

Задача 1

Измерительный механизм (ИМ) магнитоэлектрической системы рассчитан на ток I_H , и напряжение U_H , и имеет шкалу на α_H делений.

Составить схему включения измерительного механизма с шунтом и дать вывод формулы $r_{Ш}$.

Определить постоянную измерительного механизма по току C_1 , величину сопротивления шунта $r_{Ш}$ и постоянную амперметра C'_1 , если этим прибором нужно измерять ток I_H .

Определить мощность, потребляемую амперметром при номинальном значении тока I_H .

Составить схему включения измерительного механизма с добавочным сопротивлением и дать вывод формулы r_D .

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_H .

Определить мощность, потребляемую вольтметром при номинальном значении напряжения U_H .

Исходные данные (номинальный ток, напряжение и количество делений) приведены в таблице 1.

Таблица 1

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

Задача 2

измерение сопротивления косвенным методом

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 таблице.

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 и абсолютную) погрешности результата измерения этого сопротивления;
4. в каких пределах находятся действительные значения измеряемого сопротивления.

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 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 r_x' / r_A и r_V / r_x' и по наибольшему из них принять и выбрать схему включения приборов.

	Наименование величин		Последняя цифра шифра												
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Данные вольтметра	Предел измерения U_N	В	—	300	150	15	7,5	300	30	300	300	150	75	30	
	Ток полного отклонения при U_N	мА	—	3	7,5	1	1	7,5	1	1	1	3	1	7,5	
	Класс точности γ_D	%	—	0,2	0,5	1,0	0,2	0,5	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	1,0	
	Показание вольтметра U	В	6; 1	220	140	12	60	240	27	270	100	100	50	20	
			7; 2	280	130	10	70	260	25	180	110	60	26		
Данные амперметра	Показание амперметра I	А	8; 3	250	120	8	65	210	23	230	140	70	18		
			9; 4	170	110	11	75	250	28	240	120	65	22		
			0; 5	290	150	14	55	200	29	160	130	75	25		
Предел измерения I_N	А	—	1,5	100	1,5	15	100	1,5	15	100	1,5	15	15		
Данные амперметра	Падение напряжения на зажимах прибора при I_N	мВ	—	100	27	0,2	0,3	27	0,2	0,3	27	0,2	0,3		
			Класс точности γ_D	%	—	0,5	100	0,5	1,5	100	0,5	1,5	100	0,5	1,5
			Показания амперметра I	А	6; 1	1,0	1,5	2,0	10	1,5	3,0	25	30	20	5
7; 2	1,5	3,0			10	2,0	3,0	1,5	2,5	25	5,0	15			
Группа приборов	Температура t	°С	8; 3	2,0	6,0	5,0	3,0	4,5	6,0	5,0	15	10	0,5		
			9; 4	2,5	4,5	1,5	5,0	15	4,5	7,5	1,5	0,5	1,0		
			0; 5	3,0	7,5	0,5	2,5	30	0,3	0,5	7,5	4,0	20		
			А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В	А
			10	0	-10	30	10	0	25	30	40	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 ввиду, 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 $t_H = 20^\circ C$); 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

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

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

Величины γ_U и γ_I могут быть определены по формулам, приведенным ниже. Так относительная погрешность при измерении напряжения будет

$$\gamma_U = \frac{\Delta U}{U} 100\% = \frac{\pm\gamma U_H}{100\%} - \frac{100\%}{U} = \pm\gamma \frac{U_H}{U}$$

Аналогично определяется относительная погрешность и при измерении тока.

Для определения абсолютной погрешности Δr , а также пределов изменения действительного значения измеряемого сопротивления r следует пользоваться 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 таблице А, приводятся нормы для рабочих климатических условий по температуре для приборов различных групп.

Таблица А

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, указанные в таблице Б, на каждые $\pm 10^{\circ}\text{C}$ изменения температуры.

Таблица Б

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 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 чистом делений шкалы $\alpha_H = 150$ делений.

Исходные данные для решения задачи приведены в таблице А.

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 А

Наименование величин	Единица измерения	Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра										
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Мощность цепи S	кВ	0;5	3,0	6,0	5,5	5,0	3,2	1,5	2,0	2,5	3,5	1,8	
		1;6	3,5	5,5	6,0	3,0	2,0	2,5	2,0	3,0	3,0	2,2	
		2;7	2,5	5,0	6,5	6,0	3,6	2,5	2,5	1,5	1,8	2,5	2,8
		3;8	2,0	4,5	5,0	4,5	5,0	3,0	3,0	5,0	3,0	2,0	1,4
		4;9	1,8	4,0	4,5	4,0	6,0	3,5	3,5	5,8	3,6	1,5	3,5
Коэффициент мощности COSφ		0;1	0,7	0,8	0,9	0,72	0,82	0,88	0,83	0,92	0,84	0,72	
		6;2	0,72	0,82	0,92	0,74	0,83	0,80	0,85	0,90	0,86	0,70	
		7;3	0,74	0,84	0,73	0,76	0,84	0,81	0,87	0,88	0,85	0,76	
		8;4	0,76	0,86	0,75	0,78	0,85	0,82	0,89	0,86	0,83	0,74	
		9;5	0,78	0,88	0,71	0,80	0,86	0,84	0,91	0,83	0,74	0,80	
Фазное напряжение U_{ϕ}	В	-	220	380	220	380	127	380	220	127	380	127	
Схема соединения	-	-	λ	Δ	λ	Δ	λ	Δ	λ	Δ	λ	Δ	
Последовательные обмотки ваттметров включены в провода	-	-	АиВ	ВиС	СиА	АиВ	ВиС	СиА	АиВ	ВиС	СиА	АиВ	
Обрывы фазы	-	-	А	В	АВ	С	ВС	А	СА	АВ	В	С	

При решении п. 1 этой задачи необходимо в соответствии с заданием своего варианта начертить схему включения ваттметров в трехпроводную цепь трехфазного тока.

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. А).

Если приёмники энергии соединены по схеме *звезда*, то вывод формулы активной мощности для этого случая приведён в рекомендуемой литературе. Если приёмники энергии соединены по схеме *треугольник*, то мгновенную мощность трехфазной цепи следует представить как:

$$p = p_{AB} + p_{BC} + p_{CA} = u_{AB} \cdot i_{AB} + u_{BC} \cdot i_{BC} + u_{CA} \cdot i_{CA}$$

где u_{AB}, u_{BC} и u_{CA} - мгновенные значения фазных напряжений;

i_{AB}, i_{BC}, i_{CA} - мгновенное значение 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 находится под действием напряжений u_{CA} 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 $I_n = 5A$ или $I_n = 10A$, номинальным напряжением $U_n = 150B$, $U_n = 300B$ или $U_n = 600B$ и числом делений шкалы $\alpha_n = 150$ дел.

Постоянная ваттметра определяется по формуле:

$$C_p = \frac{U_n \cdot I_n}{\alpha_n}$$

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 изменяются 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:

$$I' = \frac{U_{л}}{2 \cdot Z_{\phi}}$$

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

Результаты расчетов записать в таблицу Б.

Таблица Б

	Наименование величин	Единица измерения	Результат расчёта
Определить по п.1	Мощность цепи P	$Вт$	
	Линейное напряжение U_x	$В$	
	Линейный ток	$А$	
	Номинальное напряжение ваттметра	$В$	
	Номинальный ток ваттметра	$А$	
	Постоянная ваттметра	$\frac{Вт}{дел}$	
	Мощность, измеряемая первым ваттметром	$Вт$	
	Мощность, измеряемая вторым ваттметром	$Вт$	
Определить по п.2	Число делений шкалы	$дел$	
	Число делений шкалы	$дел$	
	Мощность, измеряемая первым ваттметром	$Вт$	
	Мощность, измеряемая вторым ваттметром	$Вт$	
	Число делений шкалы	$дел$	
	Число делений шкалы	$дел$	

Задача 4

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 сопротивления 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 таблице.

Приемник электрической энергии работает непрерывное время t .

Начертить схему включения счетчика в соответствии с данными варианта.

Определить линейное напряжение $U_{\text{л}}$, линейный ток $I_{\text{л}}$ коэффициент мощности $\cos \varphi$ и угол φ .

Для заданной цепи построить в масштабе векторную диаграмму, выделить в ней векторы напряжения и тока, под действием которых находятся параллельная и последовательная обмотки счетчика.

Пользуясь векторной диаграммой, доказать, что счетчик, включенный по такой схеме, измеряет реактивную энергию. Определить расход реактивной энергии, учитываемой счетчиком за время t .

Подсчитать за время t реактивную энергию всего приемника.

Найти численное соотношение между энергией, учитываемой счетчиком, и энергией приемника.

Таблица

Наименование величин	Единица измерения	Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Схема соединения	-	-	Δ	Δ	Y	Δ	Y	Δ	Y	Y	Δ	Δ
Последовательная обмотка счётчика включена в провод	-	-	B	A	A	C	C	B	B	A	A	C
Время t	ч	-	30	50	20	20	40	40	30	30	50	30
Фазное напряжение U_{ϕ}	B	-	220	380	127	220	220	380	127	220	220	380
Активное сопротивление фазы R_{ϕ}	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_{ϕ}	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