную систему единиц СИ, которая введена в нашей стране с 1 января 1963 г. Единство измерений необходимо для обеспечения возможности сопоставления результатов измерений, выполненных в разных местах, в разное время, с использованием разных методов и средств измерений.

Дисциплина «Электрические измерения» неразрывно связаны с курсами физики и теоретических основ электротехники, поскольку измерениям подвергаются различные физические величины и физические параметры процессов, а для средств измерений используются многие физические закономерности. Следует отметить взаимное обогащение указанных дисциплин и курса «Электрические измерения», что проявляется в использовании новых достижений в области физики и теоретической электротехники, а достижения метрологии и измерений прежде всего в отношении точности и достоверности измерений физических величин позволяют обнаруживать новые явления и закономерности и уточнять уже известные. В современных методах и средствах измерений широко используются электроника и вычислительная техника, поэтому не-обходимые сведения должны изучаться в соответствующих дисциплинах.

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Контрольную работу студенты выполняют самостоятельно до начала занятий в лаборатории, изучив предварительно теоретический материал курса.

Для облегчения изучения курса, учебными планами предусмотрены лекции по отдельным его разделам.

Задание на контрольную работу состоит из шести задач. Вариант контрольной работы выбирается по двум последним цифрам учебного шифра студента.

Если учебный шифр студента представляет однозначное число-, то за предыдущую цифру следует принять 0.

Студенты должны выполнить данную контрольную работу в сроки, установленные индивидуальным планом учебной работы.

Оформление контрольных работ должно удовлетворять следующим требованиям:

1. В начале каждой контрольной работы должны быть указаны: номер контрольной работы; дисциплина; фамилия, имя, отчество; курс, факультет, специальность; учебный шифр и домашний адрес студента.

2. Контрольные работы оформляются в тетради чернилами, аккуратно, без помарок и должны быть выполнены так, чтобы можно было без затруднения прочесть каждую букву, знак, слово.

3. Работы, оформленные небрежно, вызывающие затруднения или сомнения при их чтении, возвращаются студенту для переработки.

Страницы тетради должны быть пронумерованы, на каждой из них следует оставлять поля шириной не менее 3 см для замечаний рецензента.

4. Все расчетные действия должны сопровождаться краткими, но четкими пояснениями.

5. Для обозначения электрических величин могут применяться только условные буквенные обозначения в соответствии с действующим ГОСТом.

Буквенные обозначения единиц измерения могут применяться в тексте только после числовых значений величин (например: 5 А, 127 В; 800 Вт).

5. Обозначения электрических величин в тексте, в формулах, на векторных диаграммах и электрических схемах должны быть согласованы и расшифрованы один раз в каждой задаче.

6. Схемы, векторные диаграммы и графики должны выполняться с применением чертежных инструментов. При выполнении схем следует пользоваться ЕСКД «Обозначения условные графические в схемах». Схемы, рисунки, векторные диаграммы и графики должны быть пронумерованы и иметь подрисуночные надписи. В тексте контрольной работы нужно обязательно делать ссылки на соответствующие схемы, диаграммы и графики.

7. Кривые и графики должны иметь размеры не менее 10X10 см. Графики должны быть построены на «миллиметровой бумаге и подклеены к тексту работы. При выборе масштабов надо иметь в виду, что число единиц в 1 см (или отрезке длины, принятом за единицу, например, в стороне одной клетки бумаги) должно выражаться числами 1×10^n ; 2×10^n или 5×10^n , где n - любое число.

Масштаб должен быть указан на координатных осях.

Надписи, обозначающие величины, откладываемые по осям, делать слева от оси ординат у ее конца и под осью абсцисс также у ее конца, а условные знаки единиц измерений ставить у последних числовых значений величин.

8. Работа должна быть подписана с указанием даты ее завершения.

Список рекомендуемой литературы

1. Электрические измерения/ Под ред. А. В. Фремке. — М.: Энергия. - 1973 или 1980.

2. Справочник по электроизмерительным приборам/ Под ред. К. К. Илюнина. — М.: Энергия, 1973.

3. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника/ Под ред. К.К. Кима. - СПб.: Питер, 2006. - 368 с.

4. Основы метрологии и электрические измерения/Под ред. Е.М. Душина. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 480 с.

5. Попов В. С. Электрические измерения. – М.: Энергия, 1974.

**ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ
И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ**

Задача № 1

**ПОВЕРКА ТЕХНИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ
И ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ**

Технический амперметр магнитоэлектрической системы с номинальным током I_n , числом номинальных делений $\alpha_n = 100$ имеет оцифрованные деления от нуля до номинального значения, проставленные на каждой пятой части шкалы (стрелки обесточенных амперметров занимают нулевое положение). Поверка технического амперметра осуществлялась образцовым амперметром той же системы.

Исходные данные для выполнения задачи указаны в табл. 1.

1. Указать условия поверки технических приборов.
2. Определить поправки измерений.
3. Построить график поправок.
4. Определить приведенную погрешность.
5. Указать, к какому ближайшему стандартному классу точности относится данный прибор.

Если прибор не соответствует установленному классу точности, указать на это особо.

6. Написать ответы на вопросы:
 - 1) Что называется измерением?
 - 2) Что такое мера и измерительный прибор? Как они подразделяются по назначению?
 - 3) Что такое погрешность? Дайте определение абсолютной, относительной и приведенной погрешности.

Таблица 1

Числовые значения для задачи №1

Поверяемый амперметр	Единицы измерения	Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра											
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Абсолютная погрешность ΔI	-	-	-0,01	+0,03	-0,04	+0,02	-0,03	+0,05	-0,04	+0,05	-0,04	+0,02	-0,06	+0,03
	-	-	+0,02	-0,04	+0,06	-0,08	+0,05	-0,08	+0,03	-0,08	+0,03	+0,04	-0,03	+0,06
	-	-	-0,03	+0,05	-0,03	+0,07	+0,04	-0,04	+0,06	-0,04	+0,06	-0,05	+0,08	-0,05
	-	-	+0,04	-0,06	+0,02	-0,05	-0,08	+0,02	-0,07	+0,02	-0,07	+0,06	-0,02	+0,04
	-	-	-0,05	+0,07	-0,01	+0,04	-0,06	+0,03	-0,02	+0,03	-0,02	-0,08	+0,05	-0,02
Номинальный ток I_n	0; 5	0; 5	2,5	20	15	20	5,0	10	5	10	5	10	2,5	15
	1; 6	1; 6	10	1,0	20	15	1,0	2,5	15	2,5	15	20	5,0	2,5
	2; 7	2; 7	5,0	10	1,0	2,5	2,5	20	10	2,5	10	2,5	10	5,0
	3; 8	3; 8	20	15	2,5	10	5	5	20	5	20	5,0	20	10
	4; 9	4; 9	15	2,5	10	5	20	20	15	2,5	2,5	15	1,0	20

Примечания. Абсолютная погрешность ΔI в табл. 1 указана для каждого оцифрованного деления шкалы после нуля в порядке их возрастания, включая номинальный ток амперметра.

Задача №2
ИЗМЕРЕНИЕ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ В ЦЕПЯХ
ПОСТОЯННОГО ТОКА

Измерительный механизм (ИМ) магнитоэлектрической системы рассчитан на ток I_n и напряжение U_n и имеет шкалу на α_n делений.

1. Составить схему включения измерительного механизма с шунтом и дать вывод формулы $R_{ш}$.
2. Определить постоянную измерительного механизма по току C_I , величину сопротивления шунта $R_{ш}$ и постоянную амперметра C_I' , если этим прибором нужно измерять ток I_n .
3. Определить мощность, потребляемую амперметром при номинальном значении тока I_n .
4. Составить схему включения измерительного механизма с добавочным сопротивлением и дать вывод формулы R_d .
5. Определить постоянную измерительного механизма по напряжению C_U , величину добавочного сопротивления R_d и постоянную вольтметра C_U' , если этим прибором нужно измерять напряжение U_n .
6. Определить мощность, потребляемую вольтметром при номинальном значении напряжения U_n .

Методические указания к решению задачи № 2

Весь необходимый теоретический материал, а также формулы для решения этой задачи могут быть получены из рекомендуемых учебников [1, с. 79-80; 2, с. 101-103; 3, с. 153-155; 4, с. 101–103].

Исходные данные для решения задачи № 2 приведены в табл. 3.

Таблица 3

Числовые значения для задачи №2

Наименование величин	Единицы измерения	Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра										
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Напряжение ИМ U_n Ток ИМ I_n Число делений α_n	мВ	-	45	75	50	100	75	60	100	75	100	80	100
	мА	-	5	7,5	10	10	15	30	25	25	40	50	50
	дел	-	50	75	100	50	150	75	100	150	50	100	100
Напряжение U_n	В	0; 5	45	300	15	200	30	60	25	75	200	200	100
	В	1; 6	90	150	45	20	60	30	50	150	40	15	15
	В	2; 7	18	75	50	150	90	150	100	300	80	30	30
	В	3; 8	135	225	100	50	120	300	150	15	100	50	50
	В	4; 9	180	15	150	100	150	15	250	30	150	10	10
Ток I_n	А	0; 1	1,0	1,5	2,0	10	1,5	3,0	25	30	20	5	5
	А	6; 2	1,5	3,0	10	2,0	3,0	1,5	2,5	25	5,0	15	15
	А	7; 3	2,0	6,0	5,0	3,0	4,5	6,0	5,0	15	10	0,5	0,5
	А	8; 4	2,5	4,5	1,5	5,0	15	4,5	7,5	1,5	0,5	1,0	1,0
	А	9; 5	3,0	7,5	0,5	2,5	30	0,3	0,5	7,5	4,0	20	20

Задача № 3
МЕТОДЫ И ПОГРЕШНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
ИЗМЕРЕНИЙ

Для измерения сопротивления косвенным методом использовались два прибора: амперметр и вольтметр магнитоэлектрической системы.

Измерение сопротивления производилось при температуре t приборами группы А, Б или В. Данные приборов, их показания, а также группа приборов и температура окружающего воздуха, при которой производилось измерение сопротивления, приведены в табл. 4.

Определить:

1. величину сопротивления R'_x по показаниям приборов и начертить схему;
2. величину сопротивления R_x с учетом схемы включения приборов;
3. наибольшие возможные (относительную γ_R и абсолютную Δ_R) погрешности результата измерения этого сопротивления;
4. в каких пределах находятся действительные значения измеряемого сопротивления.

Методические указания к решению задачи № 3

При измерении сопротивления методом двух приборов - амперметра и вольтметра, применяются две схемы. В этом случае приближенное значение сопротивления R'_x согласно закону Ома определится как $R'_x = \frac{U}{I}$.

Одна из схем (без учета внутреннего сопротивления приборов) используется в тех случаях, когда измеряемое сопротивление велико по сравнению с сопротивлением амперметра; другая – в тех случаях, когда измеряемое сопротивление мало по сравнению с сопротивлением вольтметра. Поскольку в практике измерений этим методом подсчет сопротивления R'_x обычно производится по приближенной формуле, то необходимо знать, какую схему следует выбрать для того, чтобы величина погрешности была наименьшей.

Чтобы правильно выбрать схему, необходимо сначала определить отношения $\frac{R'_x}{R_A}$ и $\frac{R_V}{R'_x}$ и по наибольшему из них принять и вычертить схему включения приборов.

Таблица 4

Числовые значения для задачи №3

Наименование величин	Единицы измерения	Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра											
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Данные вольтметра	Предел измерения U_n	-	300	150	15	75	300	30	300	150	75	30	75	30
	Ток полного отклонения стрелки прибора при U_n	-	3	7,5	1	1	7,5	1	1	3	1	1	1	7,5
	Класс точности γ_d	-	0,2	0,5	1,0	0,2	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5	1,0	0,5	1,0
Данные вольтметра	Показание вольтметра U	0; 5	220	110	12	60	240	27	270	100	50	20	50	20
		1; 6	280	130	10	70	260	25	180	110	60	26	60	26
		2; 7	250	120	8	65	210	23	230	140	70	18	70	18
		3; 8	170	110	11	75	250	28	240	120	65	22	65	22
		4; 9	290	150	14	55	200	29	160	130	75	25	75	25
Данные амперметра	Предел измерения I_n	-	1,5	3,0	1,5	7,5	0,3	15	1,5	1,5	0,3	15	1,5	
	Падение напряжения на зажимах прибора при I_n	-	100	95	100	140	27	100	100	100	27	100	100	
	Класс точности γ_d	-	0,5	1,0	0,2	0,5	1,0	0,2	1,0	0,5	1,0	0,2	0,5	
Группа приборов	Показание амперметра I	0; 1	1,0	0,5	1,0	5	0,2	9	0,5	0,4	0,1	10	0,1	
		6; 2	1,3	0,7	1,2	6	0,18	10	0,6	0,5	0,15	8	0,15	
		7; 3	1,1	0,9	0,9	7	0,26	11	1,1	1,0	0,17	14	0,17	
		8; 4	1,5	1,1	0,8	4	0,24	12	1,3	1,2	0,27	7	0,27	
		9; 5	1,4	1,3	0,7	3,5	0,16	13	1,5	0,8	0,3	5	0,3	
Температура t	-	10	0	-10	30	10	0	0	25	30	40	10	10	

Величина сопротивления R_x определяется с учетом внутреннего сопротивления приборов R_A или R_V в зависимости от принятой схемы.

Приступая к решению п.3, необходимо иметь в виду, что погрешности электроизмерительных приборов разделяются на две категории: а) основная погрешность, зависящая только от внутренних свойств и состояния самого прибора; б) дополнительные погрешности, обусловленные влиянием внешних факторов и отклонением условий эксплуатации прибора от нормальных (например, отклонением температуры окружающего воздуха от нормальной).

Погрешность измерения γ будет представлять собой сумму основной погрешности γ_D (класс точности прибора) и дополнительной погрешности γ_t , вызванной отклонением температуры окружающего воздуха от нормальной (принимается обычно $t_n = 20$ °С); причем следует принимать случай наиболее неблагоприятный, когда

$$\pm \gamma = \pm \gamma_D \pm \gamma_t.$$

Относительная погрешность при косвенном методе измерения сопротивления определяется по формуле

$$\pm \gamma_R = \pm \gamma_U \pm \gamma_I,$$

где γ_U и γ_I - относительные погрешности измерений напряжения и тока.

Величины γ_U и γ_I могут быть определены по формулам, приведенным в рекомендуемой литературе [5, с. 11]. Так, относительная погрешность при измерении напряжения будет

$$\pm \gamma_U = \pm \frac{\Delta_U}{U} \cdot 100 = \pm \gamma \frac{U_n \cdot 100}{100 \cdot U} = \pm \gamma \frac{U_n}{U}.$$

Аналогично определяется относительная погрешность и при измерении тока.

Для определения абсолютной погрешности Δ_R , а также пределов изменения действительного значения измеряемого сопротивления следует воспользоваться соотношением

$$\pm \gamma_R = \pm \frac{\Delta_R}{R_x} \cdot 100.$$

По использованию в зависимости от условий эксплуатации приборы разделяются на три группы: А, Б и В. Ниже, в табл. 5, приводятся нормы для рабочих климатических условий по температуре для приборов различных групп.

Таблица 5

Температура окружающего воздуха	Группы приборов		
	А	Б	В
Температура	от +10 до +35 °С	От -30 до +40 °С	От -50 до +60 °С

Изменение показаний приборов, вызванное отклонением температуры окружающего воздуха от нормальной до любой в пределах рабочих температур, не должно превышать значений, указанных в табл. 6, на каждые ± 10 °С изменения температуры.

Таблица 6

Класс точности прибора	Допустимое измерение показаний приборов групп, %		
	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	$\pm 4,0$	$\pm 3,0$	$\pm 2,0$

Более подробно с определением погрешностей измерения можно ознакомиться в рекомендуемой литературе [1, с. 44-59; 3, 56-61; 5, с. 6-15].

Задача № 4

ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЦЕПЯХ ТРЕХФАЗНОГО ТОКА

Для измерения активной мощности трехпроводной цепи трехфазного тока с симметричной активно-индуктивной нагрузкой, соединенной *звездой* или *треугольником*, необходимо выбрать два одинаковых ваттметра с номинальным током I_n номинальным напряжением U_n и числом делений шкалы $\alpha_n = 150$.

Исходные данные для решения задачи приведены в табл. 7.

1. По данным варианта для нормального режима работы цепи:

- а) начертить схему включения ваттметров в цепь;
- б) доказать, что активную мощность трехпроводной цепи трехфазного тока можно представить в виде суммы двух слагаемых;
- в) построить в масштабе векторную диаграмму, выделив на ней векторы напряжений и токов, под действием которых находятся параллельные и последовательные обмотки ваттметров;
- г) определить мощности P_1 и P_2 , измеряемые каждым из ваттметров;
- д) определить число делений шкалы α_1 и α_2 , на которые отклоняются стрелки ваттметров.

2. По данным варианта при обрыве одной фазы приемника энергии:

- а) начертить схему включения ваттметров в цепь;
- б) построить в масштабе векторную диаграмму, выделив на ней векторы напряжений и токов, под действием которых находятся параллельные и последовательные обмотки ваттметров;
- в) определить мощности P_1 и P_2 , измеряемые каждым из ваттметров;
- г) определить число делений шкалы α_1 и α_2 , на которые отклоняются стрелки ваттметров.

Таблица 7

Числовые значения для задачи №4

Наименование величин	Единицы измерения	Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Мощность цепи S	кВА кВА кВА кВА кВА	0; 5 1; 6 2; 7 3; 8 4; 9	3,0	6,0	5,5	5,0	3,2	1,5	2,0	2,5	3,5	1,8
			3,5	5,5	6,0	5,5	3,0	2,0	2,5	2,0	3,0	2,2
			2,5	5,0	6,5	6,0	3,6	2,5	1,5	1,8	2,5	2,8
			1,8	4,5	5,0	4,5	5,0	3,0	5,0	3,0	2,0	1,4
			4,0	4,0	4,5	4,0	6,0	3,5	5,8	3,5	1,5	3,5
Коэффициент мощности $\cos\varphi$	- - - - -	0; 1 6; 2 7; 3 8; 4 9; 5	0,7	0,8	0,9	0,72	0,82	0,88	0,83	0,92	0,84	0,72
			0,72	0,82	0,92	0,74	0,83	0,80	0,85	0,90	0,86	0,70
			0,74	0,84	0,73	0,76	0,84	0,81	0,87	0,88	0,85	0,76
			0,76	0,86	0,75	0,78	0,85	0,82	0,89	0,86	0,83	0,74
			0,78	0,88	0,71	0,80	0,86	0,84	0,91	0,83	0,74	0,80
Фазное напряжение U_{ϕ}	В	-	220	380	380	220	380	127	380	220	127	127
Схема соединения	-	-	У	У	Δ	У	Δ	У	Δ	Δ	У	У
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
Обрывы фазы	-	-	А	В	АВ	С	ВС	А	СА	АВ	В	С

Результаты расчетов записать в табл. 8.

Таблица 8

	Наименование величин	Единица измерения	Результаты расчёта
Определить по п.1	Мощность цепи P	Вт	
	Линейное напряжение $U_{л}$	В	
	Линейный ток $I_{л}$	А	
	Номинальное напряжение ваттметра $U_{н}$	В	
	Номинальный ток ваттметра $I_{н}$	А	
	Постоянная ваттметра C_P	$\frac{\text{Вт}}{\text{дел}}$	
	Мощность, измеряемая первым ваттметром P_1	Вт	
	Мощность, измеряемая первым ваттметром P_2	Вт	
	Число делений шкалы α_1	дел	
	Число делений шкалы α_2	дел	
Определить по п.2	Мощность, измеряемая первым ваттметром P_1	Вт	
	Мощность, измеряемая первым ваттметром P_2	Вт	
	Число делений шкалы α_1	дел	
	Число делений шкалы α_2	дел	

Примечание. Заданная трехпроводная цепь трехфазного тока представляет собой соединение трех неподвижных магнитно-несвязанных катушек.

Методические указания к решению задачи № 4

При решении п.1 этой задачи необходимо в соответствии с заданием своего варианта начертить схему включения ваттметров в трехпроводную цепь трехфазного тока и дать на ней разметку генераторных зажимов последовательной и параллельной обмоток каждого из ваттметров. После этого следует привести доказательства, что активная мощность в трехфазной цепи может быть измерена двумя ваттметрами, при этом должна быть учтена схема соединения приемников энергии (табл. 7).

Если приемники энергии соединены по схеме *звезда*, то вывод формулы активной мощности для этого случая приведен в рекомендуемой литературе. Если приемники энергии соединены по схеме *треугольник*, то мгновенную мощность трехфазной цепи следует

представить как $p = p_{AB} + p_{BC} + p_{CA} = u_{AB}i_{AB} + u_{BC}i_{BC} + u_{CA}i_{CA}$, где u_{AB} , u_{BC} , u_{CA} – мгновенные значения фазных напряжений, i_{AB} , i_{BC} , i_{CA} – мгновенные значения фазных токов.

После этого следует воспользоваться вторым законом Кирхгофа, по которому $u_{AB} + u_{BC} + u_{CA} = 0$. Из этого уравнения исключается одно из напряжений, например $u_{AB} = -u_{BC} - u_{CA}$ (для схемы, в которой параллельные обмотки ваттметров находятся под действием напряжений u_{AC} и u_{BC}). Затем производятся необходимые преобразования, чтобы 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 номинальным током $I_n = 5$ А или $I_n = 10$ А, номинальным напряжением $U_n = 150$ В, $U_n = 300$ В или $U_n = 600$ В и числом делений шкалы $\alpha_n = 150$.

Постоянная ваттметра определяется по формуле $C_p = \frac{U_n I_n}{\alpha_n}$.

При решении п. 2 этой задачи необходимо также начертить схему включения ваттметров, указав на ней обрыв одной из фаз приемника энергии (см. табл. 7).

Если приемники энергии соединены по схеме *треугольник*, то при обрыве одной из фаз сопротивление ее будет равно бесконечности, следовательно, ток в ней будет равен нулю. Токи в двух других фазах останутся такими, какими были до обрыва фазы. Вследствие этого изменяются линейные токи, что и должно быть учтено при построении векторной диаграммы и определений показаний ваттметров.

Если приемники энергии соединены по схеме *звезда*, то при обрыве одной из фаз ток в ней будет равен нулю. Две другие фазы окажутся соединенными между собой последовательно и включенными на линейное напряжение. Для определения тока в этих фазах необходимо предварительно определить сопротивление фазы, исходя из данных для нормального режима работы приемника $z_\phi = \frac{U_\phi}{I_\phi}$.

Для симметричной трехфазной системы ток в последовательно соединенных фазах определяется как $I' = \frac{U_l}{2z_\phi}$.

Это значение тока и должно быть принято при построении векторной диаграммы и определении показаний ваттметров при обрыве фазы приемника.

Более подробно с методами измерений активной мощности в цепях трехфазного тока можно ознакомиться в рекомендуемой литературе [1, с. 144-160; 4, с. 400–408; 5, с. 230–251].

Задача № 5
ИЗМЕРЕНИЕ РЕАКТИВНОЙ ЭНЕРГИИ В ЦЕПЯХ
ТРЕХФАЗНОГО ТОКА

Симметричный трехфазный приемник электрической энергии соединен по схеме звезда или по схеме *треугольник*.

Напряжение на фазе приемника U_{ϕ} .

Активное и индуктивное сопротивление фаз приемника соответственно равны R_{ϕ} и X_{ϕ} .

В цепь приемника включен одноэлементный счетчик активной энергии для измерения реактивной энергии. Последовательная обмотка счетчика включена в один из проводов трехфазной цепи, как указано в табл. 9.

Приемник электрической энергии работает непрерывное время t .

1. Начертить схему включения счетчика в соответствии с данными вариантами, сделать разметку генераторных зажимов его обмоток.
2. Определить линейное напряжение $U_{л}$, линейный ток $I_{л}$, коэффициент мощности $\cos \varphi$ и угол φ .
3. Для заданной цепи построить в масштабе векторную диаграмму, выделить в ней векторы напряжения и тока, под действием которых находятся параллельная и последовательная обмотки счетчика.
4. Пользуясь векторной диаграммой, доказать, что счетчик, включенный по такой схеме, измеряет реактивную энергию.
Определить расход реактивной энергии, учитываемой счетчиком за время t .
5. Подсчитать за время t реактивную энергию всего приемника.
6. Найти численное соотношение между энергией, учитываемой счетчиком, и энергией приемника.

Методические указания к решению задачи № 5

Весь необходимый теоретический материал, а также формулы и построение векторов диаграммы для решения этой задачи могут быть получены из рекомендуемых учебников [1, с. 160-166; 4, с. 408–411; 5, с. 256–270].

Таблица 9

Числовые значения для задачи №5

Наименование величин	Единицы измерения	Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра																				
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9											
Схема соединения Последовательная обмотка счетчика включена в провод Время t Фазное напряжение U_{ϕ}	-	-	Δ	Δ	Y	Δ	Y	Δ	Y	Δ	Y	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ			
	-	-	В	А	А	А	С	С	С	В	В	В	А	А	А	А	А	А	А	А	С		
Активное сопротивление фазы R_{ϕ}	Ом	0; 5	20	30	10	16	15	15	16	25	15	15	20	20	25	15	18	18	20	20	20	20	
	Ом	1; 6	19	29	11	17	16	18	17	24	18	16	16	18	24	18	17	17	18	16	14	14	
	Ом	2; 7	18	28	12	18	17	18	18	23	21	17	17	22	23	21	22	22	21	22	18	16	16
	Ом	3; 8	17	27	13	19	18	19	19	22	24	18	18	23	22	24	23	24	24	23	20	18	18
	Ом	4; 9	16	26	14	20	19	20	19	21	27	14	19	21	21	27	24	27	27	24	22	22	26
Индуктивное сопротивление фазы X_{ϕ}	Ом	0; 1	18	25	15	24	20	20	24	30	10	10	18	10	30	10	18	10	18	18	40	40	40
	Ом	6; 2	19	26	16	23	21	21	23	29	11	11	17	11	29	11	17	11	17	17	38	38	38
	Ом	7; 3	20	27	17	22	23	23	22	28	12	12	16	12	28	12	16	12	16	16	36	36	36
	Ом	8; 4	21	28	18	21	24	24	21	27	13	13	15	13	27	13	15	13	15	15	34	34	34
	Ом	9; 5	22	29	19	20	25	25	20	26	14	14	21	14	26	14	21	14	21	21	32	32	32

Задача № 6

ВЫБОР ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ

В высоковольтной трехпроводной цепи трехфазного тока необходимо измерить линейные токи, линейное напряжение, коэффициент мощности цепи и расход активной энергии всей цепи.

Подобрать для этой цели два измерительных трансформатора тока (ИТТ), два измерительных трансформатора напряжения (ИТН) и подключить к ним следующие измерительные приборы: два амперметра электромагнитной системы; два однофазных индукционных счетчика активной энергии; один трехфазный фазометр электромагнитной или электродинамической системы; один вольтметр электромагнитной системы.

Расстояние от трансформатора до измерительных приборов l (провод медный, сечением $S = 2,5 \text{ мм}^2$), номинальное напряжение сети U_1 и линейный ток I_1 приведены в табл. 10. Начертить схему включения ИТТ и ИТН в цепь, а также показать подключение к ним всех измерительных приборов.

Выполнить разметку зажимов обмоток ИТТ, ИТН, счетчиков и фазометра. Показать заземление вторичных обмоток ИТТ и ИТН.

Методические указания к решению задачи № 6

При подборе измерительных трансформаторов тока необходимо учитывать, что для обеспечения правильности их работы общее сопротивление всех проводов и обмоток приборов во вторичной цепи не должно превышать номинальной нагрузки. Номинальной нагрузкой трансформатора тока называется наибольшее сопротивление, на которое может быть замкнута вторичная обмотка при условии, что погрешности его не превысили допустимых значений.

Выбор трансформаторов напряжения производится по их допустимой номинальной мощности. Таким образом, к трансформатору напряжения можно подключить такое количество приборов, при котором их мощность при номинальном напряжении не превышает номинальной мощности трансформатора.

Номинальные данные измерительных трансформаторов тока и напряжения согласно ГОСТ 9032—69 приведены в табл. 11 и 12.

Таблица 10

Числовые значения для задачи № 6

Наименование величин	Единицы измерения	Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра										
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Номинальное напряжение сети U_1	В	–	6000	500	3000	10000	15000	6000	500	3000	10000	15000	
Линейный ток I_1	А	0; 5	40	100	75	30	20	50	150	50	50	40	30
	А	1; 6	15	75	50	15	25	30	100	30	30	20	25
	А	2; 7	30	150	75	25	30	40	200	40	40	30	20
	А	3; 8	60	200	40	40	15	60	250	50	50	25	15
	А	4; 9	50	250	20	20	40	75	100	75	75	50	40
Расстояние от измерительных приборов до трансформаторов l	м	0; 1	15	10	10	15	20	15	10	20	20	10	20
	м	6; 2	14	11	14	18	21	16	12	19	19	9	15
	м	7; 3	13	12	15	19	22	17	14	18	18	8	23
	м	8; 4	12	13	16	20	23	18	16	17	17	12	21
	м	9; 5	11	14	17	16	24	19	8	16	16	15	18

Измерительные трансформаторы тока

Тип	Номинальный ток, А		Класс точности	Номинальная нагрузка, Ом	Коэффициент мощности, $\cos \varphi$
	первичный	вторичный			
И54	0,5; 1; 2; 5; 10; 20;50	5	0,2	0,1	–
		5	0,5		
И54/1	0,5; 1; 2,5; 5; 10; 25; 50	5	0,2	0,4	0,8–1
			0,2	0,4	0,5–0,8
			0,2	0,05	1
			0,2	0,5	0,8
			0,5	0,4	0,5–0,8
И55/1	0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 50	0,5	0,1	30	1
И56М	1–1000	1	0,1	15	0,8–1
		5	0,1	0,6	0,8–1
		5	0,05	0,2	1
И508М	100; 250; 500; 600	5	0,2	0,02	0,8–1
И509	5–100	5	0,2	0,6	0,5–1
И512	0,5–3000	1	0,05	15	1
		5		0,6	1
И515	0,5; 1; 2,5; 5; 10; 25; 50	5	0,1	0,4	0,8–1
И532	5; 6; 7,5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 75; 100; 150; 200; 250; 300; 400; 500; 600; 750; 800; 1000	1	0,05–0,5	15	1
		5		0,6	1
И1820	30; 50; 75; 100; 150; 200; 5; 5;	1	1	5	–
		1	1	5	–
		0,5	1	55	–
УТТ–5	15; 50; 100; 150; 200; 300; 600;	5	0,2	0,2	0,8–1
УТТ–6 М1	100; 150; 200; 250; 300; 400; 500; 600; 750; 1000; 1200; 1500; 2000;	5	0,2	0,4	0,8–1
			0,2	0,6	0,8

Измерительные трансформаторы напряжения

Тип	Номинальное напряжение		Класс точности	Номинальная мощность нагрузки вторичной цепи, ВА	Коэффициент мощности, $\cos \varphi$
	первичное, кВ	вторичное, В			
УТН-1	0,380/ $\sqrt{3}$	100	0,2	15,0	0,8–1
	0,380	100	0,2	15,0	0,8–1
	0,500	100	0,2	15,0	0,8–1
	0,380/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$	0,2	10,0	0,8–1
	0,380	100/ $\sqrt{3}$	0,2	10,0	0,8–1
	0,500	100/ $\sqrt{3}$	0,2	10,0	0,8–1
	0,380/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$	0,2	5,0	0,8–1
	0,380	100/ $\sqrt{3}$	0,2	5,0	0,8–1
	0,500	100/ $\sqrt{3}$	0,2	5,0	0,8–1
И50	3,0; 6,0; 10,0; 15,0	100/ $\sqrt{3}$ 100	0,2	10,0 15,0	0,8–1
	И510	100/ $\sqrt{3}$	0,1	10,0	0,8–1
100		15,0			
150		15,0			

При решении этой задачи прежде всего необходимо определить сопротивления обмоток амперметров, а также сопротивления последовательных обмоток счетчиков и фазометра.

При расчете нагрузки, подключаемой к трансформаторам тока, необходимо учитывать не только сопротивление приборов, но и сопротивление соединительных проводов.

Параметры обмоток приборов приведены в табл. 13.

Более подробно с выбором и схемами включения измерительной аппаратуры можно ознакомиться в рекомендуемой литературе [1, с. 90–101; 3, с. 156–160; 4, с. 103–109; 5, с. 110–127, 255–256].

Параметры обмоток приборов

Тип прибора	Номинальные величины		Класс точности	Номинальная область частот, Гц	Номинальное сопротивление обмоток, Ом	
	Ток, А	Напряжение, В			последовательной	параллельной
Амперметр Э513/4	0,5 1,0	- -	0,5 0,5	40-100	0,12 0,035	
Амперметр Э514/1	1,0 2,0	- -	0,5 0,5	40-100	0,035 0,12	- -
Амперметр Э514/2	2,5 5,0	- -	0,5 0,5	40-60	0,12 0,005	- -
Амперметр Э514/3	5,0	-	0,5	40-100	0,008	-
Вольтметр Э515/2	-	60	0,5	40-60	-	2400
Вольтметр Э515/3	-	75 150 300 600	0,5 0,5 0,5 0,5	40-100	-	10000 20000 40000 80000
Счетчик однофазный СО-2М2	5,0	127 220	2,5	50	0,08	10700 32000
Счетчик однофазный СО-И445/4Т	2,5 5,0	110 127 220 230 250	2,0	50-60	0,25 0,08	8000 10700 32000 35000 41500
Фазометр трехфазного тока Д120	5	127 220 380	1,5	50	0,12	2500 7500 22000
Фазометр трехфазного тока Э120	5	127 220	1,5	50	0,01	10700 32000

СОДЕРЖАНИЕ

Общие методические указания.....	2
Список рекомендуемой литературы.....	4
Задача №1. Поверка технических приборов и основы метрологии	5
Задача №2. Измерение тока и напряжения в цепях постоянного тока.....	8
Задача №3. Методы и погрешности электрических измерений.....	10
Задача №4. Измерение активной мощности в цепях трехфазного тока.....	14
Задача №5. Измерение реактивной энергии в цепях трехфазного тока.....	18
Задача №6. Выбор измерительной аппаратуры.....	20