

**МПС СССР**  
**ВСЕСОЮЗНЫЙ ЗАОЧНЫЙ ИНСТИТУТ**  
**ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

---

**ПОДЛЕЖИТ ВОЗВРАТУ**

Одобрено кафедрой  
Электротехники

**ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ**  
**И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ**

**Задание на контрольную работу № 1**  
**с методическими указаниями для**  
**студентов III курса**  
**специальностей**

**ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО**  
**ТРАНСПОРТА**  
**И**  
**АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ**  
**НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

**Москва — 1986**

В современном представлении метрология является наукой об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Электроизмерительная техника интенсивно развивается во всех направлениях. Электроизмерительные приборы служат не только для контроля и учета электрической энергии при ее генерировании и распределении, но и для контроля технологических процессов в различных отраслях промышленности и транспорта, контроля качества материалов и готовых изделий путем измерения неэлектрических величин электрическими методами.

Непрерывное развитие науки и техники, а также универсальность применения электрических измерений определяют непрерывное расширение номенклатуры средств электрических измерений.

### 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.

В целях оказания помощи студентам в выполнении контрольной работы, кафедра «Электротехника» ВЗИИТа проводит устные групповые или индивидуальные консультации для студентов, посещающих занятия в учебно-консультативных пунктах, а для остальных — письменные консультации. Для получения письменной консультации следует обратиться на кафедру «Электротехника» ВЗИИТа через деканат факультета.

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 затруднений прочесть каждую букву, знак, слово.

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.

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

4. 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 подрисовочные надписи. В тексте контрольной работы нужно обязательно делать ссылки на соответствующие схемы, диаграммы и графики.

7. Кривые и графики должны иметь размеры не менее  $10 \times 10$  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  $1 \times 10^n$ ;  $2 \times 10^n$  или  $5 \times 10^n$ , 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. Фреме. — М.: Энергия, 1973 или 1980.

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

В случае отсутствия учебника под редакцией А. В. Фремке студенты могут пользоваться одной из следующих книг:

3. Электрические измерения Под ред. Е. Г. Шрамкова. — М.: Высшая школа, 1972.

4. Вострокнутов Н. Г. Электрические измерения. — М.: Высшая школа, 1966.

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  $a_n = 100$  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.

#### **Методические указания к решению задачи № 1**

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

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 $\Delta_I$	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
Номинальный ток $I_N$	А	0; 5	2,5	20	15	20	5,0	10	5	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	2,5	10	5	5	20	5,0	20	10
		4; 9	15	2,5	10	5	20	15	2,5	15	1,0	20

**Примечание.** Абсолютная погрешность  $\Delta_I$  в табл. 1 указана для каждого оцифрованного деления шкалы после нуля в порядке их возрастания, включая номинальный ток амперметра.

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.

Точность измерений характеризуется близостью их результатов к истинному значению измеряемой величины.

В зависимости от степени точности показывающие и самопишущие электроизмерительные приборы согласно ГОСТ 13600—68 делятся на девять классов: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.

Число, обозначающее класс, является наибольшей приведенной погрешностью прибора на всех отметках рабочей части его шкалы.

Приборы более высокого класса точности, применяемые в лабораторной практике, называются лабораторными в отличие от приборов ограниченной степени точности, используемых для технических измерений.

Весь необходимый теоретический материал, а также формулы для решения этой задачи могут быть получены из рекомендуемых учебников [1, с. 11—22; 5, с. 14—27].

Результаты решения задачи № 1 записать в табл. 2.

Таблица 2

Оцифрованные деления шкалы, А	Абсолютная погрешность $\Delta_I, А$	Поправки измерений $\delta_I, А$	Приведенная погрешность $\gamma_{II}, \%$

**ИЗМЕРЕНИЕ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ  
В ЦЕПЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

Измерительный механизм (ИМ) магнитоэлектрической системы рассчитан на ток  $I_{\text{н}}$  и напряжение  $U_{\text{н}}$  и имеет шкалу на  $\alpha_{\text{н}}$  делений.

1. Составить схему включения измерительного механизма с шунтом и дать вывод формулы  $r_{\text{ш}}$ .

2. Определить постоянную измерительного механизма по току  $C_I$ , величину сопротивления шунта  $r_{\text{ш}}$  и постоянную амперметра  $C'_I$ , если этим прибором нужно измерять ток  $I_{\text{н}}$ .

3. Определить мощность, потребляемую амперметром при номинальном значении тока  $I_{\text{н}}$ .

4. Составить схему включения измерительного механизма с добавочным сопротивлением и дать вывод формулы  $r_{\text{д}}$ .

5. Определить постоянную измерительного механизма по напряжению  $C_U$ , величину добавочного сопротивления  $r_{\text{д}}$  и постоянную вольтметра  $C'_U$ , если этим прибором нужно измерять напряжение  $U_{\text{н}}$ .

6. Определить мощность, потребляемую вольтметром при номинальном значении напряжения  $U_{\text{н}}$ .

**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. 59—70, 88—90; 3, с. 88—96, 106—109; 4, с. 53—62; 5, с. 70—76].

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

З А Д А Ч А № 3

**МЕТОДЫ И ПОГРЕШНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ**

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

Измерение сопротивления производилось при температуре  $t^{\circ}\text{C}$  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;

Числовые значения для задачи № 2

Наименование величин	Единица измерения	Пред-последняя цифра шифра	Последняя цифра шифра									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Напряжение ИМ $U_{И}$	мВ	—	45	75	50	100	75	60	100	75	80	100
Ток ИМ $I_{И}$	мА	—	5	7,5	10	10	15	30	25	25	40	50
Число делений $a_{И}$	дел	—	50	75	100	50	150	75	100	150	50	100
Напряжение $U_{И}$	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	100	50
	В	4; 9	180	15	150	100	150	15	250	30	150	10
Ток $I_{И}$	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	0,5	7,5	4,0	20



3) наибольшие возможные (относительную  $\gamma_r$  и абсолютную  $\Delta r$ ) 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  $r'_x/r_A$  и  $r_V/r'_x$  и по наибольшему из них принять ~~соотношения~~ ~~и~~ ~~выбрать~~ схему включения приборов.

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  $\gamma$  будет представлять собой сумму основной погрешности  $\gamma_d$  (класс точности прибора) и дополнительной погрешности  $\gamma_t$ , вызванной отклонением температуры окружающего воздуха от нормальной (принимается обычно  $t_n = 20^\circ \text{C}$ ); причем следует принимать случай наиболее неблагоприятный, когда

$$\pm \gamma = \pm \gamma_d \pm \gamma_t$$

Относительная погрешность при ковенном методе измерения сопротивления определяется по формуле

$$\pm \gamma_r = \pm \gamma_U \pm \gamma_I$$

Числовые значения для задачи № 3

Наименование величин	Единица измерения	Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра										
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Данные вольтметра	Предел измерения $U_H$	В	—	300	150	15	75	300	30	300	150	75	30
	Ток полного отклонения стрелки прибора при $U_H$	мА	—	3	7,5	1	1	7,5	1	1	3	1	7,5
	Класс точности $\gamma_d$	%	—	0,2	0,5	1,0	0,2	0,5	1,0	1,0	0,5	0,5	1,0
	Показание 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		
Данные амперметра	Предел измерения $I_H$	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 $I_H$	мВ	—	100	95	100	140	27	100	100	100	27	100
	Класс точности $\gamma_d$	%	—	0,5	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	0,2	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	0,9	0,9	7	0,26	11	1,1	1,0	0,17	14	
А		8; 4	1,5	1,1	0,8	4	0,24	12	1,3	1,2	0,27	7	
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 $t$	°С	—	10	0	-10	30	10	0	25	30	40	10	

где  $\gamma_U$  и  $\gamma_I$  — относительные погрешности измерений напряжения и тока.

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

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

Аналогично определяется относительная погрешность и при измерении тока.

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

$$\pm \gamma_r = \frac{\Delta r}{r_x} 100 \%.$$

По исполнению 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

Параметры 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 прибора, вызванное отклонением температуры окружающего воздуха от нормальной до любой в пределах рабочих температур, не должно превышать значений, указанных в табл. 6, на каждые  $\pm 10^\circ \text{C}$  изменения температуры.

Таблица 6

Класс точности прибора	Допускаемое изменение 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, с. 41—48, 228—244; 4, с. 15—17; 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  $\alpha_n = 150$  дел.

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  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ , 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  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ , на которые отклоняются стрелки ваттметров.

Результаты расчетов записать в табл. 8.

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

Числовые значения для задачи № 4

Наименование величины	Единица измерения	Пред-последняя 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	3,6	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	0,34	0,91	0,83	0,74	0,80
Фазное напряжение $U_{\phi}$	В	—	127	220	380	220	350	127	380	220	127	127
Схема соединения	—	—	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$
Последовательные обмотки ваттметров включены в провода	—	—	A и B	B и C	C и A	A и B	B и C	C и A	A и B	B и C	C и A	A и B
Обрывы фазы	—	—	A	B	AB	C	BC	A	CA	AB	B	C

## 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 доказательство, что активная мощность в трехфазной цепи может быть измерена двумя ваттметрами, при этом должна быть учтена схема соединения приемников энергии (табл. 7).

Таблица 8

	Наименование величин	Единица измерения	Результаты расчёта
Определить по п. 1	Мощность цепи $P$	Вт	
	Линейное напряжение $U_{\text{л}}$	В	
	Линейный ток $I_{\text{л}}$	А	
	Номинальное напряжение ваттметра $U_{\text{н}}$	В	
	Номинальный ток ваттметра $I_{\text{н}}$	А	
	Постоянная ваттметра $C_{\text{р}}$	$\frac{\text{Вт}}{\text{дел}}$	
	Мощность, измеряемая первым ваттметром $P_1$	Вт	
	Мощность, измеряемая вторым ваттметром $P_2$	Вт	
	Число делений шкалы $\alpha_1$	дел	
Число делений шкалы $\alpha_2$	дел		
Определить по п. 2	Мощность, измеряемая первым ваттметром $P_1$	Вт	
	Мощность, измеряемая вторым ваттметром $P_2$	Вт	
	Число делений шкалы $\alpha_1$	дел	
	Число делений шкалы $\alpha_2$	дел	

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  $u_{AB}$ ,  $u_{BC}$  и  $u_{CA}$  — 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  $I_n = 5\text{A}$  или  $I_n = 10\text{A}$ , номинальным напряжением  $U_n = 150\text{V}$ ,  $U_n = 300\text{V}$  или  $U_n = 600\text{V}$  и число делений шкалы  $\alpha_n = 150$  дел.

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 изменятся линейные токи, что и должно быть учтено при построении векторной диаграммы и определении 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

$$I' = \frac{U_{\Delta}}{2z_{\Phi}}.$$

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

Более подробно с методами измерения активной мощности в цепях трехфазного тока можно ознакомиться в рекомендуемой литературе [1, с. 144—160; 3, с. 290—303; 4, с. 206—212; 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  $U_{\Phi}$ .

Активное и индуктивное сопротивления фаз приемника соответственно равны  $r_{\Phi}$ ,  $x_{\Phi}$ .

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 варианта, сделать разметку генераторных зажимов его обмоток.

2. Определить линейное напряжение  $U_{\Delta}$ , линейный ток  $I_{\Delta}$ , коэффициент мощности  $\cos \varphi$  и угол  $\varphi$ .

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.



Числовые значения для задачи № 5

Наименование величины	Единица измерения	Пред-последняя цифра шифра	Последняя цифра шифра									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Схема соединения	—	—	Δ	Δ	Λ	Δ	Λ	Δ	Λ	Λ	Δ	Δ
Последовательная обмотка счетчика включена в провод	—	—	B	A	A	C	C	B	B	Λ	A	C
Время $t$	ч	—	30	50	20	20	40	40	30	30	50	30
Фазное напряжение $U_{\phi}$	B	—	220	380	127	220	220	380	127	220	220	380
Активное сопротивление фазы $r_{\phi}$	Ом	0; 5	20	30	10	16	15	25	15	20	14	20
	Ом	1; 6	19	29	11	17	16	24	18	21	16	14
	Ом	2; 7	18	28	12	18	17	23	21	22	18	16
	Ом	3; 8	17	27	13	19	18	22	24	23	20	18
	Ом	4; 9	16	26	14	20	19	21	27	24	22	26
Индуктивное сопротивление фазы $x_{\phi}$	Ом	0; 1	18	25	15	24	20	30	10	18	28	40
	Ом	6; 2	19	26	16	23	21	29	11	17	27	38
	Ом	7; 3	20	27	17	22	23	28	12	16	26	36
	Ом	8; 4	21	28	18	21	24	27	13	15	25	34
	Ом	9; 5	22	29	19	20	25	26	14	21	24	32

## Методические указания к решению задачи № 5

Весь необходимый теоретический материал, а также формулы и построение векторной диаграммы для решения этой задачи могут быть получены из рекомендуемых учебников [1, с. 160—166; 3, с. 303—307; с. 200—224; 5, с. 256—270].

## 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.

Числовые значения для задачи № 6

Наименование величин	Единица измерения	Пред-последняя 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	40	30
	А	1; 6	15	75	50	15	25	30	100	30	20	25
	А	2; 7	30	150	75	25	30	40	200	40	30	20
	А	3; 8	60	200	40	40	15	60	250	50	25	15
	А	4; 9	50	250	60	20	40	75	100	75	50	40
Расстояние от измерительных приборов до трансформатора $l$	м	0; 1	15	10	10	15	20	15	10	20	10	20
	м	6; 2	14	11	14	18	21	16	12	19	9	15
	м	7; 3	13	12	15	19	22	17	14	18	8	23
	м	8; 4	12	13	16	20	23	18	16	17	12	21
	м	9; 5	11	14	17	16	24	19	8	16	15	18

Измерительные трансформаторы тока

Тип	Номинальный ток, А		Класс точности	Номинальная нагрузка, Ом	Коэффициент мощности, $\cos \varphi$
	первичный	вторичный			
1	2	3	4	5	6
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	0,2	0,8—1
И509	5—1000	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

1	2	3	4	5	6
ИИ532	5; 6; 7,5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 75; 100;	1	0,05—0,5	15	1
	150; 200; 250; 300; 400; 500 600; 750 800; 1000	5		0,6	1
ИИ820	30; 50; 75; 100; 150; 200	1	1	5	—
	5	1	1	5	—
	5	0,5	1	55	—
УТТ—5	15; 50; 100; 150; 200; 300; 600	5	0,2	0,2	0,8—1
УТТ—6М)	100; 150; 200; 250; 300; 400; 500; 600;	5	0,2	0,4	0,8—1
	750; 1000; 1200; 1500; 2000		0,2	0,6	0,8

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. 115—119; 4, с. 152—167; 5, с. 110—127, 255—256].

Измерительные трансформаторы напряжения

Тип	Номинальное напряжение		Класс точности	Номинальная мощность нагрузки вторичной цепи, В·А	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	100/3	0.2	5,0	0,8—1
	0,500	100/3	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	3,0; 6,0; 10,0; 15,0	$100/\sqrt{3}$ 100 150	0,1	10,0 15,0 15,0	0,8—1

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	—	0,5	40—100	0,12	—
	1,0	—	0,5		0,035	—
Амперметр Э514/1	1,0	—	0,5	40—100	0,035	—
	2,0	—	0,5		0,12	—
Амперметр Э514/2	2,5	—	0,5	40—60	0,012	—
	5,0	—	0,5		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	0,5	40—100	—	10000
	—	150	0,5			20000
	—	300	0,5			40000
	—	600	0,5			80000
Счетчик однофазный СО—2М2	5,0	127	2,5	50	0,08	10700
		220				32000
Счетчик однофазный СО—И445/4Т	2,5	110	2,0	50—60	0,25	8000
		127				10700
	220	32000				
	250	41500				
Фазометр трехфазного тока Д120	5	127	1,5	50	0,12	2500
		220				7500
		380				22000
Фазометр трехфазного тока Э120	5	127	1,5	50	0,01	10700
		220				32000

# СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	1
Общие методические указания	1
Список рекомендуемой литературы	2
Задание на контрольную работу и методические указания к решению задач	3
Задача № 1. Проверка тепловых приборов и основы метрологии	3
Задача № 2. Измерение тока и напряжения в цепях постоянного тока	7
Задача № 3. Методы и погрешности электрических измерений	7
Задача № 4. Измерение активной мощности в цепях трехфазного тока	11
Задача № 5. Измерение реактивной энергии в цепях трехфазного тока	15
Задача № 6. Выбор измерительной аппаратуры	17

---