

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

Петербургский государственный университет путей сообщения

Кафедра «Теоретические основы электротехники»

Б1.В.3 «ОСНОВЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ»

**Задание на контрольную работу
с методическими указаниями**

для специальности
23.05.03 «Подвижной состав железных дорог»

по специализациям
«Пассажирские вагоны»,
«Грузовые вагоны», «Локомотивы»

форма обучения – заочная

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

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

Оформление самостоятельных работ должно удовлетворять следующим требованиям:

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

2. Самостоятельные работы оформляются в тетради, 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 подрисовочные надписи. В тексте самостоятельной 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 САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАБОТУ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ

ЗАДАЧА №1 ПОВЕРКА ТЕХНИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ И ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ

Технический амперметр магнитоэлектрической системы с номинальным током I_H , числом номинальных делений $\alpha_H=100$ имеет оцифрованные деления от нуля до номинального значения, проставленные на каждой пятой шкалы (стрелки обесточенных амперметров занимают нулевое положение).

Поверка технического амперметра осуществлялась образцовым амперметром той же системы.

Исходные данные для выполнения задачи указаны в таблице 1.

Таблица 1

Числовые значения для задачи №1

Поверяемый амперметр	Единица измерения	Пред-средняя цифра шифра	Последняя цифра шифра									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Абсолютная погрешность Δ_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_H	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 Δ_I в таблице 1 указана для каждого оцифрованного деления шкалы после нуля в порядке их возрастания, включая номинальный ток амперметра.

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 относятся данные 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 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 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; 2, с. 23-39; 4, с. 14-27].

Результаты решения задачи № 1 записать в таблицу 2.

Таблица 2

Оцифрованные деления шкалы, А	Абсолютная погрешность Δ_I , А	Поправки измерений δ_I , А	Приведенная погрешность γ_I , %

ЗАДАЧА №2

ИЗМЕРЕНИЕ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ В ЦЕПЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА

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

1. Составить схему включения измерительного механизма с шунтом и дать выводы 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 $I_{н}$.
3. Определить мощность, потребляемую амперметром при номинальном значении тока $I_{н}$.
4. Составить схему включения измерительного механизма с добавочным сопротивлением и дать вывод формулы $R_{д}$.
5. Определить постоянную измерительного механизма по напряжению C_U , величину добавочного сопротивления $R_{д}$ и постоянную вольтметра C'_U , если этим прибором нужно измерять напряжение $U_{н}$.

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. 79-80; 2, с. 101-103; 4, с. 111-117].

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

Таблица 3

Наименование величин	Единица измерения	Предпоследняя 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 $\alpha_{н}$	дел	-	50	75	100	50	150	75	100	150	50	100
Напряжение $U_{н}$	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 $I_{н}$	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

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 таблице 4.

Таблица 4

Числовые значения для задачи № 3

Наименование величин	Единица измерения	Предпосредняя цифра шифра	Последняя цифра шифра									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
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 γ_d	%	-	0,2	0,5	1,0	0,2	0,5	1,0	1,0	0,5	0,5	1,0
Показания 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	180	130	75	25
Предел измерения I_H	А	-	1,5	3,0	1,5	7,5	0,3	15	1,5	1,5	0,3	15
Ток полного отклонения стрелки прибора при I_H	мВ	-	100	95	100	140	27	100	100	100	27	100
Класс точности γ_d	%	-	0,5	1,0	0,2	0,5	1,0	0,2	1,0	0,5	0,2	1,5
Показания 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	1,8	0,3	5
Группа приборов	-	-	А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В	А
Температура t	$^{\circ}\text{C}$	-	10	0	-10	30	10	0	25	30	40	10

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_x и абсолютную ΔR) 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 определяется 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 соотношения $\frac{R'_x}{R_A}$ и $\frac{R_V}{R'_x}$ по наибольшему из них принять и вычертить схему включения приборов.

Величина сопротивления R_x определяется с учетом внутреннего сопротивления приборов R_A и 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 $t_n = 20^\circ C$); 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

$$\pm \gamma = \pm \gamma_U \pm \gamma_I,$$

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

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

Аналогично определения абсолютной погрешности ΔR , 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, 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	$\pm 4,0$	$\pm 3,0$	$\pm 2,0$

ЗАДАЧА № 4

ИЗМЕРЕНИЕ ТОКА В ЦЕПЯХ ПЕРЕМЕННОГО НЕСИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

1. В цепь несинусоидального тока включены: амперметр магнитоэлектрической системы и амперметр электродинамической системы. Амперметры имеют одинаковые номинальные токи $I_n = 5$ А и шкалы с одинаковым номинальным числом делений $\alpha_n = 100$ дел.

Начертить схему цепи и определить, на какое число делений шкалы отклонится стрелка: а) магнитоэлектрического амперметра; б) электродинамического амперметра, если в цепи проходит ток

$$i = I_0 + I_{1m} \sin \omega t + I_{3m} \sin(3\omega t \pm \psi_3).$$

Построить в масштабе в одних осях координат графики заданного тока $i = f(t)$ за время одного периода основной гармонике тока.

Значения I_0 , I_{1m} , I_{3m} и ψ_3 для отдельных вариантов заданы в табл. 7.

2. В цепь несинусоидального тока включены: амперметр электродинамической системы и амперметр детекторной (выпрямительной) системы. Амперметры имеют одинаковые номинальные токи $I_{1н}=5$ А и шкалы с одинаковым номинальным числом делений $\alpha_n=100$ дел.

На какое число делений шкалы отклонится стрелка: а) электродинамического амперметра; б) детекторного амперметра, если в цепи проходит ток

$$i = I_{1m} \sin \omega t + I_{3m} \sin(3\omega t \pm \psi_3).$$

Таблица 7

Название величины	Единица измерения	Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ток I_0	А	-	0,5	1,5	1,5	2,0	2,5	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Ток I_{1m}	А	0;5	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	4,0	3,5	3,0	2,5	4,5
	А	1;6	4,0	4,5	3,8	3,2	3,0	4,4	4,0	3,5	3,0	4,0
	А	2;7	3,5	3,0	4,0	3,4	3,6	4,2	3,8	4,0	3,5	4,2
	А	3;8	3,0	2,5	4,2	3,6	4,0	3,5	4,4	4,5	4,0	3,8
	А	4;9	2,5	3,2	4,4	3,8	4,5	3,8	4,2	3,5	4,2	4,4
Ток I_{3m}	А	0;1	2,5	2,0	1,5	1,0	1,5	1,0	2,0	1,5	1,0	2,0
	А	6;2	2,0	2,5	1,8	1,4	2,0	1,2	1,8	1,8	1,2	2,2
	А	7;3	1,5	1,0	2,0	1,6	2,5	1,4	1,6	2,0	2,2	2,8
	А	8;4	1,0	1,5	2,2	2,5	1,2	1,6	1,5	2,4	1,8	3,0
	А	9;5	1,5	2,0	2,4	2,0	2,6	1,8	1,4	2,5	1,6	3,0
Угол ψ_3	рад	-	0	$\frac{\pi}{6}$	π	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$	π	$\frac{\pi}{6}$	0	π	$\frac{\pi}{3}$

Методические указания к решению задачи № 4

Несинусоидальные токи и напряжения могут измеряться приборами различных систем. Так, например, приборы электромагнитной, электродинамической и тепловой системы реагируют на действующие значения величин: приборы детекторной (выпрямительной) системы – на среднее по модулю значение величины; приборы магнитоэлектрической системы – на постоянную составляющую; амплитудные электронные вольтметры – на максимальное значение функции.

При решении п. 1, а этой задачи необходимо написать выражение мгновенного и среднего вращающих моментов, а затем угла поворота подвижной части амперметра магнитоэлектрической системы.

При решении п. 2, б необходимо написать выражения мгновенного и среднего значений вращающего момента, действующего на подвижную часть измерительного механизма выпрямительного прибора, а затем написать выражение угла поворота его подвижной части.

Учитывая, что приборы детекторной системы реагируют на среднее значение тока $I_{\text{ср}}$, необходимо, имея уравнение тока $i = f(t)$, определить среднее по модулю значение несинусоидального тока.

Если за начало отсчета времени принять момент прохождения через нуль первой гармоники тока и учесть, что начало третьей гармоники тока смещено по отношению к началу первой на угол ψ_3 , то для кривых, не содержащих постоянной составляющей и четных гармоник, после интегрирования получим:

$$I_{\text{ср}} = \frac{2}{\pi} (I_{1m} \cos \psi_1 + \frac{1}{3} I_{3m} \cos \psi_3 + \dots).$$

Как известно, градуировка прибора производится в действующих значениях при синусоидальном токе, поэтому угол поворота подвижной части прибора необходимо выразить в зависимости от действующих значений тока. Обозначив коэффициент формы кривой измеряемого несинусоидального тока через $k'_{\text{ф}}$, можно написать для схемы с двухпериодным выпрямлением:

$$k'_{\text{ф}} = \frac{I}{I_{\text{ср}}},$$

Получив выражение постоянной по току при синусоидальной форме кривой C_I , надо написать выражение постоянной по току и для заданного несинусоидального тока

$$C'_I = C_I \frac{k'_{\text{ф}}}{k_{\text{ф}}},$$

где $k_{\text{ф}} = 1,1$ – коэффициент формы кривой для несинусоидального тока.

После этого определяется угол поворота подвижной части прибора при заданном токе

$$\alpha = \frac{I}{C'_I}.$$

Более подробно с работой приборов в цепях с несинусоидальными токами и напряжениями можно ознакомиться в рекомендуемой литературе [1, с. 61-73, 103-108; 2, с. 116-120, 128-132; 4, с. 174-181].

Необходимо обратить внимание на то, что обозначение каждой из величин в тексте и формулах, а также на диаграмме должно быть одинаковым.

ЗАДАЧА № 5

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 $I_{\text{н}}$, номинальным напряжением $U_{\text{н}}$ и числом делений шкалы $\alpha_{\text{н}} = 150$ дел.

Исходные данные для решения задачи приведены в табл. 8.

Числовые значения для задачи № 5

Наименование величин	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	0,70	0,80	0,90	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_ϕ	В	–	127	220	380	220	380	127	380	220	127	127
Схема соединения	–	–	Y	Y	Δ	Y	Δ	Y	Δ	Δ	Y	Y
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
Обрыв фазы	–	–	A	B	AB	C	BC	A	CA	AB	B	C

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 вариантам при обрыве одной из 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.

Результаты расчетов записать в табл. 9.

Примечание. Заданная трехпроводная цепь трехфазного тока представляет собой соединение трех неподвижных магнитонесвязанных катушек.

Методические указания к решению задачи № 5

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 (табл. 8).

Таблица 9

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

Если приемники энергии соединены по схеме звезда, то вывод формулы активной мощности для этого случая приведен в рекомендуемой литературе. Если приемник энергии

соединен 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 ваттметров с номинальным током $I_n = 5$ А или $I_n = 100$ А, номинальным напряжением $U_n = 150$ В, $U_n = 300$ В или $U_n = 600$ В и числом 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. 8).

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 сопротивления 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

$$I' = \frac{U_l}{2 \cdot z_\phi}.$$

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. 128-132; 2, с. 404-408; 4, с. 343-348].

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 напряжения и тока согласно ГОСТ 9032-69 приведены в табл. 11 и 12.

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. 80-88, 141-142; 2, с. 103-109, 394-400; 4, с. 192-215, 353-356].

Таблица 10

Числовые значения для задачи № 6

Наименование величин	Единица измерения	Предпослед. 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;4	11	14	17	16	24	19	8	16	15	18

Таблица 11

Измерительные трансформаторы напряжения

Тип	Номинальное напряжение		Класс точности	Номинальная мощность нагрузки вторичной цепи, ВА	Коэффициент мощности, $\cos\varphi$
	первичное, кВ	вторичное, кВ			
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

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 0,5	0,1	-
И54/1	0,5; 1; 2,5 5; 10; 25; 50	5	0,2 0,2 0,2 0,2 0,5	0,4 0,4 0,05 0,5 0,4	0,8-1 0,5-0,8 1 0,8 0,5-0,8
И55/1	0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 50	0,5	0,1	30	1
И56М	1-1000	1 5 5	0,1 0,1 0,05	15 0,6 0,2	0,8-1 0,8-1 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 5	0,05	15 0,6	1 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 5	0,05-0,5	15 0,6	1 1
И1820	30; 50; 75; 100; 150; 200 5 5	1 1 0,5	1 1 1	5 5 55	- - -
УТТ-5	15; 50; 100; 150; 200; 300; 600	5	0,2	0,2	0,8-1
УТТ-6М1	100; 150; 200; 250; 300; 400; 500; 600; 750; 1000; 1200; 1500; 2000	5	0,2 0,2	0,4 0,6	0,8-1 0,8

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 5,0	110	2,0	50-60	0,25 0,08	8000
		127				10700
		220				32000
		230				35000
		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