

БПОУ ВО «Грязовецкий политехнический техникум»

**ПРАКТИЧЕСКИЕ (ЛАБОРАТОРНЫЕ)
РАБОТЫ**
по учебной дисциплине:
ОП. 04 «ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ»

Специальность: 35.02.08

Электрификация и автоматизация сельского хозяйства

г. Грязовец
2018 г.

Рассмотрено

цикловой комиссией по общепрофессиональным
дисциплинам и профессиональным модулям
отделения «Электрификация
и автоматизация сельского хозяйства»

Согласовано

зам. директора по ОМР

С Е. А. Ткаченко
« 30 » августа 2018 г.

Протокол № 1 от « 30 » августа 2018 г.

Председатель комиссии:

Невзорова Т. В. Невзорова

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Тема: Расчет трехфазной несимметричной цепи при соединении приемников «звездой с нулевым проводом» (с использование векторных диаграмм)

Обучающийся должен

знать:

- соединение вида «звезда»;
- понятие не симметричной нагрузки, линейный ток, фазный ток, линейное фазное напряжение;

уметь:

- рассчитывать не симметричные цепи при соединении приемников «звездой» с помощью векторных диаграмм;

Задание: Три приемника электрической энергии соединены «звездой с нулевым проводом» в цепь трехфазного тока с линейным напряжением.

1. Начертите схему цепи
2. Определите фазные, линейные токи.
3. Активную, реактивную и полную мощности каждой фазы и всей цепи.
4. Построить векторную диаграмму.

Таблица 1. Исходные данные к задаче

Номер варианта	Задаваемые величины					Номер варианта	Задаваемые величины				
	U, В	Z _A , Ом	Z _B , Ом	Z _C , Ом	Z ₀ , Ом		1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
00, 50	220	4	3 + j4	4 - j3	1	25, 75	380	+ j12	14 + j16	18 - j24	08
01, 51	380	6	4 + j3	3 - j4	1	26, 76	660	+ j16	16 + j18	24 - j18	08
02, 52	660	8	6 + j8	6 - j8	1	27, 77	220	+ j24	20 + j22	20 - j9	08
03, 53	220	10	8 + j6	8 - j6	1	28, 78	380	+ j18	22 + j24	9 - j24	08
04, 54	380	12	9 + j12	12 - j9	1	29, 79	660	+ j20	24 + j26	16 - j24	08
05, 55	660	14	12 + j9	9 - j12	1	30, 80	220	24 + j32	+ j2	4 - j3	07
06, 56	220	16	9 + j16	16 - j9	1	31, 81	380	32 + j24	+ j4	6 - j9	07
07, 57	380	18	12 + j16	12 - j16	1	32, 82	660	24 + j22	+ j16	8 - j12	07
08, 58	660	20	16 + j12	16 - j12	1	33, 83	220	16 + j20	+ j8	10 - j14	07
09, 59	220	22	9 + j9	32 - j24	1	34, 84	380	8 + j8	+ j10	12 - j16	07
10, 60	380	4 + j3	-j3	80 + j60	09	35, 85	660	12 + j16	+ j12	14 - j18	07
11, 61	660	6 + j4	-j4	40 + j30	09	36, 86	220	8 + j14	+ j14	16 - j20	07
12, 62	220	8 + j6	-j5	4 + j3	09	37, 87	380	6 + j12	+ j16	18 - j22	07
13, 63	380	10 + j8	-j6	8 + j6	09	38, 88	660	2+j10	+ j18	20 - j24	07
14, 64	660	12 + j9	-j7	12 + j9	09	39, 89	220	6 + j8	+ j20	22 - j26	07
15, 65	220	14 + j12	-j8	16 + j12	09	40, 90	380	8 + j6	16 - j22	22	1
16, 66	380	16 + j12	-j9	20 + j15	09	41, 91	660	9 + j18	6 - j9	24	1
17, 67	660	18 + j16	-j10	10 + j7,5	09	42, 92	220	10 + j16	8 - j12	26	1
18, 68	220	20 + j3	-j11	24 + j18	09	43, 93	380	12 + j16	10 - j16	12	1
19, 69	380	22 + j4	-j12	32 + j24	09	44, 94	660	14 + j8	12 - j24	16	1
20, 70	660	+ j3	3 + j4	3 - j4	08	45, 95	220	16 + j12	14 - j32	18	1
21, 71	220	+ j4	6 + j8	4 - j3	08	46, 96	380	18 + j36	16 - j36	20	1
22, 72	380	+ j6	8 + j10	6 - j8	08	47, 97	660	20 + j10	18 - j42	22	1
23, 73	660	+ j8	10 + j12	9 - j16	08	48, 98	220	22 + j9	20 - j48	24	1
24, 74	220	+ j9	12 + j14	12 - j16	08	49, 99	380	24 + j12	22 - j54	26	1

Пример к задаче 1: Три приемника электрической энергии с комплексами полных сопротивлений $Z_A = (8 - j6)$ Ом, $Z_B = (6 - j8)$ Ом, $Z_C = (23 + j15,3)$ Ом соединены звездой и включены в четырехпроводную сеть трехфазного тока с линейным напряжением $U_L = 660$ В. Сопротивление нулевого провода $Z_0 = 1$ Ом. Определить: 1) напряжение на каждой фазе приемника при наличии нулевого провода и при его обрыве; 2) для случая с нулевым проводом: а) фазные, линейные токи и ток в нулевом проводе; б) активную, реактивную и полную мощность каждой фазы и всей цепи.

Построить топографическую диаграмму напряжений при обрыве нулевого провода.

Решение.

Пример необходимо решать символьическим методом.

1. При соединении обмоток звездой фазное напряжение

$$U_\phi = \frac{U_L}{\sqrt{3}} = \frac{660}{1,73} = 380 \text{ В.}$$

2. Представим напряжение и сопротивление в комплексном виде в алгебраической и показательной формах записи:

$$\dot{U}_A = 380 e^{j0^\circ} = (380 + j0) \text{ В};$$

$$\dot{U}_B = 380 e^{-j120^\circ} = (-190 - j328) \text{ В};$$

$$\dot{U}_C = 380 e^{j120^\circ} = (-190 + j328) \text{ В};$$

$$\underline{Z}_A = 8 + j6 = 10 e^{+j37^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_B = 6 - j8 = 10 e^{-j53^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_C = 23 + j15,3 = 27,6 e^{j33^\circ 40'} \text{ Ом.}$$

3. Проводимости фаз и нулевого провода:

$$\underline{Y}_A = \frac{1}{\underline{Z}_A} = \frac{1}{10 e^{j37^\circ}} = 0,1 e^{-j37^\circ} = (0,08 - j0,06) \text{ См};$$

$$\underline{Y}_B = \frac{1}{\underline{Z}_B} = \frac{1}{10 e^{-j53^\circ}} = 0,1 e^{-j53^\circ} = (0,06 - j0,08) \text{ См};$$

$$\underline{Y}_C = \frac{1}{\underline{Z}_C} = \frac{1}{27,6 e^{j33^\circ 40'}} = 0,0362 e^{-j33^\circ 40'} = (0,03 - j0,02) \text{ См};$$

$$\underline{Y}_0 = \frac{1}{\underline{Z}_0} = \frac{1}{1} = 1 \text{ См.}$$

4. Напряжение смещения нейтрали при наличии нулевого провода:

$$\begin{aligned} \dot{U}_0 &= \frac{\dot{U}_A \cdot \underline{Y}_A + \dot{U}_B \cdot \underline{Y}_B + \dot{U}_C \cdot \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C + \underline{Y}_0}; \\ \dot{U}_0 &= \frac{380 e^{j0^\circ} \cdot 0,1 e^{-j37^\circ} + 380 e^{-j120^\circ} \cdot 0,1 e^{-j53^\circ} + 380 e^{+j120^\circ} \cdot 0,0362 e^{-j33^\circ 40'}}{0,08 - j0,06 + 0,06 + j0,08 + 0,03 - j0,02 + 1} = \\ &= \frac{38 e^{j0^\circ} + 38 e^{-j120^\circ} + 38 e^{+j120^\circ}}{1,17} = \\ &= 32,48 e^{-j37^\circ} + 32,48 e^{-j67^\circ} + 11,75 e^{j86^\circ 20'} = \\ &= 26 - j19,5 + 12,7 - j30 + 0,752 + j11,75 = \\ &= 39,45 - j37,75 = 54 e^{-j43^\circ 40'}. \end{aligned}$$

5. Напряжение смещения нейтрали при обрыве нулевого провода:

$$\dot{U}'_0 = \frac{\dot{U}_A \cdot \underline{Y}_A + \dot{U}_B \cdot \underline{Y}_B + \dot{U}_C \cdot \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C} =$$

$$\begin{aligned} &= \frac{38e^{-j37^\circ} + 38e^{-j67^\circ} + 13,75e^{j86^\circ 20'}}{0,17} = \\ &= 223,5e^{-j37^\circ} + 223,5e^{-j67^\circ} + 80,9e^{j86^\circ 20'} = \\ &= 178 - j134 + 87 - j205 + 5,17 + j80,74 = \\ &= 270 - j258 = 372e^{-j43^\circ 40'}. \end{aligned}$$

6. Напряжение на фазах потребителя без нулевого провода:

$$\begin{aligned} \dot{U}'_A &= \dot{U}_A - \dot{U}_0 = 380 - 270 + j258 = 110 + j258 = 280e^{j66^\circ 60'} B; \\ \dot{U}'_B &= \dot{U}_B - \dot{U}_0 = -190 - j328 - 270 + j258 = \\ &= -460 - j70 = 464e^{-j171^\circ} B; \\ \dot{U}'_C &= \dot{U}_C - \dot{U}_0 = -190 + j328 - 270 + j258 = \\ &= -460 + j586 = 745e^{j128^\circ 10'} B. \end{aligned}$$

7. Напряжение на фазах потребителя при наличии нулевого провода:

$$\begin{aligned} \dot{U}'_A &= \dot{U}_A - \dot{U}_0 = 380 - 39,45 + j37,75 = 340,5 + j37,45 = 348e^{j6^\circ 10'} B; \\ \dot{U}'_B &= \dot{U}_B - \dot{U}_0 = -190 - j328 - 39,455 + j37,75 = \\ &= -229 - j290 = 370e^{-j128^\circ 10'} B; \\ \dot{U}'_C &= \dot{U}_C - \dot{U}_0 = -190 + j328 - 39,45 + j37,75 = \\ &= 229,45 + j365,75 = 433e^{j122^\circ} B. \end{aligned}$$

8. Токи фазные (равные линейным токам при соединении потребителей звездой):

$$\begin{aligned} \dot{I}_A &= \dot{U}'_A \cdot \underline{Y}_A = 348e^{j6^\circ 10'} \cdot 0,1e^{-j37^\circ} = 34,8e^{-j30^\circ 50'} = \\ &= (30 - j17,8) A; \\ \dot{I}_B &= \dot{U}'_B \cdot \underline{Y}_B = 370e^{-j128^\circ 20'} \cdot 0,1e^{j53^\circ} = 37e^{-j75^\circ 20'} = \\ &= (9,35 - j35,7) A; \\ \dot{I}_C &= \dot{U}'_C \cdot \underline{Y}_C = 433e^{j122^\circ} \cdot 0,0362e^{-j33^\circ 40'} = 15,67e^{j88^\circ 20'} = \\ &= (0,45 + j15,6) A. \end{aligned}$$

9. Ток в нулевом проводе по первому закону Кирхгофа для нейтральной точки:

$$\begin{aligned} \dot{I}_0 &= \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 30 - j17,8 + 9,35 - j35,7 + 0,45 + j15,6 = \\ &= 39,8 - j37,9 = 54e^{-j43^\circ 40'} A. \end{aligned}$$

Из вычислений видно, что ток в нулевом проводе определен правильно.

10. Мощности фаз:

$$\begin{aligned}
 \tilde{S}_A &= \dot{U}'_A \cdot \dot{I}_A = 348 e^{j16^\circ 10'} \cdot 34,8 e^{-j30^\circ 50'} = 11696 e^{j37^\circ} = \\
 &= (9357 + j7017) B \cdot A; \\
 S_A &= 11696 B \cdot A; P_A = 9357 \text{ Вт}; Q_A = 7017 \text{ вар}; \\
 \tilde{S}_B &= \dot{U}'_B \cdot \dot{I}_B = 370 e^{-j128^\circ 10'} \cdot 37 e^{-j75^\circ 20'} = 13690 e^{-j53^\circ} = \\
 &= (8214 - j10952) B \cdot A; \\
 S_B &= 13690 B \cdot A; P_B = 8214 \text{ Вт}; Q_B = -10952 \text{ вар}; \\
 \tilde{S}_C &= \dot{U}'_C \cdot \dot{I}_C = 433 e^{j122^\circ} \cdot 15,67 e^{-j88^\circ 20'} = 6785 e^{j33^\circ 40'} = \\
 &= (5647 + j3757) B \cdot A; \\
 S_C &= 6785 B \cdot A; P_C = 5647 \text{ Вт}; Q_C = 3757 \text{ вар};
 \end{aligned}$$

11. Мощности всей цепи:

$$\begin{aligned}
 \tilde{S} &= \tilde{S}_A + \tilde{S}_B + \tilde{S}_C = 9357 + j7017 + 8214 - j10952 + \\
 &+ 5647 + j3757 = 23218 - j178 B \cdot A; \\
 P &= 23218 \text{ Вт}; Q = -178 \text{ вар}.
 \end{aligned}$$

Эти же мощности определить по другим формулам:

$$\begin{aligned}
 P &= P_A + P_B + P_C = I_A^2 \cdot r_A + I_B^2 \cdot r_B + I_C^2 \cdot r_C = \\
 &= 34,8^2 \cdot 8 + 37^2 \cdot 6 + 15,67^2 \cdot 23 = 23218 \text{ Вт}; \\
 Q &= Q_A + Q_B + Q_C = I_A^2 \cdot X_A + I_B^2 \cdot X_B + I_C^2 \cdot X_C = \\
 &= 34,8^2 \cdot 6 - 37^2 \cdot 8 + 15,67^2 \cdot 15,3 = -178 \text{ вар}.
 \end{aligned}$$

12. Топографическая диаграмма строиться на комплексной плоскости в масштабе $m_u = 100 \text{ В/см}$.
Определяются длины векторов напряжений:

$$\begin{aligned}
 \overline{U}'_A &= \frac{|U'_A|}{m_u} = \frac{280}{100} = 2,8 \text{ см}; \\
 \overline{U}'_B &= \frac{|U'_B|}{m_u} = \frac{464}{100} = 4,64 \text{ см}; \\
 \overline{U}'_C &= \frac{|U'_C|}{m_u} = \frac{754}{100} = 7,54 \text{ см}; \\
 \overline{U}'_0 &= \frac{|U'_0|}{m_u} = \frac{372}{100} = 3,72 \text{ см}; \\
 U_A = U_B = U_C &= \frac{|U_A|}{m_u} = \frac{380}{100} = 3,8 \text{ см}.
 \end{aligned}$$

Порядок построения топографической диаграммы.

Совмещаем вектор напряжения фазы А источника с положительной вещественной осью, так как его угол равен нулю.

$$\dot{U}_A = 380 e^{j0^\circ}.$$

Откладываем вектор напряжения фазы В источника в сторону от вектора напряжения фазы А на 120° , а вектор напряжения фазы С – в сторону опережения на угол 120° .

$$\dot{U}_B = 380 e^{-j120^\circ}; \quad \dot{U}_C = 380 e^{j120^\circ}$$

Соединяя концы вектора фазных напряжений источников, получим векторы линейных напряжений источников.

Длины векторов линейных напряжений определяются:

$$\overline{U}_{AB} = \overline{U}_{BC} = \overline{U}_{CA} = \frac{U_n}{m_U} = \frac{660}{100} = 6,6 \text{ см.}$$

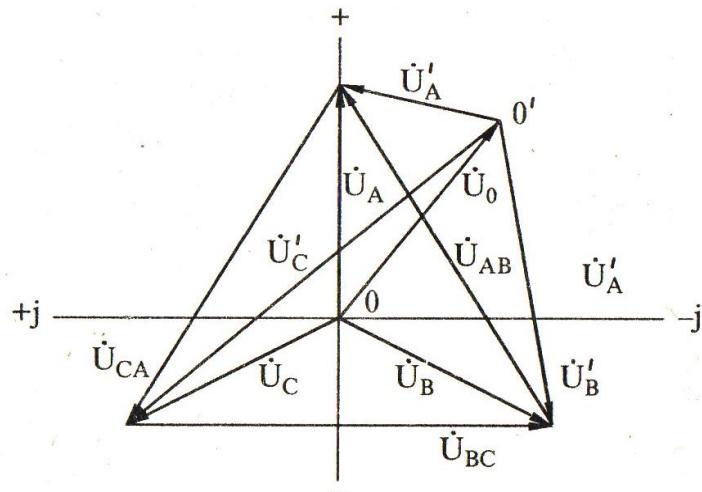
Векторы напряжений одинаковы, так как генераторы индуцируют симметричные ЭДС, следовательно, и напряжения симметричны. Из начала координат под углом $43^{\circ}10'$ в сторону отставания от вещественной положительной оси откладывается напряжение смещения нейтрали $U_0 = 372e^{-j43^{\circ}40'} \text{ В.}$ Длина этого вектора в масштабе 3,72 см.

Соединяя конец вектора напряжения смещения нейтрали с началами векторов фазных напряжений источников, получаем векторы фазных напряжений приемников электрической энергии

$$\dot{U}'_A; \dot{U}'_B; \dot{U}'_C.$$

Точка $0'$, в которой сходятся начала векторов напряжений приемников, есть нейтральная точка приемников электрической энергии, а точка 0 , в которой сходятся начала векторов фазных напряжений источников, есть нейтральная точка источников электрической энергии.

Топографическая диаграмма показана на рис. 1.



ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Тема: Расчет трехфазной несимметричной цепи при соединении приемников «треугольником»

Обучающийся должен

знать:

- соединение вида «треугольник»;
- понятие не симметричной нагрузки, линейный ток, фазный ток, линейное фазное напряжение;
- комплексные числа;

уметь:

- рассчитывать не симметричные цепи при соединении приемников «треугольником» с помощью комплексных чисел;

Задание: Три приемника электрической энергии соединены «треугольником» в цепь трехфазного тока с линейным напряжением.

1. Начертите схему цепи
2. Определите фазные, линейные токи.
3. Активную, реактивную и полную мощности каждой фазы и всей цепи.
4. Задачу решить символическим методом.

Таблица 1. Исходные данные к задаче

Номер варианта	Задаваемые величины				Номер варианта	Задаваемые величины			
	U, В	Z_{AB} , Ом	Z_{BC} , Ом	Z_{CA} , Ом		U, В	Z_{AB} , Ом	Z_{BC} , Ом	Z_{CA} , Ом
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
00, 50	127	$4 - j3$	$3 + j4$	$6 + j8$	25, 75	220	$12 + j9$	135	$12 - j9$
01, 51	660	10	$8 - j10$	$10 + j8$	26, 76	380	$12 + j16$	140	$12 - j16$
02, 52	380	$16 - j12$	$12 + j16$	$32 + j24$	27, 77	660	$16 + j12$	145	$16 - j12$
03, 53	660	$12 - j9$	$9 + j12$	$24 + j18$	28, 78	127	$18 + j24$	150	$18 - j24$
04, 54	127	$4 - j3$	$4 + j3$	$8 + j6$	29, 79	220	$24 + j18$	160	$24 - j18$
05, 55	220	$20 - j15$	$15 + j20$	$40 + j30$	30, 80	380	$4 - j3$	$3 + j4$	$- j4$
06, 56	380	$24 - j18$	$18 + j24$	$48 + j36$	31, 81	660	$5 - j4$	$4 + j5$	$- j6$
07, 57	660	$28 - j21$	$21 + j28$	$56 + j42$	32, 82	127	$6 - j5$	$5 + j6$	$- j8$
08, 58	127	$32 - j24$	$24 + j32$	$64 + j48$	33, 83	220	$7 - j8$	$6 + j7$	$- j10$
09, 59	220	$2 - j1,5$	$1,5 + j2$	$4 + j3$	34, 84	380	$8 - j9$	$7 + j8$	$- j12$
10, 60	380	4	$3 - j4$	$6 + j9$	35, 85	660	$9 - j10$	$8 + j9$	$- j14$
11, 61	660	6	$4 - j3$	$8 + j6$	36, 86	127	$10 - j11$	$9 + j10$	$- j16$
12, 62	127	8	$6 - j8$	$12 + j8$	37, 87	220	$11 - j12$	$10 + j11$	$- j18$
13, 63	220	10	$8 - j6$	$16 + j16$	38, 88	380	$12 - j13$	$11 + j12$	$- j20$
14, 64	380	12	$9 - j12$	$18 + j12$	39, 89	660	$13 - j14$	$12 + j14$	$- j22$
15, 65	660	14	$12 - j9$	$24 + j36$	40, 90	127	$- j4$	$3 + j4$	$4 + j3$
16, 66	127	16	$9 - j16$	$18 + j24$	41, 91	220	$- j6$	$4 + j6$	$6 + j4$
17, 67	220	18	$16 - j12$	$32 + j18$	42, 92	380	$- j8$	$6 + j8$	$8 + j6$
18, 68	380	20	$9 - j9$	$18 + j18$	43, 93	660	$- j10$	$8 + j10$	$10 + j8$
19, 69	660	22	$32 - j24$	$64 + j48$	44, 94	127	$- j12$	$10 + j12$	$12 + j10$
20, 70	127	$3 + j4$	110	$3 - j4$	45, 95	220	$- j14$	$12 + j14$	$14 + j12$
21, 71	220	$4 + j3$	115	$4 - j3$	46, 96	380	$- j16$	$14 + j16$	$16 + j14$
22, 72	380	$6 + j8$	120	$6 - j8$	47, 97	660	$- j18$	$16 + j18$	$18 + j16$
23, 73	660	$8 + j6$	125	$8 - j6$	48, 98	127	$- j20$	$18 + j20$	$20 + j18$
24, 74	127	$9 + j12$	130	$9 - j12$	49, 99	220	$- j22$	$20 + j22$	$22 + j20$

Пример к задаче. Три приемника электрической энергии с комплексами полных сопротивлений:

$$\underline{Z}_{AB} = (8 - j6) \text{ Ом}; \quad \underline{Z}_{BC} = (12 + j16) \text{ Ом}; \\ \underline{Z}_{CA} = (3 + j4) \text{ Ом}$$

соединены треугольником и включены в трехпроводную цепь трехфазного тока с линейным напряжением $U_L = 220 \text{ В}$.

Начертите схему цепи и определите: 1) фазные и линейные токи; 2) активную, реактивную и полную мощности каждой фазы и всей цепи; 3) фазные напряжения, фазные и линейные токи при обрыве фазы BC.

Построить векторную диаграмму фазных и линейных токов и напряжений при наличии трех фаз.

Решение.

Задача решается символическим методом.

1. Сопротивления и напряжения фаз приемника в алгебраической и показательной формах записи комплексов:

$$\underline{Z}_{AB} = 8 - j6 = 10 e^{-j37^\circ} \text{ Ом}; \quad \underline{Z}_{BC} = 12 + j16 = 20 e^{j53^\circ} \text{ Ом}; \\ \underline{Z}_{CA} = 3 + j4 = 5 e^{j53^\circ} \text{ Ом}.$$

При соединении фаз треугольником:

$$\dot{U}_{AB} = 220 e^{j0^\circ} = (220 + j0) \text{ В}; \\ \dot{U}_{BC} = 220 e^{-j120^\circ} = (-110 - j190) \text{ В}; \\ \dot{U}_{CA} = 220 e^{j120^\circ} = (-110 + j190) \text{ В};$$

2. Фазные токи:

$$\dot{I}_{AB} = \frac{\dot{U}_{AB}}{\underline{Z}_{AB}} = 22 e^{j37^\circ} = (17,5 + j13,2) \text{ А};$$

$$\dot{I}_{BC} = \frac{\dot{U}_{BC}}{\underline{Z}_{BC}} = 11 e^{-j137^\circ} = (-10,9 - j1,34) \text{ А};$$

$$\dot{I}_{CA} = \frac{\dot{U}_{CA}}{\underline{Z}_{CA}} = 44 e^{j67^\circ} = (17,2 + j40,5) \text{ А}.$$

3. Линейные токи:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA} = 17,5 + j13,2 - 17,2 - j40,5 = 0,3 - j27,3 = 27,3 e^{-j90^\circ} \text{ А};$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB} = -10,9 - j1,34 - 17,5 - j13,2 = -28,4 - j14,54 = 32 e^{-j153^\circ} \text{ А};$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC} = -17,2 + j40,5 + 10,9 + j1,34 = 28,1 + j41,84 = 50,5 e^{j56^\circ 10'} \text{ А}.$$

4. Активная, реактивная и полная мощности фазы AB:

$$\tilde{S}_{AB} = \dot{U}_{AB} \cdot \dot{I}_{AB} = 220 e^{j0^\circ} \cdot 22 e^{-j37^\circ} = \\ = 4840 e^{-j37^\circ} = (3871 - j2904) \text{ В} \cdot \text{А};$$

$$S_{AB} = 4840 \text{ В} \cdot \text{А}; \quad P_{AB} = 3872 \text{ Вт}; \quad Q_{AB} = -2904 \text{ вар.}$$

5. Активная, реактивная и полная мощность фазы BC:

$$\tilde{S}_{BC} = \dot{U}_{BC} \cdot \dot{I}_{BC} = 220 e^{-j120^\circ} \cdot 11 e^{j173^\circ} = \\ = 2420 e^{j53^\circ} = (1452 + j1936) \text{ В} \cdot \text{А};$$

$$S_{BC} = 2420 \text{ В} \cdot \text{А}; \quad P_{BC} = 1452 \text{ Вт}; \quad Q_{BC} = -1936 \text{ вар.}$$

6. Активная, реактивная и полная мощности фазы CA:

$$\tilde{S}_{CA} = \dot{U}_{CA} \cdot \dot{I}_{CA} = 220 e^{j120^\circ} \cdot 44 e^{-j67^\circ} =$$

$$= 9680 e^{j53^\circ} = (5808 + j7744) \text{ B} \cdot \text{A};$$

$$S_{CA} = 9680 \text{ B} \cdot \text{A}; P_{CA} = 5808 \text{ Bt}; Q_{CA} = 7744 \text{ var.}$$

7. Активная мощность всей цепи:

$$P = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA} = 3872 + 1452 + 5808 = 11132 \text{ Bt.}$$

Активная мощность всей цепи по другой формуле:

$$\begin{aligned} P &= P_{AB} + P_{BC} + P_{CA} = I_{AB}^2 \cdot r_{AB} + I_{BC}^2 \cdot r_{BC} + I_{CA}^2 \cdot r_{CA} = \\ &= 22^2 \cdot 8 + 11^2 \cdot 12 + 44^2 \cdot 3 = 3872 + 1452 + 5808 = 11132 \text{ Bt.} \end{aligned}$$

8. Реактивная мощность всей цепи:

$$Q = Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA} = -2904 + 1936 + 7744 = 6776 \text{ var.}$$

Реактивная мощность всей цепи по другой формуле:

$$\begin{aligned} Q &= Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA} = I_{AB}^2 \cdot r_{AB} + I_{BC}^2 \cdot r_{BC} + I_{CA}^2 \cdot r_{CA} = \\ &= 22^2 \cdot (-6) + 11^2 \cdot 16 + 44^2 \cdot 4 = -2904 + 1936 + 7744 = 6776 \text{ var.} \end{aligned}$$

Сравнивая полученные результаты, можно сделать вывод, что задача решена правильно. Полная мощность всей цепи:

$$\tilde{S} = P + jQ = 11132 + j6776 = 13000 e^{j31^\circ 20'} = 13000 \text{ B} \cdot \text{A.}$$

9. При обрыве фазы BC сопротивление ее равно бесконечности, следовательно, ток в ней равен нулю ($I_{BC}=0$). Токи в фазах AB и CA останутся такими же, как до обрыва фазы BC, вследствие того, что линейные, а, следовательно, и фазные напряжения не изменяются (рис. 1.), то есть

$$\dot{I}_{AB} = 17,5 + j13,2 = 22 e^{j37^\circ} \text{ A}; I_{AB} = 22 \text{ A};$$

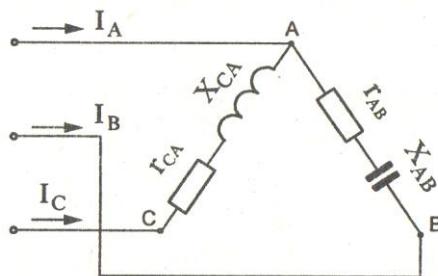
$$\dot{I}_{CA} = 17,2 + j40,5 = 44 e^{j67^\circ} \text{ A}; I_{CA} = 44 \text{ A};$$

Линейные токи при обрыве фазы BC равны:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA} = 17,5 + j13,2 - 17,2 - j40,5 = 0,3 - j27,3 = 27,3 e^{-j90^\circ} \text{ A};$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB} = 0 - 17,5 - j13,2 = -17,5 - j13,2 = 22 e^{-j43^\circ} \text{ A};$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC} = 17,2 + j40,5 - 0 = 44 e^{j67^\circ} \text{ A.}$$



Векторная диаграмма

Для построения векторной диаграммы выбираются масштабы напряжения и тока:

$$m_U = 100 \text{ В/см}; \quad m_I = 10 \text{ А/см.}$$

Длины векторов напряжений: $\overline{U}_{AB} = \overline{U}_{BC} = \overline{U}_{CA} = \frac{220}{100} = 2,2 \text{ см.}$

Длины векторов токов:

$$\overline{I}_{AB} = \frac{|I_{AB}|}{m_I} = \frac{22}{10} = 2,2 \text{ см};$$

$$\overline{I}_{BC} = \frac{|I_{BC}|}{m_I} = \frac{11}{10} = 1,1 \text{ см};$$

$$\overline{I}_{CA} = \frac{|I_{CA}|}{m_I} = \frac{44}{10} = 4,4 \text{ см};$$

$$\overline{I}_A = \frac{|I_A|}{m_I} = \frac{27,3}{10} = 2,73 \text{ см};$$

$$\overline{I}_B = \frac{|I_B|}{m_I} = \frac{31,7}{10} = 3,17 \text{ см};$$

$$\overline{I}_C = \frac{|I_C|}{m_I} = \frac{50,7}{10} = 5,07 \text{ см.}$$

Векторов напряжения совмещаем с вещественной положительной осью, вектор напряжения откладываем в сторону отставания на 120° , а вектор напряжения в сторону опережения вектора напряжения $\overline{U}_{BC} = 220e^{-j120^\circ}$

$$\overline{U}_{AB} = 220e^{j0^\circ}$$

$$\overline{U}_{CA} = 220e^{+j120^\circ}$$

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Тема: Изучение устройства теплового реле

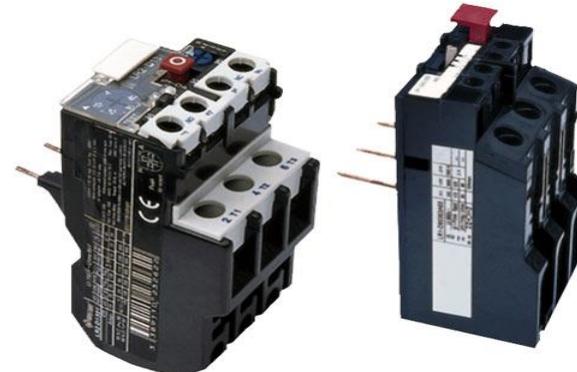
ЗАДАНИЕ:

1. Изучите теоретический материал.

Продолжительность жизни электрического оборудования в значительной степени зависит от перегрузок, которым оно подвергается во время работы. Протекание тока, превышающего номинальный, приводит к дополнительному повышению температуры и дополнительному старению изоляции. Для защиты электрического оборудования от токовых перегрузок применяются **тепловые реле**.

Тепловые реле контролируют температуру электродвигателей, электрических генераторов, различного рода промышленных электроустановок и защищают их от перегрева.

Широкое применение получили тепловые реле с биметаллической пластиной. Они применяются в электроустановках переменного и постоянного тока для автоматического отключения электродвигателя, который работает в продолжительном режиме времени, при возникновении в нём токовой перегрузки.



Следует помнить, что тепловое реле не защищает электродвигатель от короткого замыкания.

Устройство и принцип действия теплового реле

Тепловое реле состоит из спирали (нагревательный элемент), которая при прохождении через неё тока перегрузки нагревается, и биметаллической пластины, установленной рядом со спиралью.

Принцип действия теплового реле основан на использовании деформации биметаллической пластины. Термобиметаллическая пластина состоит из двух слоёв металлов, которые имеют разный коэффициент линейного расширения. При нагревании пластины изгибаются в сторону металла с меньшим коэффициентом расширения и своими концами приводят в действие рычаг, который отключает исполнительный контакт реле с выдержкой времени. Исполнительный контакт теплового реле включается последовательно с катушкой электромагнита контактора, который при его размыкании отключает электродвигатель от электросети. Возврат исполнительного контакта теплового реле в исходное положение производят вручную специальной кнопкой через определённое время после срабатывания реле.

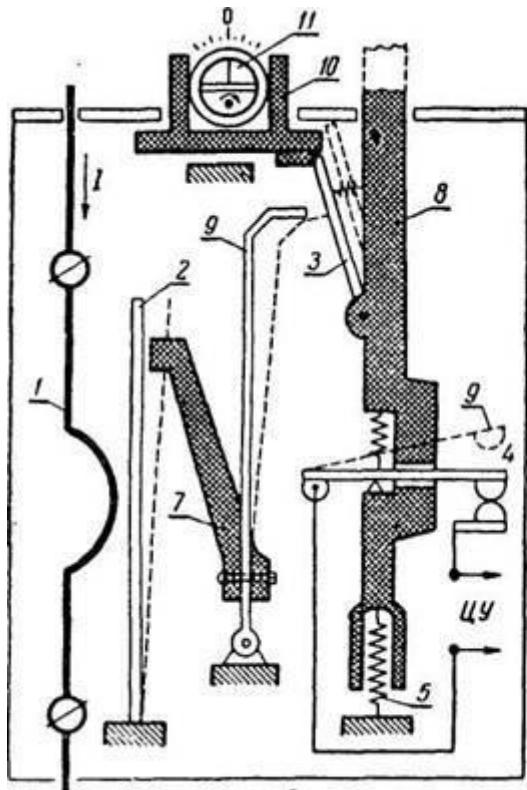


Схема устройства теплового реле типа ТРН:

- 1 - нагревательный элемент;
- 2 - биметаллическая пластина;
- 3 - рычаг;
- 4 - контакты;
- 5 - пружина;
- 6 - кнопка «возврат»;
- 7 - толкатель реле ТРН;
- 8 - штанга расцепителя;
- 9 - биметаллическая пластина температурного компенсатора;
- 10- движок уставки;
- 11 - эксцентрик .

Первая и главная функция теплового реле - это защита электрооборудования от токовой перегрузки.

В зависимости от конструкции, реле могут встраиваться непосредственно в магнитный пускатель. Примеры - тепловые реле РТТ и РТИ .

Правильно подобранные тепловые реле смогут защитить электродвигатель не только от токовой перегрузки, но и от заклинивания ротора, перекоса фаз и от длительного затяжного пуска.

Недостатком тепловых реле является то, что иногда достаточно трудно подобрать реле из имеющихся в наличии, чтобы номинальный ток реле (теплового элемента) соответствовал току защищаемого электрооборудования. Кроме того, следует помнить, что тепловые реле сами требуют защиты от короткого замыкания, поэтому в электрических схемах с их применением необходимо предусматривать автоматические выключатели и предохранители.

Если к тепловой защите электрооборудования не предъявляются каких-то особые требования, то **тепловое реле** и номинальный ток теплового элемента **выбираются** с учётом следующих требований: максимальный ток продолжительного рабочего режима реле не должен быть меньше номинального тока защищаемого электрооборудования; ток установки реле должен быть равен номинальному току защищаемого двигателя или несколько больше (в пределах 5%) ; должен быть как можно больший запас на регулировку тока установки реле в обе стороны.

2. Ответьте на вопросы:

- а) Назначение теплового реле.
- б) Устройство и принцип работы теплового реле.
- в) Почему тепловое реле не используют для защиты от коротких замыканий?
- г) Почему время срабатывания теплового реле не ранее 5 секунд?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Тема: Изучение устройства магнитного пускателя.

Задание:

1. Изучите теоретический материал.

Магнитные пускатели переменного тока предназначены в основном для дистанционного управления асинхронными электродвигателями. Осуществляют также нулевую защиту, т. е. при исчезновении напряжения или его снижении на 40-60% от номинального магнитная система отпадает и силовые контакты размыкаются. В комплекте с тепловым реле пускатели выполняют также защиту электродвигателей от перегрузок и от токов, возникающих при обрыве одной из фаз.

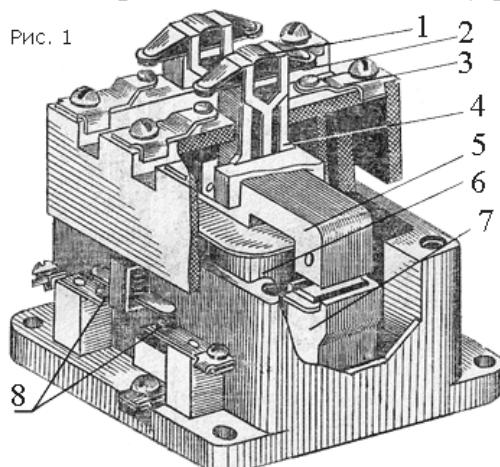
Наиболее распространенные серии пускателей с контактной системой и электромагнитным приводом: ПМЕ, ПМА, ПА*, ПВН, ПМЛ, ПВ, ПАЕ*, ПМ12.

Пускатели выпускаются в открытом, защищенном и пылебрызгонепроницаемом исполнениях, с тепловыми реле и без них, бывают реверсивными и нереверсивными.

* - ПА, ПАЕ сняты с производства в прошлом веке.

Пускатели серии ПМЕ

Устройство. Внутри корпуса пускателя (рис. 1) размещена электромагнитная система, включающая в себя неподвижную Ш-образную часть сердечника 7 и обмотку 6, намотанную на катушку. Сердечник набран из изолированных друг от друга (для уменьшения потерь от вихревых токов) листов электротехнической стали. Подвижная часть сердечника 5 (якорь) соединена с пластмассовой траверсой 4, на которой смонтированы контактные мостики 2 с подвижными контактами. Плавность замыкания контактов и необходимое усилие нажатия обеспечиваются контактными пружинами 1. Неподвижные контакты припаяны к контактным пластинам 3, снабженным винтовыми зажимами для присоединения проводов внешней цепи. Кроме главных контактов, пускатели имеют дополнительные (блокировочные) контакты 8, расположенные на боковых поверхностях аппарата. Главные контакты закрыты крышкой, защищающей их от загрязнения, случайных прикосновений и междуфазных замыканий.



Пускатели серии ПА, ПАЕ

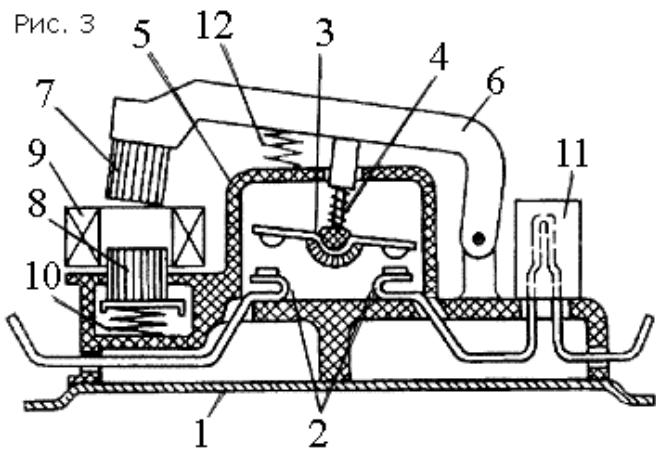


Рис. 3 Конструктивная схема пускателя ПАЕ 311

1 - металлическое основание;
2, 3 - неподвижные и подвижные мостиковые контакты;
4 - контактная пружина;
5 - закрытая дугогасительная камера;
6 - траверса;
7 - якорь электромагнита;

8 - катушка электромагнита;
9 - магнитопровод электромагнита;
10 - амортизирующие пружины;
11 - тепловое реле;
12 - отключающая пружина.

Принцип действия

Принцип действия пускателя заключается в следующем: при включении пускателя по катушке проходит электрический ток, сердечник намагничивается и притягивает якорь, при этом главные контакты замыкаются, по главной цепи протекает ток. При отключении пускателя катушка обесточивается, под действием возвратной пружины якорь возвращается в исходное положение, главные контакты размыкаются.

При отключении магнитного пускателя вследствие перебоев в электроснабжении размыкаются все его контакты, в том числе и вспомогательные. При появлении напряжения в сети пускатель не включается до тех пор, пока не будет нажата кнопка "Пуск". То же происходит, если напряжение в сети снижается до 50-60% номинального.

Если электродвигатель включается рубильником, пакетным выключателем или контроллером, то при перебое в электроснабжении и остановке двигателя схема не нарушится, при восстановлении напряжения двигатель самопроизвольно включится в сеть. Такой самопроизвольный пуск двигателя может явиться причиной аварии или несчастного случая.

При **выборе** магнитных пускателей прежде всего необходимо обращать внимание на наибольшую допустимую мощность электродвигателя, работой которого будет управлять пускатель. Если магнитный пускатель управляет работой двигателя большей мощности, чем указано в паспорте пускателя, то контактная система пускателя быстро выйдет из строя. Кроме того, необходимо обращать внимание на напряжение, указанное на втягивающей катушке. Если подать

напряжение большее, чем номинальное напряжение катушки, то последняя сгорит при первом же включении магнитного пускателя.

2. Ответьте на вопросы:

- а) Назначение магнитного пускателя.
- б) Устройство магнитного пускателя.
- в) Принцип работы магнитного пускателя.
- г) Маркировка магнитных пускателей.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Тема: Изучение устройства автоматического выключателя

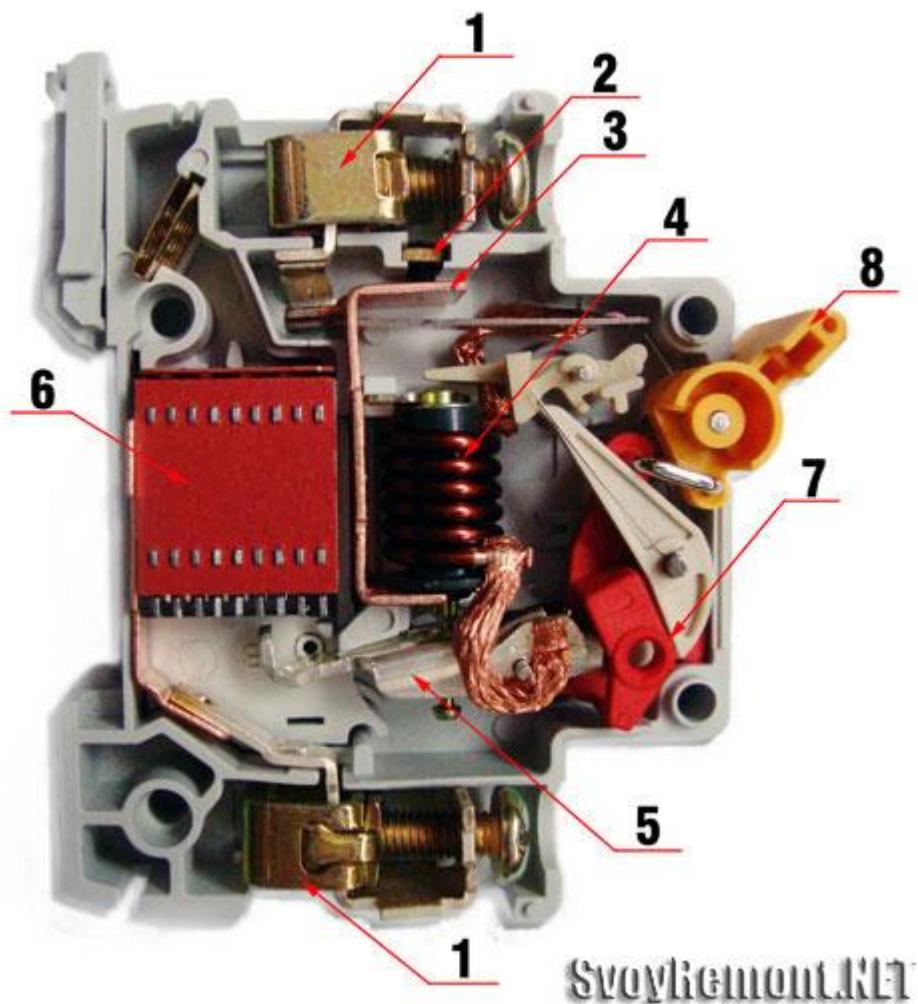
Задание:

1. Изучите теоретический материал и образцы приборов.

Автоматический выключатель предназначен для защиты электрических цепей от перегрузки и токов короткого замыкания.

По принципу работы и устройству, автоматические выключатели той или иной фирмы практически не отличаются, отличается только качество применяемых материалов.

Рассмотрим более детально конструкцию однополюсного автомата:



1. Винтовые клеммы
2. Регулировочный винт теплового расцепителя
3. Биметаллическая пластина (тепловой расцепитель)
4. Соленоид (электромагнитный расцепитель)
5. Подвижный контакт
6. Дугогасительная камера
7. Механизм расцепления
8. Рычаг управления

Принцип работы автоматического выключателя

Электрический ток подается через подводящий провод, который подключается к верхней клемме, проходит через биметаллическую пластину, затем через гибкий проводник на катушку соленоида, с катушки через гибкий проводник на подвижный контакт, а затем уходит через нижнюю винтовую клемму на подключенную электросеть.

При перегрузке, биметаллическая пластина нагревается, вследствие чего изгибается и приводит в действие механизм расцепления, автоматический выключатель отключается.

При коротком замыкании, ток большой силы проходит через катушку соленоида, создается электромагнитное поле, которое заставляет сердечник (шток) соленоида резко дернуться вверх, привести в действие механизм расцепления и отключить автоматический выключатель. При размыкании подвижного контакта образуется дуга, которая направляется в дугогасительную камеру и затухает.

2. Ответьте на вопросы:

- а) Назначение и устройство автоматического выключателя.**
- б) Принцип работы автоматического выключателя.**
- в) Марки автоматических выключателей.**

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Тема: «Исследование электрической цепи при последовательном соединении сопротивлений»

Цель работы: Опытным путем проверить основные соотношения между электрическими величинами в простой цепи постоянного тока с несколькими сопротивлениями,ключенными последовательно.

Норма времени: 2 часа

Программа работы:

Проверить соотношения: 1.
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$
 2. $U = U_1 + U_2$

3. $R = R_1 + R_2$ 4. $P = P_1 + P_2$

5. Убедиться, что при включении тока в цепи напряжение на зажимах источника питания уменьшается.

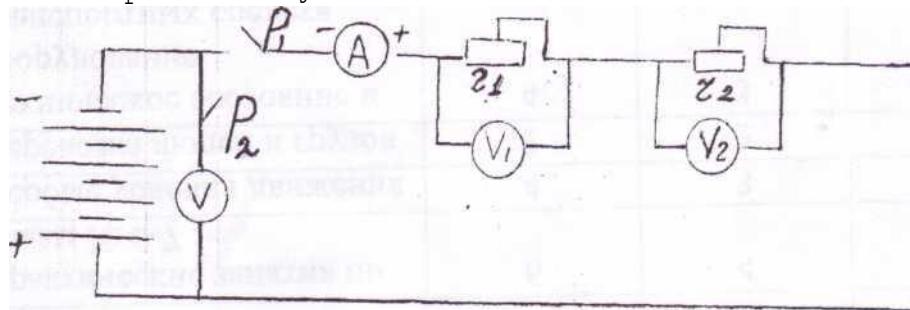
Содержание и порядок выполнения работы

- Перед монтажом схемы необходимо ознакомиться с имеющимися в работе приборами, источниками питания и магазином сопротивлений. При этом нужно выяснить какие зажимы элементов цепи соответствуют тем или иным точкам электрической схемы и в какие положения должны быть поставлены движок рычажного реостата и штекеры магазина сопротивлений.

Перечень оборудования:

E – источник ЭДС 4 элемента – 1,5-3с-л-30
(A) – амперметр типа М362 на 0,5 А
(ζ_1) – реостат рычажный на 1-10 Ом
(ζ_2) – магазин сопротивлений штепсельный на 10-100 Ом
 P_1, P_2 – рубильники
(V) – вольтметр типа М 45М на 3-300 В
(V_1) – вольтметр школьный до 4 В
(V_2) – вольтметр школьный до 4 В

2. Собрать схему



Необходимо всегда стремиться к такому соединению элементов электрической схемы, чтобы цепь получилась наиболее простой и наглядной. Расположить аппаратуру на рабочем столе, как указано на схеме, причем приборы так, чтобы отчет был удобным и не требовал лишних движений или неудобных положений для наблюдения. При сборке электрической цепи надо сначала соединить главную (последовательную) цепь, а затем параллельные ветви.

Монтаж электрической цепи производит один из членов бригады, другие члены проверяют собранную цепь.

- Проверка электрической цепи производится путем обхода главного контура, а затем всех параллельных ветвей. В заключение проверки необходимо убедиться в достаточной надежности всех зажимов и правильном положении штекеров, реостатов, а так же в том, чтобы стрелки всех измерительных приборов стоят на нулевых отметках шкалы.
- Представить схему для проверки преподавателю.
- Замерить ЭДС батареи первичных элементов. Для этого нужно включить рубильник P_2 (рубильник P_1 разомкнут). Число делений, которые покажет стрелка вольтметра занести в графу 10 таблицы, умножить количество делений на цену деления и полученный в вольтах результат измерений занести в графу 11.

Таблица

№ п/п	R ₁ Ом		R ₂ Ом		R ₃ =0 Ом	I	U ₁ , В	U ₂ В	U _в В		P ₁ Вт	P ₂ Вт	P ₃ Вт
	Устан.	По расчету	Устан.	По расчету					По прибору	По прибору			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1.													
2.													
3.													

6. Поочередно установить в цепи:

$$\begin{aligned} R_1 &= 10 \text{ Ом} & R_2 &= 10 \text{ Ом} \\ R_1 &= 5 \text{ Ом} & R_2 &= 10 \text{ Ом} \end{aligned}$$

Включая рубильник P_1 списать показания всех приборов и заносить их в таблицу гр. 7-11.

Установку сопротивлений в каждом пункте производить при отключенном рубильнике P_1 .

7. Проверить соотношения $U = U_1 + U_2$
8. По закону Ома определить сопротивления: R_1 . R_2 . R_3 с установленными значениями проверить соотношения по расчету: $R_{\text{общ}} = R_1 + R_2$
9. Проверить соотношения:
$$U_1 / U_2 = R_1 / R_2$$

Контрольные вопросы:

1. Чем характерно последовательное соединение сопротивлений?
2. Объяснить, почему напряжение на зажимах источника питания в п.2 меньше, чем в п.1, но больше, чем в 3.

Содержание отчета:

1. Наименование работы
2. Цель работы.
3. Оборудование и приборы
4. Таблицы
5. Ответы на контрольные вопросы
6. Выводы

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Тема: «Проверка свойств электрической цепи параллельно соединенных сопротивлений»

Цель работы: Опытным путем проверить основные соотношения между электрическими величинами в простой цепи постоянного тока с несколькими сопротивлениями,ключенными параллельно.

Норма времени: 2 часа

Программа работы: 1. Проверить соотношения:
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

2. Проверить соотношения: $I = I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5$

3. Убедиться, что для частного случая:

$$I_1 = I \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad ; \quad I_2 = I \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

4. Убедиться, что при увеличении общего тока в цепи, напряжение на зажимах источника питания уменьшается.

Содержание и порядок выполнения работы:

1. Перед монтажом схемы необходимо ознакомиться с имеющимися в работе приборами, источниками питания и сопротивлениями. При этом нужно выяснить какие зажимы элементов цепи соответствуют тем или иным точкам электрической схемы и в какие положения должны быть поставлены штекеры магазинов сопротивлений.

Перечень оборудования:

Е – источник ЭДС 6 элементов 1,3 – НВМИ – 150 – соединенных групповым способом.

(V) – вольтметр школьный до 4 В

P₁ P₂ P₃ P₄ P₅ - рубильники.

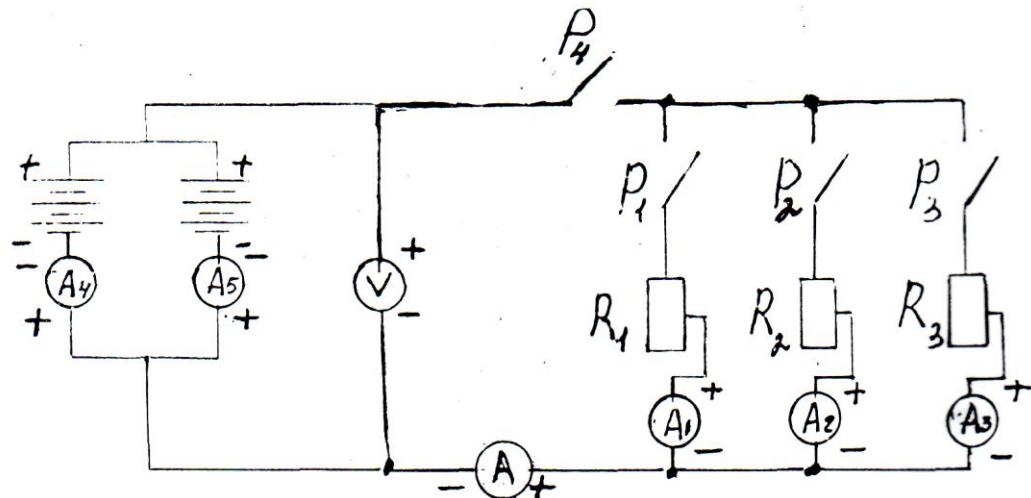
R₁ – магазин сопротивлений штепсельный на 10 Ом

R₂ – сопротивление 2 Ом

R₃ – магазин сопротивлений штепсельный на 100 Ом

(A₁) (A₂) (A₃) (A₄) (A₅) (A) - амперметры школьные на 2А

2. Собрать схему:



Необходимо всегда стремиться к такому соединению элементов электрической цепи, чтобы она получилась наиболее простой и наглядной. Расположить аппаратуру на рабочем столе как указано на схеме, причем приборы так, чтобы отчет был удобным и не требовал лишних движений или неудобных положений для наблюдения. При сборке электрической цепи надо сначала соединить главную (последовательную) цепь, а затем параллельные ветви. Монтаж электрической цепи производят один из членов бригады, другие члены бригады проверяют собранную цепь.

3. Проверка электрической цепи производится путем обхода главного контура, а затем всех параллельных ветвей. В заключении проверки необходимо убедиться в достаточной надежности всех зажимов и правильном положении штекеров реостатов, а также в том, чтобы стрелки всех измерительных приборов стояли на нулевых отметках шкалы.

4. Представить схему для проверки преподавателю.

5. Замерить ЭДС батареи первичных элементов. Для этого нужно выключить рубильник P_5 (рубильник P_4 разомкнут).

Полученный в вольтах результат измерений занести в графу 10.

6. Поочередно в цепи устанавливать:

a) $R_1 = 5 \text{ Ом}$ (гр.2)

(гр.4)

б) $R_1 = 5 \text{ Ом}$

$R_2 = 2 \text{ Ом}$ (гр.3)

$R_2 = 2 \text{ Ом}$

$R_3 = 40 \text{ Ом}$

$R_3 = \infty$

Включая рубильник R_4 , списать показания всех приборов и заносить их в таблицу. Установку сопротивлений в каждом пункте производить при отключенном рубильнике P_4 .

7. Проверить соотношение:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5$$

8. Определить общее сопротивление цепи для обоих случаев, для чего:

а) Определить проводимость каждой ветви (гр. 6-7-8)

б) Определить проводимость всей цепи (гр.6)

в) Определить общее сопротивление (гр.5)

9. Проверить соотношение:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

10. Для второго случая (частного) убедиться, что

$$I_1 = I \cdot \frac{r_2}{r_1 + r_2}; \text{ а } I_2 = I \cdot \frac{r_1}{r_2 + r_1};$$

Контрольные вопросы:

1. Чем характерно параллельное соединение
2. Объяснить, почему напряжение на зажимах источника питания в пункте 2-ом меньше, чем в 1-ом, но больше, чем в 3-ем.

Содержание отчета:

1. Наименование работы
2. Цель работы
3. Оборудование и приборы
4. Таблицы
5. Ответы на контрольные вопросы
6. Выводы

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Тема: «Резонанс напряжений»

Цель работы: Опытным путем получить в цепи резонанс напряжений, провести исследование этого режима, научиться строить векторные диаграммы.

Норма времени: 2 часа

Необходимые приборы и оборудование

Магазин емкости на 8 мкФ – 2 шт.

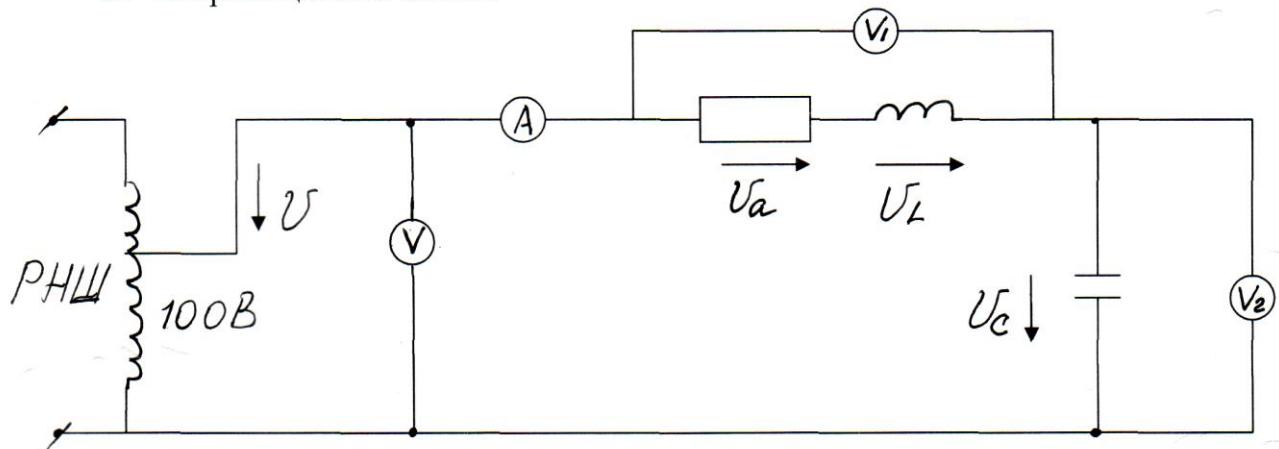
Катушка индуктивности $W = 2400 \text{ В; } L = 0,7 \text{ гн. } \mathcal{L}_K = 350 \text{ Ом}$

Амперметр Э 421 на 1А

Вольтметр Э 330 на 250 В – 2 шт.

Программа работы

1. Ознакомиться с приборами и оборудованием на рабочем месте. Записать основные технические данные приборов и оборудования.
2. Собрать цепь по схеме:



3. Дать проверить цепь преподавателю.

Установить с помощью автотрансформатора напряжение на зажимах цепи $U = 100 \text{ В.}$

4. При неизменном напряжении ($U = 100 \text{ В}$) записать показания приборов при изменении емкости от 15 мкФ до 25 мкФ

Путем изменения емкости, получить резонанс напряжений.

Условие резонанса:

$$X_L = X_C \quad U_a = \sqrt{U^2 - (U_L - U_C)^2} = 100 \text{ В}$$

5. Вычислить емкость, зная параметры катушки

6. По полученным данным вычислить:

$$F = 50 \text{ Гц}$$

7. Результаты опытов и расчётов и записать в таблицу.

№ п/п	Из опыта							Из расчётов							
	C	I	U	U _L	U _C	X _C	X _L	Z _K	Z	P	Q	S	cosφ	φ	X _C
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1															
2															

8. Для трёх значений реактивного сопротивления конденсатора:

$$X_C > X_L$$

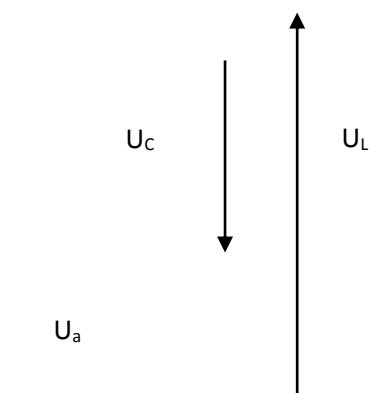
$$X_C = X_L$$

$$X_C < X_L$$

Построить в масштабе векторные диаграммы и треугольники сопротивлений цепи.

Контрольные вопросы:

- Почему при резонансе напряжений напряжение на активном сопротивлении равно приложенному.
- Где используется резонанс напряжений
- Чем опасен резонанс напряжений
- В каких электрических цепях может возникнуть резонанс
- Какое напряжение мы измеряем вольтметром U₁ и U₂ на векторной диаграмме:



Содержание отчёта:

- Наименование работы
- Цель работы
- Оборудование и приборы
- Таблицы
- Ответы на контрольные вопросы
- Выводы

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Тема: «Исследование неразветвленной цепи переменного тока с активным, индуктивным и емкостным сопротивлением»

Цель работы: Научиться рассчитывать цепь переменного тока, с параметрами различного характера, подбирать измерительные приборы и строить векторные диаграммы.

Норма времени: 2 часа

1. Подготовка к работе:

1. Данные:

Напряжение сети $U = 220 \text{ В}$

Сопротивление реостата $Z = 150 \text{ Ом}$

Сопротивление катушки $\gamma_k = 31 \text{ Ом}$ на 2400 витков

$L = 0,7 \text{ Гн}$

Емкость $C_1 = 32 \text{ МкФ}$ $C_2 = 6 \text{ МкФ}$

Частота сети $f = 50 \text{ Гц}$

2. Определить индуктивное и полное сопротивление катушки и занести в таблицу гр.3.

3. Определить емкостное сопротивление X_{c1} ; X_{c2} и занести в таблицу гр. 3.

4. Построить для обоих случаев расчетные треугольники сопротивлений, по которым определить Z_1 и Z_2 и занести в таблицу гр. 3.

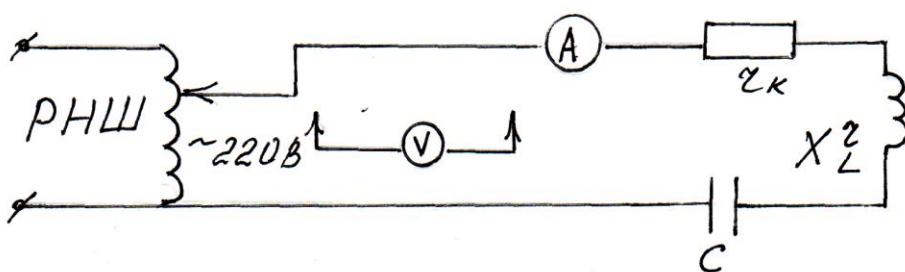
5. определить расчетные токи для обоих случаев и занести их в таблицу гр.4.

6. Определить падения напряжения на каждом участке цепи и занести их в таблицу гр.6.

2. Порядок проведения работы:

1. Результаты подготовки дать проверить преподавателю.

2. Собрать цепь по схеме.



3. Дать проверить цепь преподавателю.
4. Установить автотрансформатор (РНШ) напряжение на зажимах цепи $U=220 \text{ В}$.
5. Замерить напряжения на элементах цепи и токи в каждом случае, результаты измерений занести в таблицу.

При сдвиге фаз	Участке цепи	Сопротивления (расчетные) Ом	I A		V B	
			Расчёт.	Опыт	Расчёт.	Опыт
1	2	3	4	5	6	7
	Реостат	$r = ;$				
	Катушка	$r_k; X_L;$				
	Конденсатор					
	Вся цепь					
	Реостат	$r = ;$				
	Катушка	$r_k; X_L;$				
	Конденсатор					
	Вся цепь					

Контрольные вопросы:

1. По опытным данным прстроить треугольники напряжений.

Примечание: при откладывании на векторной диаграмме падения напряжения на катушке, нужно учесть угол ϕ_k (определить

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Тема: «Проверка опытным путем метода наложения»

Цель работы: Опытным путем убедиться в справедливости принципа наложения и первого правила Кирхгофа»

Норма времени: 2 часа

Перечень необходимого оборудования и приборов:

Источник питания (аккумуляторная батарея 10 ЖН-22)

сопротивление 13 Ом – 3 компл.

Переключатель на 2 положения - 2 шт.

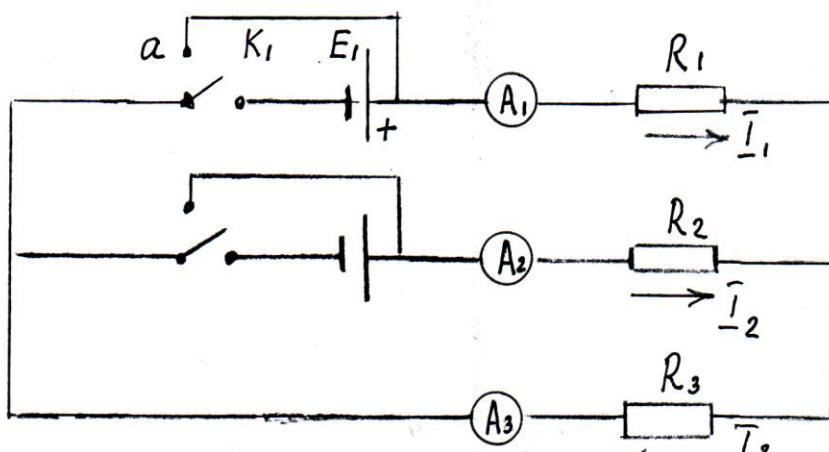
Амперметр типа М362 на 500 ма – 3 шт.

Вольтметр М4200 до 7,5 В

Программа работы:

1. Ознакомиться с оборудованием на рабочем месте. Записать технические данные приборов и оборудования.
2. Измерить вольтметром ЭДС каждого источника взяв в качестве источника E_1 четыре последовательно соединенных аккумулятора E_2 – соответственно три аккумулятора.
3. Собрать цепь по схеме и показать ее руководителю. Во время сборки схемы следить чтобы переключатели были в нейтральном положении.
4. Установить $R_1 = 10 \text{ Ом}$, $R_2 = 5 \text{ Ом}$, $R_3 = 10 \text{ Ом}$
5. Установить рубильник K_1 в положение «б», а рубильник K_2 – в положение «а». Записать показания амперметров (I_1 , I_2 , I_3).

Схема цепи



6. Установить ключ K_1 в положение «а», ключ K_2 – в положение «б», предварительно поменяв местами зажимы на амперметрах A_1 и A_2 . Записать показания амперметров (I_1' , I_2' , I_3' ,).

7. Поменяв местами зажимы на амперметре A_1 , установить ключи K_1 и K_2 в положение «б» и записать показания амперметров (I_1 , I_2 , I_3 ,).

8. Определить токи (I_1 , I_2 , I_3 ,) методом наложения измеренных токов $I_1 = I_1' - I_1'$; $I_2 = -I_2' + I_2''$; $I_3 = I_3', I_3''$.

Сравнить результаты полученные с замеренными в пункте 7.

9. Определить все токи (I_1' , I_2' , I_3' , I_1'' , I_2'' , I_3'' , I_1 , I_2 , I_3) расчетным путем, зная $E_1 E_2$ и $R_1 R_2 R_3$. Сравнить результаты расчета с результатами опыта.

10. Данные опыта и расчета записать в таблицу.

Таблица

Способы определения тока	I_1'	I_2'	I_3'	I_1''	I_2''	I_3''	I_1	I_2	I_3
	A	A	A	A	A	A	A	A	A
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Опытный									
Расчетный									

Содержание отчета:

1. Наименование работы
2. Цель работы
3. Оборудование и приборы
4. Таблицы
5. Ответы на контрольные вопросы
6. Выводы

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Тема: «Резонанс токов»

Цель работы: Опытным путем получить в цепи резонанс токов, провести исследование этого режима, построить векторные диаграммы.

Норма времени: 2 часа

Необходимые приборы и оборудование

Магазин емкости на 8 мкФ – 3 шт.

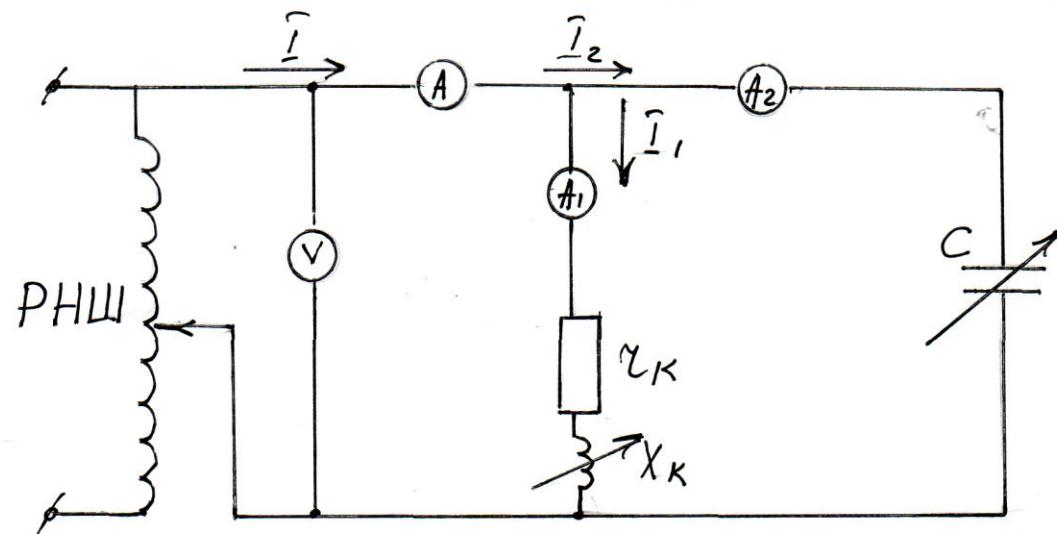
Катушка индуктивности $W = 2400$ В; $\mathcal{L}_k = 35$ Ом $L = 0,7$ Гн

Амперметр Э421 на 0,3 А

Амперметр Э421 на 1 А – 2 шт

Программа работы:

1. Ознакомиться с приборами, необходимыми для выполнения работы. Записать основные технические данные приборов, конденсатора, катушки индуктивности.
2. Собрать цепь по схеме и показать ее руководителю.



3. Установить емкость $C = C_1 + C_2 + C_3 = 7$ мкФ
4. С помощью автотрансформатора установить напряжение на зажимах цепи $U = 220$ В
5. При постоянной емкости изменять индуктивность катушки путем выдвижения в нее стального сердечника. Резонанс тока наступает при наименьшем значении общего тока. Необходимо записать показания приборов при пяти значениях индуктивности (два – до резонанса, резонанс, и два – после резонанса)
6. По полученным данным, зная \mathcal{L}_k , вычислить:
 $Z_k, X_k, q_k, B_k, X_C, B_C, U, \cos \varphi_k, \cos \varphi, P_k, Q_k, Q_C, P_u Q$
7. Результаты наблюдения и расчетов записать в таблицу №1

Таблица 1

№ п/п	U _{об}	I _{об}	I _L	I _C	B _K	X _C	B _C	cos φ	Q _L	Q _C	Q
	B	A	A	A	СИМ	ОМ	СИМ	-	Bар	Bар	Bар

8. При трех значениях проводимости B_K

$$B_X > B_C \quad B_X = B_C \quad \text{и} \quad B_X < B_C$$

Построить в масштабе векторные диаграммы токов и проводимостей.

9. По полученным данным построить графики: $I_1 = f(I_2)$; $I = f(I_2)$; $\cos \varphi = f(I_2)$

Контрольные вопросы:

1. Где применяется резонанс токов и с какой целью.
2. Объяснить энергетический процесс при резонансе.
3. Что такое и при каком условии может возникнуть контур без потерь.
Существует ли реально контур без потерь.

Содержание отчета:

1. Наименование работы
2. Цель работы
3. Оборудование и приборы
4. Таблицы
5. Ответы на контрольные вопросы
6. Выводы

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Тема: «Исследование цепи трехфазного тока при соединении приемников звездой»

I. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- Изучения различных режимов работы трехфазной цепи при включении приемников по схеме "звезда":
 - равномерная активная нагрузка;
 - неравномерная нагрузка;
 - неравномерная активная, индуктивная и ёмкостная нагрузка.
- Приобретение навыков построения топографических (векторных) диаграмм токов и напряжений.
- Экспериментальное исследование соотношений линейных и фазных напряжений.

II. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

При соединении потребителей фазные напряжения U_A, U_B, U_C не равны линейным напряжениям U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} . Эти напряжения связаны между собой векторными уравнениями.

$$\begin{aligned}\bar{U}_{AB} &= \bar{U}_A - \bar{U}_B \\ \bar{U}_{BC} &= \bar{U}_B - \bar{U}_C \\ \bar{U}_{CA} &= \bar{U}_C - \bar{U}_A\end{aligned}$$

При симметрии соответственно линейных и фазных напряжений существует зависимость $U_K = \sqrt{3}U_\phi$.

Если $Z_A = Z_B = Z_C = Z_\phi$, сдвиги фаз $\varphi_A, \varphi_B, \varphi_C$ между фазными напряжениями и соответствующими фазными токами равны между собой, нагрузку называют симметричной.

При симметричной нагрузке

$$\bar{U}_A = \bar{U}_B = \bar{U}_C \quad \bar{I}_A = \bar{I}_B = \bar{I}_C = \bar{I}_\phi = \frac{\bar{U}_\phi}{Z_\phi}$$

сдвиги фаз определяются по формуле $\varphi = \arctg\left(\frac{X}{R}\right)$

При соединении «звездой» $I_L = I_\phi$

Ток в нейтральном проводе $\bar{I}_O = \bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C$

При симметричной активно – индуктивной нагрузке $\bar{I}_O = \bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C = 0$, т.е. нейтральный провод не нужен.

При симметричной активной нагрузке

$$P = 3P_\phi = 3U_\phi I_\phi \cos \varphi_\phi \quad \text{или} \quad P = \sqrt{3}U_L I_L \cos \varphi_\phi$$

Если $Z_A \neq Z_B \neq Z_C$; $\varphi_A \neq \varphi_B \neq \varphi_C$ нагрузка несимметричная, в нейтральном проводе $\bar{I}_O \neq 0$ – и определяется по векторной диаграмме $\bar{I}_O = \bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C$, т.е. обязательно нужен нулевой провод.

Для несимметричной нагрузки активная мощность:

$$P = P_A + P_B + P_C$$

III. ПРОГРАММА ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Собрать схему с симметричной активной нагрузкой. Включить цепь к трехфазному источнику и, регулируя сопротивления фаз R_A , R_B , R_C , добиться одинаковых показаний фазных амперметров A_1 , A_2 , и A_3 . С помощью амперметра проверить отсутствие тока в нейтральном проводе, затем его отключить и убедиться в возможности нормальной работы трёхфазной симметричной системы без этого провода. Данные измерения фазных и линейных величин занести в таблицу.

2. Плавным (или ступенчатым) регулированием сопротивления R_A , R_B , R_C отдельных фаз потребителя установить неравномерную нагрузку при включённом нейтральном проводе определяет степень не симметрии фазных токов. Результаты измерений занести в таблицу.

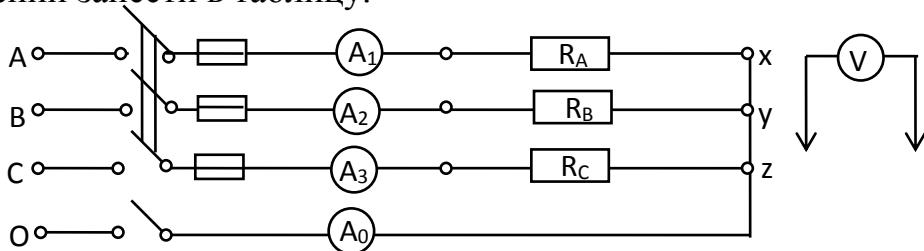


Рис-2.23

3. Сохранив параметры цепи по п. 2, отключить нейтральный провод и измерить токи в фазах, напряжения между точками обрыва нейтрала (смешение нейтрали). Убедиться в нарушении фазных напряжений и появлении между нейтралами источника и приёмника. Данные измерений занести в таблицу.

4. Отключить цепь от источника и заменить активные сопротивления A , B и C на индуктивные и ёмкостные соответственно (или наоборот). Восстановить соединение нулевого провода и, изменяя параметра R_A , L и C добиться приближённого равенства токов $I_A=I_B=I_C$. Убедиться в том, что даже точное равенство фазных токов по действующим величинам не обеспечивает отсутствие тока в нулевом проводе. Данные измерения занести в таблицу. Записать также данные при обрыве нейтрали.

5. Составить в масштабе топографические векторные диаграммы токов и напряжений для всех режимов работы цепи по п.п 1- 4. Сравнить величину нулевого тока, полученного из векторной диаграммы и данные измерений.

6. Сделать выводы по вопросам:

- а) назначение нулевого провода;
- б) понятие симметрии трехфазной цепи- строгой и условной.

4. Смешанные R, L, C с нулевым проводом										
5. Тоже без нулевого провода										

IV. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие существуют способы соединения трехфазных цепей, в каких случаях они применяются?
2. Какое назначение нулевого провода?
3. Что такая равномерная и неравномерная трехфазная нагрузка?
4. В каком случае трехфазные токи и напряжения образуют симметричную систему?
5. Что такое чередование фаз трехфазной системы, и как оно влияет на ток в нейтральном проводе при смешанной нагрузке?
6. Как изменяются фазные напряжения и токи в симметричной трехфазной цепи, если один и тот же трехфазный потребитель переключить со «звезды» на «треугольник»?
7. Почему в четырех проводных линиях трехфазный цепей нейтральный провод имеет меньший диаметр (сечение), чем фазные провода?
8. Привести примеры симметричных трехфазных потребителей, известные вам из практики.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Тема: «Исследование цепи трехфазного тока при соединении приемников треугольником»

I. Цель работы:

1. Изучение различных режимов работы трехфазной цепи при включении приемников энергии по схеме "треугольник":
 - а) симметричная активная нагрузка,
 - б) несимметричная активная нагрузка,
 - в) отключение отдельных фаз и обрыв линейного провода.
2. Экспериментальное исследование соотношений между линейными и фазными токами.
3. Приобретение навыков построения векторных диаграмм токов и напряжений.

II. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ.

Каждая фаза потребителя при соединении «треугольником» подключена к двум линейным проводам. Поэтому независимо от значения и характера сопротивлений потребителей каждое фазное напряжение равно соответствующему линейному напряжению

$$U_\phi = U_L$$

Ток каждого потребителя, входящего в соединение треугольника, является фазным

$$I_\phi = \frac{U_\phi}{Z_\phi} \quad \text{или} \quad \bar{I}_{AB} = \frac{\bar{U}_L}{Z_{AB}}$$

Фазные токи $\bar{I}_{AB}, \bar{I}_{BC}, \bar{I}_{CA}$ в общем случае не равны линейным токам I_A, I_B, I_C . По первому закону Кирхгофа к узловым точкам А, В, С можно получить

$$\bar{I}_A = \bar{I}_{AB} - \bar{I}_{CA}$$

$$\bar{I}_B = \bar{I}_{BC} - \bar{I}_{AB}$$

$$\bar{I}_C = \bar{I}_{CA} - \bar{I}_{BC}$$

При симметричной нагрузке

$$Z_{AB} = Z_{BC} = Z_{CA} = Z_\phi$$

$$\varphi_{AB} = \varphi_{BC} = \varphi_{CA} = \varphi$$

$$\bar{U}_{AB} = \bar{U}_{BC} = \bar{U}_{CA}$$

$$\bar{I}_{AB} = \bar{I}_{BC} = \bar{I}_{CA}$$

$$\varphi = \arctg \frac{X}{R}$$

$$I_L = \sqrt{3} I_\phi$$

При несимметричной нагрузке $Z_{AB} \neq Z_{BC} \neq Z_{CA}$ $\varphi_{AB} \neq \varphi_{BC} \neq \varphi_{CA}$ нарушается симметрия фазных и линейных токов.

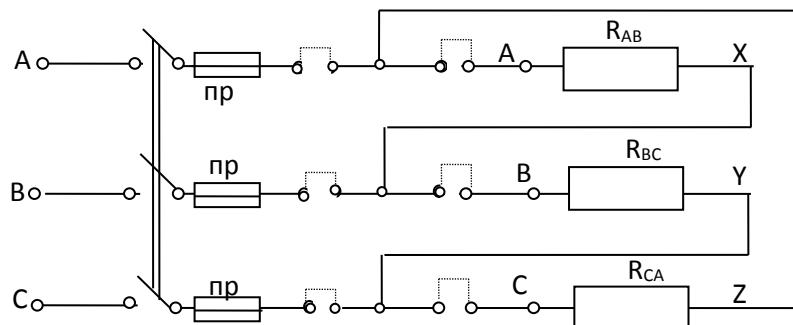
Обрыв линейного провода нарушает нормальный режим 3^x фазной цепи. При этом потребители одной фазы находятся при номинальном фазном напряжении, а потребители двух других фаз оказываются последовательно соединенными и находятся под этим же напряжением.

Изменение нагрузки одной из фаз вызывает изменение фазного тока и 2^x линейных токов, но не влияет на фазные напряжения и токи других фаз и на 3^x линейный ток.

III. ПРОГРАММА ИССЛЕДОВАНИЙ.

1. Собрать схему с равномерной активной нагрузкой. Подключить цепь к трехфазному источнику и регулируя сопротивления R_{AB} , R_{BC} , R_{CA} , добиться равенства фазных токов. Измерить фазные и линейные токи и напряжения.

Убедиться в том, что. Данные измерений фазных и линейных величин занести в таблицу.



2. Отключить одну из фаз трехфазного потребителя и данные измерений занести в таблицу.

3. Отключить две фазы трехфазной нагрузки и данные измерений занести в таблицу.

4. При включенных фазных сопротивлениях, отключить один из линейных проводов и данные измерений, аналогичных в п. 1, занести в таблицу.

5. Регулируя сопротивления R_{AB} , R_{BC} и R_{CA} , добиться неравенства фазных токов I_{AB} , I_{BC} , I_{CA} (неравномерная активная нагрузка) и данные измерений занести в таблицу.

6. Пользуясь данными таблицы 4 - 1, вычислить соотношения между линейными и фазными токами и построить топографические векторные диаграммы (в масштабе) для всех режимов работы цепи по п.п. 1-5.

7. Сделать следующие выводы:

а) О влиянии несимметрии трехфазной нагрузки на симметрию фазных напряжений.

б) О соотношении между линейными и фазными токами во всех режимах работы трехфазной цепи.

IV. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Что такое симметричная система токов и напряжений?
2. Как определяется способ соединения трехфазной нагрузки?
3. Почему при соединении потребителя «треугольником» фазные и линейные напряжения равны между собой, а токи нет?
4. Как изменяются линейные токи и напряжения при отключении одной из фаз симметричной трехфазной нагрузки?
5. Как изменяется режим работы цепи при обрыве одного линейного провода?
6. В каком случае линейные токи образуют симметричную систему токов?
7. В чем заключается преимущество многофазных, в частности, трехфазных цепей переменного тока перед однофазными?
8. Приведите примеры симметричных трехфазных потребителей, известных вам из практики?
9. Как соединяется трехфазная нагрузка по схеме «треугольник»?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Тема: Определение потерь напряжения в линии.

Цель работы: Рассмотреть, как зависит КПД линии электропередачи от потери напряжения в проводах.

Приборы и оборудование:

1. Лабораторный стенд.
2. Вольтметр универсальный В7-26.

Пояснения к работе.

В линиях электропередачи электрической энергии соединительные провода включаются последовательно с потребителем. Так как провода обладают сопротивлением $R = 2\rho l / S$ (двухпроводная линия), то при прохождении по ним тока происходит **потеря напряжения** на них. За счет этой потери напряжение в конце линии электропередачи U_2 меньше, чем напряжение U_1 в начале. **Величина потери напряжения в проводах:** $\Delta U = U_1 - U_2 = IR_{\text{пр}}$. То есть, потеря напряжения в проводах зависит от тока потребителя (нагрузки) и сопротивления проводов $R_{\text{пр}}$.

Для того, чтобы увеличение тока в линии не приводило к значительной потере напряжения и к ощутимому уменьшению напряжения на потребителе U_2 , расчет сечений проводов ЛЭП производят с учетом **допустимой потери напряжения $e\% = (\Delta U / U_2) * 100\%$** . Допустимая потеря напряжения в многокилометровых ЛЭП не должна превышать **10%**. Расчет сечения проводов (двухпроводной линии) по допустимой потере напряжения производят по следующему выражению

$$S = 2\rho l / R_{\text{пр}} = 2\rho l / \Delta U = 2\rho l * 100 / e\% U_2 = 200\rho l P_2 / e\% U_2^2,$$

S – сечение проводов ЛЭП, мм^2 ; ρ – удельное сопротивление материала провода, $\text{Ом} * \text{мм}^2 / \text{м}$; l – длина ЛЭП, м; P_2 – мощность потребителя, Вт; U_2 – напряжение на потребителе, В.

Выбранное по допустимым потерям напряжения сечение проводов ЛЭП должно быть проверено по допустимому току. Из полученного выражения видно, что сечение проводов зависит от напряжения на потребителе U_2 . Поскольку эта зависимость квадратичная, то для уменьшения сечения проводов рационально увеличивать напряжение ЛЭП.

В настоящее время напряжение ЛЭП переменного тока достигает **1150 кВ**, а $U_1 U_2$ и постоянного тока **1500 кВ**. Также полученное выражение справедливо для ЛЭП с нагрузкой в конце линии.

Если же нагрузка распределена вдоль линии, то сечение проводов определяется выражением $S = (200\rho / e\% U_2^2)(P_1 l_1 + P_2 l_2 + P_3 l_3)$

Линия КПД линии электропередачи в процентах

определяется выражением $\eta = (P_2 / P_1) * 100\% = l_1 P_1 = (U_1 - \Delta U) / U_1 * 100\%$,

$I_2 P_2$ где P_2 – мощность потребителя; P_1 - мощность

$I_3 P_3$ источника.

Чем больше потеря напряжения ΔU в проводах, тем меньше КПД линии электропередачи. КПД длинных линий электропередачи лежит в пределах **(90-98)%**

Задание:

1. В лабораторной работе необходимо определить, как зависит КПД линии электропередачи от потери напряжения в проводах.

2. Измерить ЭДС источника электрической энергии.

3. Собрать на лабораторном стенде данную принципиальную схему.

A) R_8

$E R_{i1} R_1 = 100 \text{ Ом}$

$R_0 R_{i1} = 10 \text{ Ом}$

R_1

Б) Приемником электрической энергии будем считать резисторы $(R_{i1} + R_1)$, а сопротивление линии будем изменять с помощью резистора с переменным сопротивлением R_8 .

4. Измерить падения напряжения на всех элементах цепи при различных значениях переменного сопротивления R_8 .

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Тема: «Последовательное и параллельное соединение конденсатора»

Цель работы: Научиться определять емкостное сопротивление и общую емкость при последовательном и параллельном соединении конденсаторов.

Норма времени: 2 часа

I. Перечень вопросов для исследования:

1. Почему с увеличением емкости конденсатора сопротивление его уменьшается.
2. Убедиться, что при последовательном соединении общая емкость будет меньше наименьшей.
3. Убедиться в том, что при последовательном соединении:

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

4. Как определяется общая емкость при параллельном соединении конденсаторов
5. Убедиться в том, что при параллельном соединении:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

II. Предварительная подготовка к работе

Последовательное соединение

1. Определить сопротивление каждого конденсатора и общее сопротивление цепи при их последовательном соединении. При этом считая, что частота сети $\psi = 50$ Гц
2. Высчитать общую емкость и через нее общее сопротивление.
3. Общие сопротивления, полученные в первом и втором пунктах, сравнить.

Емкость в мкф	№ бригады
C₁	
C₂	
C₃	

Напряжение цепи для всех бригад **220В.**

4. Определить ток в цепи расчетом для выбора амперметра.
5. Для выбора вольтметра рассчитать падение напряжения на каждом конденсаторе по полученному току и соответствующим сопротивлениям.

Проверить равна ли сумма напряжений, напряжению сети.

Параллельное соединение

- При параллельном соединении использовать те же конденсаторы при $U=220$ В в сети .
- По сопротивлениям отдельных ветвей найти общее, по нему определить общую емкость и проверить равенство:

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$
- Для подбора амперметров рассчитать ток в каждой параллельной ветви и по первому закону Кирхгофа определить общий ток.
- Определить общий ток через общее сопротивление.
- Общие токи, полученные в пунктах 8,9 сравнить между собой.

III. Содержание и порядок выполнения работы

- Расчеты, проделанные дома, дать проверить преподавателю
- Ознакомиться с имеющимися приборами и оборудованием.
- Собрать цепь по **схеме № 1**.

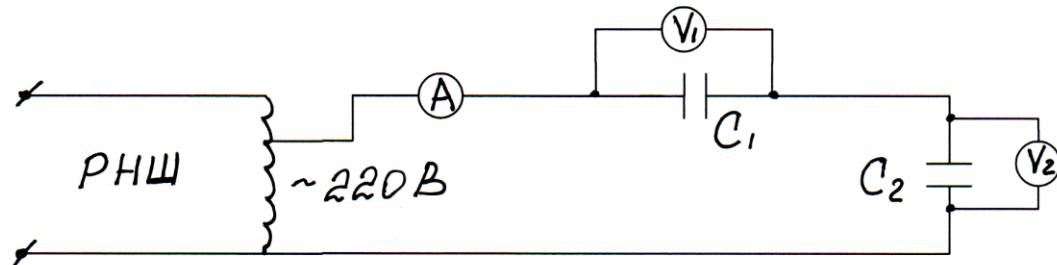


схема № 1

- Дать проверить цепь преподавателю.
- Установить автотрансформатором (РНШ) $U = 220$ В
- Снять показания приборов и занести их в таблицу № 1

Таблица 1.

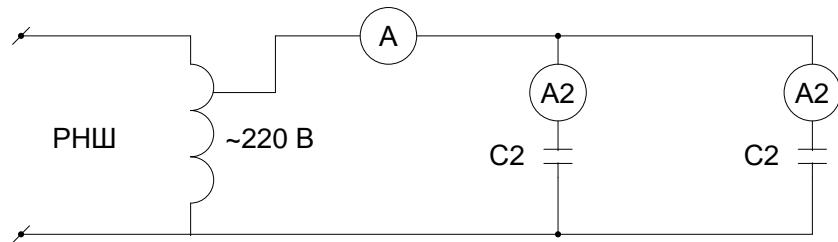
№ п/п	Участок цепи	X _C Ом		I А		U В	
		Расчет.	Опыт	Расчет.	Опыт	Расчет.	Опыт
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Конденс. C_1						
2.	C_2						
3.	Вся цепь C						

7. В результате опыта убедиться, что напряжение сети равно сумме напряжений на отдельных конденсаторах

8. Определить общее сопротивление цепи через U и I (опыт) и сравнить их с расчетными.

9. Собрать цепь по схеме №2

Схема №2



10. Дать проверить цепь преподавателю

11. Установить автотрансформатором $U = 220$ В

12. Снять показания приборов и занести в таблицу № 2

Таблица № 2

№ п/п	Участок цепи	В	Х _С Ом		I А	
			Цепи	Расчет	Опыт	Расчет
1	2	3	4	5	6	7
1.	Конденс. C_1					
2.	C_2					
3.	Вся цепь С					

13. В результате опытов убедиться, что общий ток равен сумме токов отдельных параметров параллельных ветвей.

Содержание отчета:

1. Наименование работы
2. Цель работы
3. Оборудование и приборы
4. Таблицы
5. Ответы на контрольные вопросы
6. Выводы

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Тема: Расчет сложной цепи постоянного тока методом узловых и контурных уравнений

Обучающийся должен

знать:

- I закон Кирхгофа;
- II закон Кирхгофа;
- методы расчета сложных цепей;

уметь:

- рассчитывать сложную цепь методом узловых и контурных уравнений, методом наложения;
- строить потенциальную диаграмму.

Задача. Для электрической схемы, изображенной на рис. 1, по указанным в таблице параметрам выполните следующее задание:

1. Изобразите схему для своего варианта в удобном для расчета виде.
2. Составьте на основании закона Кирхгофа систему необходимых уравнений для расчетов токов во всех ветвях схемы и определите их.
3. Определите токи в ветвях, пользуясь любым другим методом расчета.
4. Постройте потенциальную диаграмму для любого контура.
5. Определите мощности источников, приемников электрической энергии и мощности потерь внутри источников.
6. Составьте баланс мощностей.
7. В общем виде в логической последовательности покажите, как изменится потеря мощности внутри источника при изменении указанного сопротивления.

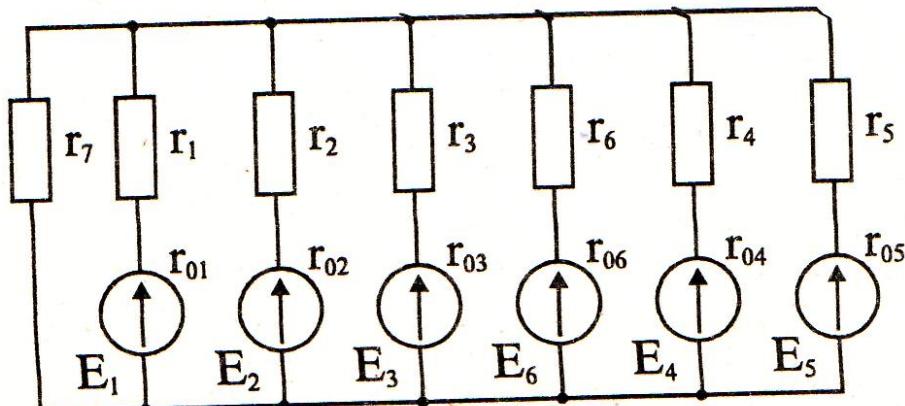


Рис. 1

Таблица. Исходные данные к задаче

Номера вариантов	Заданные величины																			
	E _i , B	v	E ₃ , B	E ₄ , B	E ₅ , B	E ₆ , B	R ₀₁ Om	R ₀₂ Om	*03 Om	R ₀₄ Om	^05 Om	R ₀₆ Om	R ₁ Om	R ₂ Om	R ₃ Om	R ₄ Om	R ₅ Om	R ₆ Om	R ₇ Om	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
00, 50	90	60	-	-	-	-	0,1	0,2	- ■	-	-	-	9,9	9,8	-	-	-	-	10	
01, 51	-	70	50	-	-	-	-	0,3	0,2	-	-	-	9,7	9,8f	-	-	-	-	10	
02, 52	-	-	60	03	-	-	-	-	0,4	0,4	-	-	-	-	9,6	9,6	-	-	10	
03, 53	60	-	90	-	-	-	0,1	-	0,3	-	-	9,9	-	9,7	-	-	-	-	10	
04, 54	70	-	-	80	-	-	0,4	-	-	0,5	-	-	9,6	-	-	9,51	-	-	10	
05, 55	-	90	-	60	-	-	-	0,3	-	0,3	-	-	-	9,71	-	9,7	-	-	10	
06, 56	80	-	-	-	130	-	0,2	-	-	-	0,1	-	9,8	-	-	9,9	-	-	10	
07, 57	-	90	-	-	60	-	0,1	-	-	-	0,2	-	-	9,9T	-	-	9,8	-	10	
08, 58	-	-	120	-	90	-	-	-	0,1	-	0,3	-	-	-	9,91	-	9,7	-	10	
09, 59	-	-	-	110	100	-	-	-	-	0,1	0,4	-	-	-	-	9,91	9,6	-	10	
10, 60	100	-	-	-	-	50	0,1	-	-	-	-	0,2	9,9	-	-	-	9,8	-	10	
11, 61	110	-	120	-	-	60	0,2	-	0,3	-	-	0,1	9,8	-	-	-	9,91	-	10	
12, 62	-	-	-	-	-	70	-	0,3	-	-	-	0,3	-	9,71	-	-	-	9,7	10	
13, 63	-	-	50	-	-	40	-	-	0,2	-	-	0,2	-	9,8	-	-	-	9,81	10	
14, 64	-	-	-	40	-	50	-	-	-	0,4	-	0,3	-	-	-	9,61	-	9,7	10	
15, 65	“■”;	-	-	-	70	20	-	-	-	-	0,5	0,5	-	-	-	-	9,51	9,5	10	
16, 66	100	-	-	50	-	-	0,1	-	-	0,1	-	-	9,9	-	-	9,9	-	-	10	
17, 67	120	-	-	-	100	-	0,2	-	-	-	0,2	-	9,8	-	-	-	9,81	-	10	
18, 68	-	100	-	-	-	50	-	0,3	-	-	-	0,3	-	9,7	-	-	-	9,71	10	
19, 69	-	-	120	-	60	-	-	-	0,5	-	0,4	-	-	9,5	-	-	9,6	-	10	
20, 70	20	-	-	120	-	-	0,3	-	r	0,4	-	-	9,7	-■	-	9,6T	-	-	10	
21, 71	***	40	-	-	100	-	-	0,2	-	-	0,2	-	-	9,81	-	-	9,8	-	10	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
22, 72	-	-	70	-	-	90	-	-	0,1	-	-	0,1	-	-	9,9	-	-	9,9	10
23, 73	80	-	-	50	-	-	0,5	-	-	0,3	-	-	9,5	-	-	9,7	-	-	10
24, 74	-	70	-	-	40	-	-	0,3	-	-	0,1	-	-	9,7	-	-	9,9	-	10
25, 75	-	-	60	-	-	30	-	-	0,2	-	-	0,4	-	-	9,8	-	-	9,6	10
26, 76	-	-	-	50	-	20	-	-	-	0,4	-	0,2	-	-	-	9,6	-	9,8	10
27, 77	-	100	50	-	-	-	-	0,2	0,3	-	-	-	-	-	9,8	-	-	-	10
28, 78	-	120	80	50	20	-	-	0,5	0,2	-	0,2	-	-	9,5	9,8	9,9	9,8	-	10
29, 79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	T	1	-	-	10	
30, 80	120	20	50	-	-	0,1	0,3	0,2	-	-	-	9,9	9,7j	9,8	-	-	-	-	
31, 81	-	110	30	40	-	-	0,1	0,2	0,2	-	-	9,9	9,8	9,8	-	-	-	-	
32, 82	-	-	100	50	70	-	-	0,2	0,3	0,4	-	-	-	-	9,8	9,7	9,6	-	
33, 83	-	-	-	100	30	80	-	-	0,1	0,2	0,3	-	-	-	-	9,9	9,8	9,7	
34, 84	110	-	30	-	-	50	0,2	-	0,3	-	-	0,5	9,8	-	9,7	-	0,5	-	
35, 85	-	100	-	40	-	60	-	0,2	-	0,4	-	0,3	-	9,8	-	9,6	-	0,7	
36, 86	90	-	20	-	80	-	0,1	-	0,2	-	0,3	-	9,9	-	9,8	-	9,7	-	
37, 87	-	60	-	50	-	100	-	0,3	-	0,4	-	0,5	-	9,7	-	9,6	-	9,5	
38, 88	-	-	60	20	40	-	-	0,3	0,2	0,1	-	-	-	9,7	9,8	9,9	-	-	
39, 89	100	-	-	30	-	80	0,4	-	-	0,3	-	0,2	9,6	-	-	9,7	-	9,8	
40, 90	-	80	20	-	60	-	0,7	0,6	-	0,5	-	-	9,3	9,4	-	9,5	-	-	
41, 91	-	90	-	100	-	30	-	0,2	-	0,3	-	0,4	-	9,8	-	9,7f	-	9,6	
42, 92	120	-	60	-	20	-	0,7	-	0,6	-	0,5	-	9,3	-	9,4	-	9,5	-	
43, 93	-	120	-	30	-	10	-	0,3	-	0,4	-	0,5	-	9,7	-	9,6	-	9,5	
44, 94	60	-	30	-	20	-	0,6	-	0,5	-	0,4	-	9,4	-	9,5	-	9,6	-	
45, 95	40	-	-	-	30	70	0,4	-	-	-	0,5	0,6	9,6	-	-	5!	9,4	-	
46, 96	-	80	60	20	-	-	0,2	0,3	0,4	-	-	-	9,8	9,7	9,6	-	-	-	
47, 97	-	-	-	70	60	50	-	-	0,7	0,6	0,5	-	-	-	9,3	9,4	9,5	-	
48, 98	100	40	20	-	-	-	0,8	0,7	0,6	-	-	9,1	9,3	9,4	-	-	1	-	
49, 99	-	-	20	40	100	-	-	0,3	0,6	0,2	-	-	9,2	9,4	9,8	-	-	-	

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Тема: Расчет неразветвленных магнитных цепей

Обучающийся должен

знатъ;

- понятие магнитная цепь;
- классификацию магнитных цепей;
- законы Ома, Кирхгофа для магнитной цепи;

уметь:

- рассчитывать неоднородную, неразветвленную цепь.

Задача. Какой ток должен протекать по обмотке с числом витков w , в магнитной цепи, изображенной на рисунке 1 а, чтобы магнитная индукция в воздушном зазоре σ была B_0 . Данные для расчетов даны в таблице.

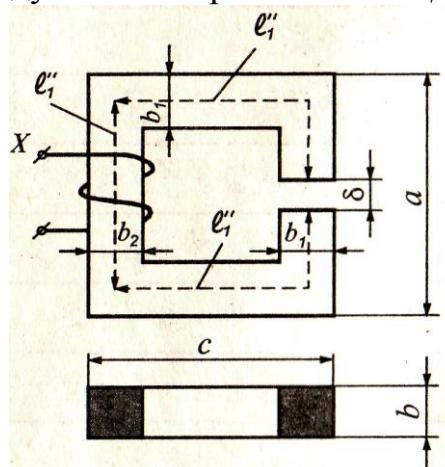


Рис. 2

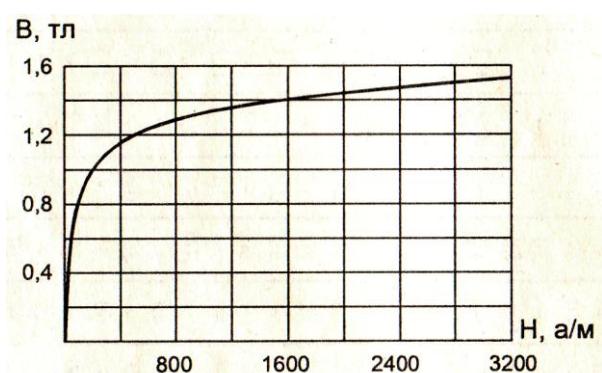


Рис. 3

Таблица. Исходные данные к задаче

Вариант	W, ВИТ.	B ₆ , Тл	σ, ММ	a, ММ	C, ММ	b, ММ	B ₁ = B, ММ	B ₂ , ММ
1	450	0,8	0,5	120	80	20	10	15
2	550	0,85	0,6	130	90	30	10	15
3	600	0,9	0,7	140	100	40	15	20
4	700	0,95	0,8	160	110	40	15	20
5	650	1,05	0,9	170	120	50	20	25
6	750	1,1	1,1	180	130	50	20	25
7	800	1,15	1,2	190	140	55	25	30
8	850	1,2	1,3	200	150	55	25	30
9	900	1,35	1,4	210	160	60	30	35
0	950	1,4	1,5	220	170	60	30	35

Методические указания. При решении большинства электротехнических задач все вещества практически подразделяются на ферромагнитные и неферромагнитные. У ферромагнитных веществ относительная магнитная проницаемость μ намного больше единицы, у всех неферромагнитных - μ практически равна единице.

Основными величинами, характеризующими магнитное поле, являются векторные величины: магнитная индукция \vec{B} , намагниченность \vec{J} , напряженность \vec{H} . Эти три величины связаны друг с другом следующей зависимостью:

$$\vec{B} = \mu_0 \left(\vec{H} + \vec{J} \right) \text{ Тл или } \vec{B} = \mu_0 \cdot \mu \vec{H},$$

где $\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6}$ Гн/м, магнитная проницаемость вакуума;

μ - относительная магнитная проницаемость вещества.

Магнитный поток Φ есть поток вектора магнитной индукции через площадь S :
 $\Phi = \vec{B} \cdot S$ Вб.

Магнитное поле создается электрическими токами. Количественная связь между линейным интегралом от вектора напряженности магнитного поля \vec{H} вдоль любого произвольного контура является алгебраической суммой токов ΣI , охваченных этим контуром, определяется законом тока $Hl = \Sigma I$.

Магнитодвижущая сила (м.д.с.) или намагничивающая сила (н.с.) катушки или обмотки с током есть произведение числа витков катушки W на протекающей по ней ток

$$F_M = IW.$$

Пример расчета магнитной цепи, показанной на рис. 1, если дано:

$W = 500$ вит.; $B_\sigma = 1$ Тл; $\sigma = 1,0$ мм; $a = 150$ мм; $c = 130$ мм; $b = 30$ мм;

$b_1 = b_2 = 15$ мм; $b_2 = 20$ мм. Найти величину тока в катушке, используя кривую намагничивания на рис. 2.

Решение:

Магнитную цепь разбиваем на три участка: первый с сечением s_1 , длина которого

$$\begin{aligned} l_1 &= l_1' + l_1''; \quad l_1' = l_1''; \\ l_1' &= \left(c - \frac{b_1 + b_2}{2} \right) + \frac{a - b}{2} = \left(130 - \frac{15 + 20}{2} \right) + \frac{150 - 15}{2} = 190 \text{ мм} = 0,19 \text{ м}; \\ l_1 &= 2l_1' = 2 \cdot 0,19 = 0,38 \text{ м}; \\ s_1 &= b \cdot b_1 = 15 \cdot 30 = 450 \text{ мм}^2 = 4,5 \text{ см}^2; \end{aligned}$$

второй с сечением s_2 , длина которого

$$\begin{aligned} l_2 &= a - b_1 = 150 - 15 = 135 \text{ мм} \quad l_2 = 0,135 \text{ м}; \\ s_2 &= b \cdot b_2 = 20 \cdot 30 = 600 \text{ мм}^2 = 6 \text{ см}^2; \end{aligned}$$

третий – воздушный зазор $\sigma \approx 0,1 \text{ см}$; $s_\sigma = s_1 = 4,5 \text{ см}^2$.

Индукция $B_1 = B_\sigma = 1$ Тл.

Индукцию на втором участке найдем, разделив поток $\Phi = B_\sigma \cdot s_\sigma$ на сечение s_2

$$B_2 = \frac{\Phi}{s_2} = \frac{B_\sigma \cdot s_\sigma}{s_2} = \frac{1 \cdot 4,5}{6} = 0,75 \text{ Тл.}$$

Напряженности поля на участках I_1 и I_2 определяем согласно кривой намагничивания (рис. 2) по известным значениям магнитной индукции B_1 и B_2

$$H_1 = 300 \text{ А/м}; \quad H_2 = 115 \text{ А/м.}$$

Напряженность поля в воздушном зазоре

$$H_\sigma = 0,8 \cdot 10^6 \cdot B_\sigma = 0,8 \cdot 10^6 \cdot 1 = 8 \cdot 10^5 \text{ А/м.}$$

Падение магнитного напряжения вдоль всей магнитной цепи

$$\begin{aligned} \Sigma H_k \cdot l_k &= H_1 \cdot l_1 + H_2 \cdot l_2 + H_\sigma \cdot l_\sigma = \\ &= 300 \cdot 0,38 + 115 \cdot 0,135 + 8 \cdot 10^5 \cdot 10^{-4} = 209,6 \text{ А.} \end{aligned}$$

Сила тока в обмотке

$$I = \frac{\Sigma H_k l_k}{W} = \frac{209,6}{500} = 0,419 \text{ А.}$$

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Тема: Расчет неразветвленной цепи переменного тока с использованием векторных диаграмм, символическим методом

Обучающийся должен

знать:

- характеристики переменного тока;
- параметры цепи переменного тока;
- свойства последовательного соединение устройств электрической цепи;

уметь:

- рассчитывать неразветвленную цепь переменного тока;
- строить векторные диаграммы.

Задача. Неразветвленная цепь переменного тока, показанная на соответствующем рисунке, содержит активные и реактивные сопротивления, величины которых заданы в таблице с исходными данными. Кроме того, известна одна из дополнительных величин (U , I , P , Q , S). Определить следующие величины, если они не заданы в таблице вариантов: 1) полное сопротивление цепи Z ; 2) напряжение U , приложенное к цепи; 3) силу тока в цепи; 4) угол сдвига фаз ϕ (величину и знак); 5) активную P , реактивную Q и полную S мощности, потребляемые цепью. Начертить в масштабе векторную диаграмму цепи и пояснить ее построение. С помощью логических рассуждений пояснить, как изменится ток в цепи и угол сдвига фаз, если частоту тока увеличить вдвое. Напряжение, приложенное к цепи, считать неизменным. Начертите схему своего варианта.

Таблица. Исходных данных к задаче

Номера вариантов	Номера рисунков	Ом	Я. Ом	* U . Ом	* $/$.. Ом	X_{C1} . Ом	X_{C-2} . Ом	Дополнительная величина	Но м ер г.	Номера	$R1$,	$Я_2$.	x_{i_1}	$*L2$	X_{C1}	X_{CQ}	Дополнительная величина
									вариант	рисунков	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом
01	12	8	4	20	50	–	10	$I = 10 \text{ А}$ $P = 120 \text{ Вт}$	41	16	12	–	10	4	20	10	$Q = 64 \text{ вар}$
02	10	–	–	–	–	–	–		42	16	32	–	20	6	10	–	$/ = 4 \text{ А}$
03	3	1	5	–	–	2	–	$P_2 = 100 \text{ Вт}$	43	16	32	–	25	15	8	8	$U_u = 125 \text{ В}$
04	12	12	20	30	–	6	–	$ U = 72 \text{ В}$	44	16	40	–	30	20	12	8	$S = 800 \text{ Вт}$
05	12	4	8	18	–	2	–	$U = 40 \text{ В}$	45	16	80	–	10	10	40	40	$Q_{c2} = 40 \text{ вар}$
06	12	2	1	4	–	8	–	$Q_{11} = -96 \text{ вар}$	46	16	4	–	2	8	4	3	$U_{c2} = 15 \text{ В}$
07	20	10	10	–	–	50	–	$Q = -640 \text{ вар}$	47	16	12	–	20	10	4	10	$U = 80 \text{ В}$
08	1	3	2	–	–	5	–	$Q_{ci} = -125 \text{ вар}$	48	16	40	–	10	10	30	20	$Q_{ci} = -480 \text{ вар}$
09	12	1	2	8	–	4	–	$5 = 80 \text{ В} \cdot \text{А}$	49	16	24	–	8	10	20	30	$P = 96 \text{ Вт}$
10	12	8	4	6	–	22	–	$P_{ci} = 32 \text{ Вт}$	50	16	3	–	5	5	4	2	$U_{in} = 30 \text{ В}$
11	6	–	–	2	10	4	–	$U = 40 \text{ В}$	51	17	4	2	5	6	3	–	$/ = 5 \text{ А}$
12	4	–	–	6	2	5	–	$P = 16 \text{ Вт}$	52	17	8	4	10	15	9	–	$/ = 10 \text{ А}$
13	16	–	–	15	5	8	–	$Q_{L1} = 135 \text{ вар}$	53	17	2	4	6	5	3	–	$U = 50 \text{ В}$
14	32	–	–	8	4	12	–	$Q_{L2} = 16 \text{ вар}$	54	17	4	2	5	6	3	–	$P = 150 \text{ Вт}$
15	8	–	–	2	2	10	–	$Q_{o} = -20 \text{ вар}$	55	17	4	8	15	10	9	–	$U = 200 \text{ В}$
16	3	–	–	10	12	26	–	$P_{ci} = 48 \text{ Вт}$	56	17	2	4	6	5	3	–	$Q = 200 \text{ вар}$
17	40	–	–	8	6	16	–	$U_2 = 12 \text{ В}$	57	17	4	4	10	15	9	–	$P = 1200 \text{ Вт}$
18	16	–	–	3	5	20	–	$Q_{ci} = -720 \text{ вар}$	58	17	8	4	10	15	9	–	$S = 250 \text{ В} \cdot \text{А}$
19	6	–	–	10	2	4	–	$/ = 5 \text{ А}$	59	17	4	2	6	5	3	–	$S = 2000 \text{ В} \cdot \text{А}$
20	4	–	–	3	6	12	–	$5 = .500 \text{ В} \cdot \text{А}$	60	17	8	4	15	10	9	–	$Я = 72 \text{ Вт}$
21	4	–	–	6	–	4	5	$P = 100 \text{ Вт}$	61	18	8	–	12	–	–	6	$U = 30 \text{ В}$
22	8	–	–	6	–	8	4	$U_{c2} = 40 \text{ вар}$	62	18	4	–	15	–	–	12	$/ = 3 \text{ А}$
23	80	–	–	100	–	25	15	$/ = 1 \text{ А}$	63	18	3	–	8	–	–	8	$Q_{LL} = 80 \text{ вар}$
24	60	–	–	20	–	40	60	$Q_{c2} = -240 \text{ вар}$	64	18	4	–	5	–	–	12	$Q = -48 \text{ вар}$
25	48	–	–	36	–	60	40	$P_{ci} = 432 \text{ Вт}$	65	18	8	–	6	–	–	8	$P = 256 \text{ Вт}$
26	4	–	–	9	–	3	3	$U = 20 \text{ В}$	66	18	4	–	8	–	–	5	$S = 320 \text{ В} \cdot \text{А}$
27	40	–	–	50	–	12	8	$Q/i = 200 \text{ вар}$	67	18	4	–	8	–	–	8	$Q = -192 \text{ вар}$
28	12	–	–	16	–	10	6	$U_u = 160 \text{ В}$	68	18	4	–	5	–	–	4	$/ = 8 \text{ А}$
29	24	–	–	28	–	35	25	$S = 1000 \text{ В} \cdot \text{А}$	69	18	3	–	8	–	–	6	$S = 90 \text{ В} \cdot \text{А}$
30	8	–	–	12	–	4	2	$Q_{ci} = 48 \text{ вар}$	70	18	8	–	12	–	–	–	$U = 20 \text{ В}$
31	10	14	18	–	–	20	30	$U_{R2} = 28 \text{ В}$	71	18	2	6	–	10	4	–	$Q = -192 \text{ вар}$
32	6	2	10	..	–	1	3	$P = 200 \text{ Вт}$	72	19	6	10	–	8	20	–	$P = 32 \text{ Вт}$
33	40	20	20	–	–	80	20	$Q_{ci} = -320 \text{ вар}$	73	19	6	2	–	16	10	–	$P = 256 \text{ Вт}$
34	30	34	32	–	–	50	30	$U_{c2} = 500 \text{ В}$	74	19	10	6	–	8	20	–	$/ = 2 \text{ А}$
35	1	3	10	–	–	4	3	$Q = 48 \text{ вар}$	75	19	4	4	–	2	8	–	$/ = 4 \text{ А}$
36	3	1	5	–	–	6	2	$S = 180 \text{ В} \cdot \text{А}$	76	19	10	6	–	20	8	–	$U = 80 \text{ В}$
37	24	40	52	–	–	40	60	$Q_{ci} = 468 \text{ вар}$	77	19	3	1	–	9	6	–	$Q = -24 \text{ вар}$
38	2	6	4	–	–	2	8	$U = 40 \text{ В}$	78	19	6	2	–	4	10	–	$S = 320 \text{ В} \cdot \text{А}$
39	14	10	50	–	–	10	8	$/ = 5 \text{ А}$	79	19	6	10	–	20	8	–	$.S = 40 \text{ В} \cdot \text{А}$
40	50	30	100	–	–	20	20	$P_{ci} = 480 \text{ Вт}$	80	19	3	5	–	12	6	–	

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Тема: Расчет разветвленной цепи переменного синусоидального тока

Обучающийся должен

знать:

- характеристики переменного тока;
- параметры цепи переменного тока;
- свойства параллельного соединения участков электрической цепи;

уметь:

- рассчитывать разветвленные цепи переменного синусоидального тока;
- строить векторные диаграммы.

Задача. Цепь, состоящая из двух параллельных ветвей, параметры которых g_1 , X_{L1} , X_{C1} , g_2 , X_{L2} , X_{C2} , приведены в табл. 1, присоединена к сети напряжением U и частотой $f = 50$ Гц.

1. Начертите схему электрической цепи и определите: а) токи в параллельных ветвях и ток в неразветвленной части цепи; б) коэффициент мощности каждой ветви и всей цепи; в) углы сдвига фаз токов относительно напряжения сети; г) активную, реактивную и полную мощности цепи.

2. Постройте векторную диаграмму.

3. В общем виде в логической последовательности покажите, как влияет изменение указанной в таблице величины на параметры: g_1 , b_1 , y_1 , g_2 , b_2 , y_2 , I_1 , I_2 , I .

Таблица. Исходных данных к задаче

Номера вариантов	Номера рисунка схемы	Задаваемые величины							1	2	3	4	5	6	7	8	9
		U, В	g_1 , Ом	X_{L1} , Ом	X_{C1} , Ом	g_2 , Ом	X_{L2} , Ом	X_{C2} , Ом									
1	2	3	4	5	6	7	8	9									
00, 50	2.1.1	127	75↑	75	10	10	20	–	14, 64	2.1.5	380	75	–	80	80	90↑	15
01, 51	2.1.2	220	10	70↑	15	15	25	100	15, 65	2.1.1	660	80↓	5	10	80	90	–
02, 52	2.1.3	380	15↓	65	–	20	30	150	16, 66	2.1.2	127	75	10↓	15	75	80	25
03, 53	2.1.4	660	20	60	25	25↑	–	200	17, 67	2.1.3	220	70	15	–	70↓	80	30
04, 54	2.1.5	127	25	–	30	30	40↑	250	18, 68	2.1.4	380	65	20	25	65↓	–	35
05, 55	2.1.1	220	30↓	50	35	35	45	–	19, 69	2.1.5	660	60	–	30	60	70↓	40
06, 56	2.1.2	380	35	45↓	40	40	50	300	20, 70	2.1.1	127	55	30	35↑	55	65	–
07, 57	2.1.3	660	40	40	–	45↓	55	350	21, 71	2.1.2	220	50↑	35	40	50	60	50
08, 58	2.1.4	127	45	35	50↓	50	–	60	22, 72	2.1.3	380	45	40↑	–	45	55	55
09, 59	2.1.5	220	50	–	55	55↓	65	70	23, 73	2.1.4	660	40	45	45	40↑	–	60
10, 60	2.1.1	380	55↑	25	60	60	70	–	24, 74	2.1.5	127	35	–	50	35	45↑	65
11, 61	2.1.2	660	60	20↑	65	65	75	90	25, 75	2.1.1	220	30	55	55↓	30	40	–
12, 62	2.1.3	127	65↓	15	–	70	80	5	26, 76	2.1.2	380	25	60↑	60	25	35	75
13, 63	2.1.4	220	70	10	75	75↑	–	10	27, 77	2.1.3	660	20	65	–	20↑	30	80
									28, 78	2.1.4	127	15	70	65	15	–	85↑
									29, 79	2.1.5	220	10	–	70	10	20↓	90
									30, 80	2.1.1	380	10↓	50	5	100	50	–
									31, 81	2.1.2	660	20	45↓	10	90	55	45
									32, 82	2.1.3	127	30	40	–	80	60↑	40

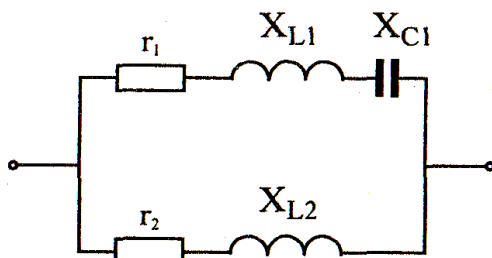


Рис. 2.1.1

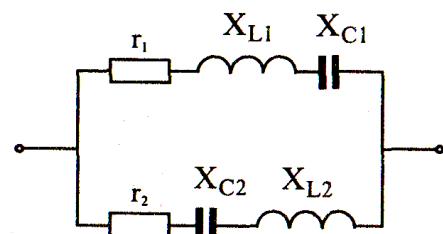


Рис. 2.1.2

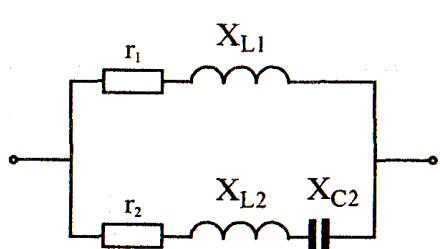


Рис. 2.1.3

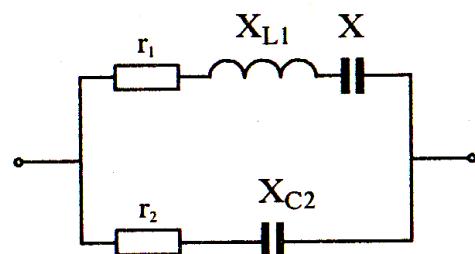


Рис. 2.1.4

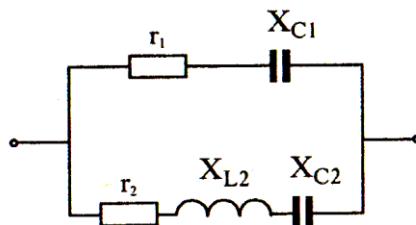


Рис. 2.1.5

Примечание. «↑» - величина, указанная в таблице 1, увеличивается, «↓» - уменьшается.

Задача. Цепь, состоящая из двух параллельных ветвей, параметры которых $r_1 = 16 \text{ Ом}$; $X_{L1} = 12 \text{ Ом}$; $r_2 = 30 \text{ Ом}$; $X_{C2} = 40 \text{ Ом}$, присоединена к сети с напряжением $U = 179 \sin 628t$.

Определить: 1) частоту электрической сети; 2) действующее значение напряжения сети; 3) токи в параллельных ветвях и ток в неразветвленной части цепи; 4) коэффициент мощности каждой ветви и всей цепи; 5) углы сдвига фаз токов относительно напряжения сети; 6) активную, реактивную и полную мощности цепи.

Построить векторную диаграмму напряжения и токов.

Решение.

1. Частота электрической цепи определяется из формулы угловой частоты $\omega = 2\pi f$:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{628}{2 \cdot 3,14} = 100 \text{ Гц.}$$

2. Действующее значение напряжения определяется по известному амплитудному значению напряжения (U_m):

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{179}{1,41} = 127 \text{ В.}$$

3. Для определения токов необходимо найти проводимость ветвей и всей цепи:
 1) активная, реактивная и полная проводимости первой ветви:

$$g_1 = \frac{r_1}{Z_1^2} = \frac{16}{16^2 + 12^2} = \frac{16}{400} = 0,04 \text{ См};$$

$$b_1 = \frac{X_{11}}{Z_1^2} = \frac{12}{16^2 + 12^2} = \frac{12}{400} = 0,03 \text{ См};$$

$$y_1 = \sqrt{g_1^2 + b_1^2} = \sqrt{0,04^2 + 0,03^2} = \sqrt{0,0025} = 0,05 \text{ См};$$

2) активная, реактивная и полная проводимости второй ветви:

$$g_2 = \frac{r_2}{Z_2^2} = \frac{30}{30^2 + 40^2} = \frac{30}{2500} = 0,012 \text{ См};$$

$$b_2 = \frac{-X_{22}}{Z_2^2} = \frac{-40}{30^2 + 40^2} = \frac{-40}{2500} = -0,016 \text{ См};$$

$$y_2 = \sqrt{g_2^2 + b_2^2} = \sqrt{0,012^2 + (-0,016)^2} = \sqrt{0,0004} = 0,02 \text{ См};$$

3) активная, реактивная и полная проводимости всей цепи:

$$g = g_1 + g_2 = 0,04 + 0,012 = 0,052 \text{ См};$$

$$b = b_1 + b_2 = 0,03 + (-0,016) = 0,014 \text{ См}.$$

$$y = \sqrt{g^2 + b^2} = \sqrt{0,052^2 + 0,014^2} = \sqrt{0,0029} = 0,054 \text{ См}.$$

4. Токи в ветвях и ток в неразветвленной части цепи:

$$I_1 = U \cdot y_1 = 127 \cdot 0,05 = 6,35 \text{ А};$$

$$I_2 = U \cdot y_2 = 127 \cdot 0,02 = 2,54 \text{ А};$$

$$I = U \cdot y = 127 \cdot 0,054 = 6,86 \text{ А}.$$

5. Коэффициент мощности и углы сдвига фаз относительно напряжения каждой ветви и всей цепи:

$$\cos \varphi_1 = \frac{g_1}{y_1} = \frac{0,04}{0,05} = 0,8; \quad \varphi_1 = 37^\circ;$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{g_2}{y_2} = \frac{0,012}{0,02} = 0,6; \quad \varphi_2 = -53^\circ;$$

$$\cos \varphi = \frac{g}{y} = \frac{0,052}{0,054} = 0,963; \quad \varphi = 12^\circ.$$

По коэффициентам мощности $\cos \varphi$ с помощью таблиц Брадиса или логарифмической линейки определяются углы сдвига фаз между токами и напряжениями.

6. Активная, реактивная и полная мощности цепи:

$$P = U^2 \cdot g = 127^2 \cdot 0,052 = 838,7 \text{ Вт};$$

$$Q = U^2 \cdot b = 127^2 \cdot 0,014 = 225,8 \text{ вар};$$

$$S = U^2 \cdot y = 127^2 \cdot 0,054 = 871 \text{ В·А}.$$

Для построения векторной диаграммы токов и напряжения определяются активные и реактивные составляющие токов ветвей и всей цепи:

$$I_{a1} = I_1 \cdot \cos \varphi_1 = 6,35 \cdot 0,8 = 5,08 \text{ А};$$

$$I_{a2} = I_2 \cdot \cos \varphi_2 = 2,54 \cdot 0,6 = 1,524 \text{ А};$$

$$I_a = I \cdot \cos \varphi = 6,86 \cdot 0,963 = 6,604 \text{ А};$$

$$I_{p1} = I_1 \cdot \sin \varphi_1 = 6,35 \cdot 0,6 = 3,81 \text{ А};$$

$$I_{p2} = I_2 \cdot \sin \varphi_2 = 2,54 \cdot 0,8 = 2,032 \text{ А};$$

$$I_p = I \cdot \sin \varphi = 6,86 \cdot 0,259 = 1,78 \text{ А};$$

Выбирают масштабы напряжения и токов:

$$m_U = 25 \text{ В/см}; m_I = 1 \text{ А/см.}$$

Определяются длины векторов напряжения и токов:

$$\begin{aligned} \bar{U} &= \frac{|U|}{m_U} = \frac{127}{25} = 5,08 \text{ см}; & \bar{I}_a &= \frac{|I_a|}{m_I} = \frac{6,604}{1} = 6,604 \text{ см}; \\ \bar{I}_{a1} &= \frac{|I_{a1}|}{m_I} = \frac{5,08}{1} = 5,08 \text{ см}; & \bar{I}_p &= \frac{|I_p|}{m_I} = \frac{1,78}{1} = 1,78 \text{ см}; \\ \bar{I}_{p1} &= \frac{|I_{p1}|}{m_I} = \frac{3,81}{1} = 3,81 \text{ см}; & \bar{I}_1 &= \frac{|I_1|}{m_I} = \frac{6,35}{1} = 6,35 \text{ см}; \\ \bar{I}_{a2} &= \frac{|I_{a2}|}{m_I} = \frac{1,524}{1} = 1,524 \text{ см}; & \bar{I}_2 &= \frac{|I_2|}{m_I} = \frac{2,54}{1} = 2,54 \text{ см}; \\ \bar{I}_{p2} &= \frac{|I_{p2}|}{m_I} = \frac{2,032}{1} = 2,032 \text{ см}; & \bar{I} &= \frac{|I|}{m_I} = \frac{6,86}{1} = 6,86 \text{ см}; \end{aligned}$$

Построение векторной диаграммы для разветвленных электрических цепей начинают с вектора напряжения \bar{U} , который располагают по горизонтальной оси. Вектор активной составляющей тока первой ветви \bar{I}_{a1} совпадает с вектором напряжения, поэтому он откладывается также по горизонтальной оси. Из конца вектора активной составляющей тока первой ветви \bar{I}_{a1} в сторону отставания на 90° от вектора напряжения \bar{U} (для цепи с реактивно-индуктивным сопротивлением) откладывается вектор реактивной составляющей тока первой ветви \bar{I}_{p1} . Соединяя конец вектора реактивной составляющей тока первой ветви \bar{I}_{p1} с началом вектора активной составляющей тока первой ветви \bar{I}_{a1} , получаем вектор тока первой ветви \bar{I}_{p1} . Из конца вектора реактивной составляющей тока первой ветви \bar{I}_{p1} откладывается вектор активной составляющей тока второй ветви \bar{I}_{a2} , совпадающий с вектором напряжения \bar{U} , а из его конца в сторону опережения вектора напряжения \bar{U} на 90° (для цепи с реактивно-емкостным сопротивлением) откладывается вектор реактивной составляющей тока второй ветви \bar{I}_{p2} . Соединяя конец вектора реактивной составляющей тока второй ветви \bar{I}_{p2} с началом вектора активной составляющей тока второй ветви \bar{I}_{a2} , получаем вектор тока второй ветви \bar{I}_2 . Соединяя конец вектора тока второй ветви \bar{I}_2 с началом вектора тока первой ветви \bar{I}_1 , получаем вектор тока в неразветвленной части цепи \bar{I} . Векторная диаграмма построена на рис. 1.

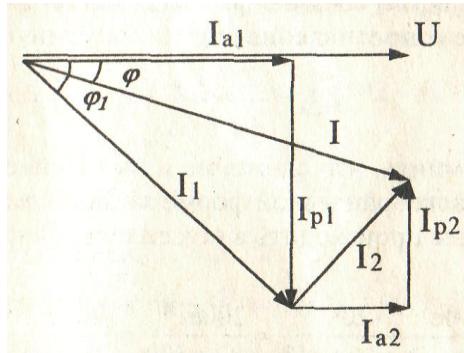


Рис. 4

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Тема: Расчет цепи переменного тока при смешенном соединении сопротивлений символическим методом

Обучающийся должен

знать:

- характеристики переменного тока;
- параметры цепи переменного тока;
- свойства параллельного соединения участков электрической цепи;

уметь:

- рассчитывать разветвленные цепи переменного синусоидального тока;
- применять комплексные числа.
-

Задача :

Вычислите токи во всех участках цепи, напряжение, приложенное к точкам 2-3 цепи, активную, реактивную и полную мощности каждой ветви и всей цепи. Постройте векторную диаграмму цепи. Задачу символическим методом.

Данные к задаче

Номера вариантов	Номера рисунка, схемы	Задаваемые величины											
		U, В	r_1 , Ом	X_{L1} , Ом	X_{C1} , Ом	r_2 , Ом	X_{L2} , Ом	X_{C2} , Ом	r_3 , Ом	X_{L3} , Ом	X_{C3} , Ом		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
00, 50	2.2.1	127	4	–	–	3	4	–	4	–	3		
01, 51	2.2.2	220	6	8	–	–	3	–	3	–	4		
02, 52	2.2.3	380	–	8	–	6	8	–	6	–	8		
03, 53	2.2.4	660	10	6	–	8	–	–	8	–	6		
04, 54	2.2.5	127	12	16	–	9	12	–	–	–	–	9	
05, 55	2.2.6	220	14	12	–	12	9	–	9	–	–	–	
06, 56	2.2.7	380	16	–	12	–	16	–	16	9	–	–	
07, 57	2.2.8	660	18	16	–	12	16	–	12	–	16		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
08, 58	2.2.9	127	20	18	—	16	—	12	16	12	—
09, 59	2.2.10	220	22	—	11	3	4	—	4	3	—
10, 60	2.2.1	380	4	—	—	16	12	—	16	—	3
11, 61	2.2.2	660	6	4	—	—	16	—	18	—	4
12, 62	2.2.3	127	—	6	—	16	18	—	20	—	6
13, 63	2.2.4	220	10	8	—	20	—	—	22	—	9
14, 64	2.2.5	380	12	9	—	18	22	—	—	—	12
15, 65	2.2.6	660	14	12	—	6	8	—	6	—	—
16, 66	2.2.7	127	16	—	12	—	6	—	4	24	—
17, 67	2.2.8	220	18	16	—	3	4	—	3	—	32
18, 68	2.2.9	380	20	3	—	4	—	3	9	32	—
19, 69	2.2.10	660	22	—	4	16	12	—	16	24	—
20, 70	2.2.1	127	3	—	—	9	4	—	6	—	4
21, 71	2.2.2	220	3	4	—	—	3	—	8	—	6
22, 72	2.2.3	380	—	6	—	16	9	—	9	—	9
23, 73	2.2.4	660	6	8	—	24	—	—	12	—	12
24, 74	2.2.5	127	8	9	—	32	16	—	—	—	16
25, 75	2.2.6	220	16	12	—	3	24	—	24	—	—
26, 76	2.2.7	380	12	—	16	—	32	—	3	32	—
27, 77	2.2.8	660	36	24	—	6	9	—	4	—	12
28, 78	2.2.9	127	4	3	—	9	—	12	9	16	—
29, 79	2.2.10	220	3	—	4	12	16	—	16	32	—
30, 80	2.2.1	380	32	—	—	3	4	—	4	—	3
31, 81	2.2.2	660	24	32	—	—	6	—	6	—	9
32, 82	2.2.3	127	—	9	—	9	12	—	8	—	12
33, 83	2.2.4	220	16	12	—	12	—	—	10	—	14
34, 84	2.2.5	380	8	9	—	16	12	—	—	—	16
35, 85	2.2.6	660	4	3	—	18	16	—	14	—	—
36, 86	2.2.7	127	3	—	4	—	24	—	16	20	—
37, 87	2.2.8	220	3	4	—	36	24	—	18	—	22
38, 88	2.2.9	380	4	3	—	3	—	4	20	24	—
39, 89	2.2.10	660	9	—	16	4	3	—	22	26	—
40, 90	2.2.1	127	2	—	—	6	9	—	9	—	12
41, 91	2.2.2	220	4	5	—	—	12	—	12	—	16
42, 92	2.2.3	380	—	7	—	10	16	—	12	—	18
43, 93	2.2.4	660	8	9	—	12	—	—	10	—	20
44, 94	2.2.5	127	10	11	—	14	32	—	—	—	22
45, 95	2.2.6	220	12	13	—	16	36	—	24	—	—
46, 96	2.2.7	380	14	—	15	—	42	—	9	12	—
47, 97	2.2.8	660	16	17	—	20	48	—	16	—	28
48, 98	2.2.9	127	18	19	—	22	—	54	3	4	—
49, 99	2.2.10	220	20	—	24	24	60	—	18	32	—

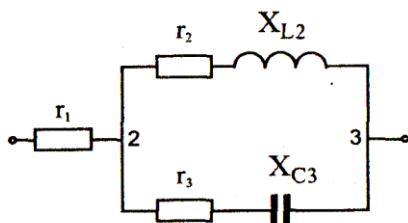


Рис. 2.2.1

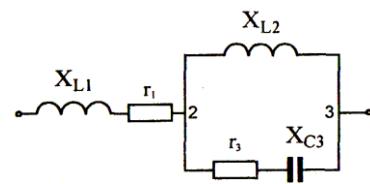


Рис. 2.2.2

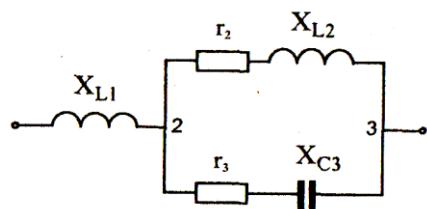


Рис. 2.2.3

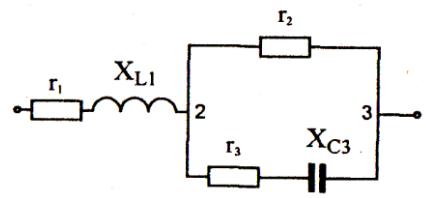


Рис. 2.2.4

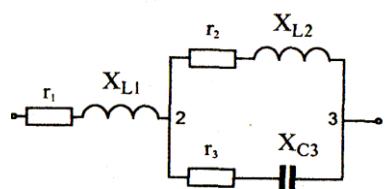


Рис. 2.2.5

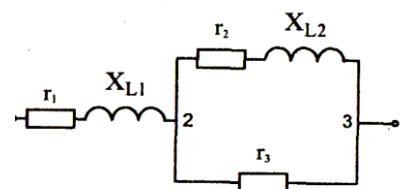


Рис. 2.2.6

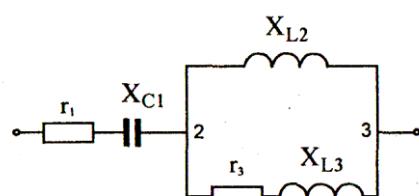


Рис. 2.2.7

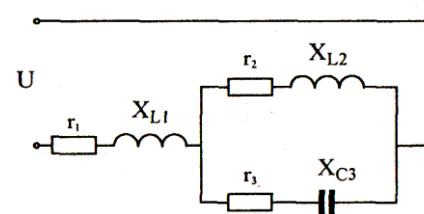


Рис. 2.2.8

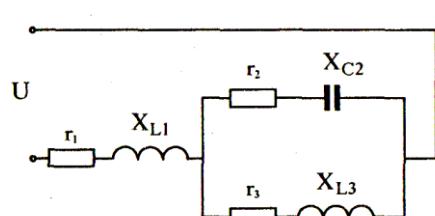


Рис. 2.2.9

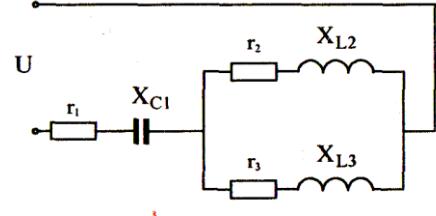


Рис. 2.2.10

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Тема: Расчет режима резонанса напряжений

Обучающийся должен

знать:

- условие возникновения резонанса напряжения;
- характеристики режима резонанса;

уметь:

– рассчитывать резонансные режимы.

Задание: Решить задачу своего варианта.

Определите емкость конденсатора или индуктивность катушки, необходимых для возникновения в данной цепи резонанса напряжения. Начертите схему своего варианта.

Таблица. Исходных данных к задаче

Номера вариантов	Номера рисунков	Ом	Я*. Ом	**/ Ом	**/.. Ом	Х ₁ Ом	Х ₂₋₇ Ом	Дополнительная величина	Номера	R1, Ом	Я2, Ом	X ₄ , Ом	*L2 Ом	X _{C\} Ом	X _{CQ} Ом	Дополнительная величина
									вариантов	рисунков	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом
01	12	8	4	18		•2		/ = 10 А	41	16	12	—	10	4	20	10 Q=—64 вар
02	12	10	20	50	—	10	—	P = 120 Вт	42	16	32	—	20	20	6	10 / = 4 А
03	12	3	1	5	—	2		P ₂ = 100 Вт	43	16	32	—	25	15	8	8 u _u = 125 В
04	12	12	20	30		6		U\ = 72 В	44	16	40	—	30	20	12	8 S = 800 В·А
05	12	4	8	18		2		U = 40 В	45	16	80	—	10	10	40	40 Q ₂ = 40 вар
06	12	2	1	4	—	8	—	QI = — 96 вар	46	16	4	—	2	8	4	3 U ₂ = 15 В
07	12	20	10	10		50		Q = — 640 вар	47	16	12	—	20	10	4	10 U = 80 В
08	12	1	3	2	—	5	—	Qci = — 1 25 вар	48	16	40	—	10	10	30	20 Qci = — 480 вар
09	12	1	2	8	—	4		5 = 80 В·А	49	16	24	—	8	10	20	30 P = 96 Вт
10	12	8	4	6	■	22	—	P ₁ = 32 Вт	50	16	3	—	5	5	4	2 u _{in} = 30 В
11	13	6	■—;	2	10	4	—	U = 40 В	51	17	4	2	5	6	3	— / = 5 А
12	13	4	—	6	2	5		P = 16 Вт	52	17	8	4	10	15	9	— / = 10 А
13	13	16	—	15	5	8	—	Q _{LL} = 135 вар	53	17	2	4	6	5	3	— U = 50 В
14	13	32	—	8	4	12	—	Q _{L2} = 16 вар	54	17	4	8	10	15	9	— Q = 1600 вар
15	13	8	—	2	2	10	—	Qo = — 20 вар	55	17	4	2	5	6	3	— P = 150 Вт
16	13	3	—	10	12	26	—	P\ = 48 Вт	56	17	4	8	15	10	9	— U = 200 В
17	13	40	—	8	6	16	—	U ₂ = 12 В	57	17	2	4	6	5	3	— Q = 200 вар
18	13	16	—	3	5	20	—	Q _{CI} = — 720 вар	58	17	8	4	10	15	9	— P = 1200 Вт
19	13	6	—	10	2	4	—	/ = 5 А	59	17	4	2	6	5	3	— S = 250 В·А
20	13	4	—	3	6	12	—	5 = 500 В·А	60	17	8	4	15	10	9	— S = 2000 В·А
21	14	4	—	6	—	4	5	P = 100 Вт	61	18	8	—	12	—	6 Я = 72 Вт	
22	14	8	—	6	—	8	4	U ₂ = 40 В	62	18	4	—	15	—	12 U = 30 В	
23	14	80	—	100	—	25	15	/ = 1 А	63	18	3	—	8	—	4 / = 3 А	
24	14	60	—	20	—	40	60	Q _{ci} = — 240 вар	64	18	4	—	5	—	8 Q _{LL} = 80 вар	
25	14	48	—	36	—	60	40	P ₁ = 432 Вт	65	18	8	—	6	—	12 Q = — 48 вар	
26	14	4	—	9	—	3	3	U = 20 В	66	18	4	—	5	—	8 P = 256 Вт	
27	14	40	—	50	—	12	8	Q/i = 200 вар	67	18	4	—	8	—	5 S = 320 В·А	
28	14	12	—	16	—	10	6	U _u = 160 В	68	18	4	—	5	—	8 Q = — 192 вар	
29	14	24	—	28	—	35	25	S = 1000 В·А	69	18	3	—	8	—	4 / = 8 А	
30	14	8	—	12	—	4	2	Q _u = 48 вар	70	18	8	—	12	—	6 S = 90 В·А	
31	15	10	14	18	—	20	30	U ₂ = 28 В	71	19	2	6	—	10	4 U = 20 В	
32	15	6	2	10	—	1	3	P = 200 Вт	72	19	6	10	8	20	— Q = — 192 вар	
33	15	40	20	20	—	80	20	Q _{ci} = — 320 вар	73	19	6	2	—	16	10 P = 32 Вт	
34	15	30	34	32	—	50	30	U _{cx} = 500 В	74	19	10	6	—	8	20 P = 256 Вт	
35	15	1	3	10	—	4	3	Q = 48 вар	75	19	4	4	—	2	8 / = 2 А	
36	15	3	1	5	—	6	2	S = 1 80 В·А	76	19	10	6	—	20	8 / = 4 А	
37	15	24	40	52	—	40	60	Q _{ci} = 468 вар	77	19	3	1	—	9	6 U = 80 В	
38	15	2	6	4	—	2	8	U = 40 В	78	19	6	2	—	4	10 Q = — 24 вар	
39	15	14	10	50	—	10	8	/ = 5 А	79	19	6	10	—	20	8 S = 320 В·А	
40	15	50	30	100	—	20	20	P = 480 Вт	80	19	3	5	—	12	6 S = 40 В·А	

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Тема: Расчет режима резонанса токов

Обучающийся должен

знать:

- условие возникновения резонанса токов;
- характеристики режима резонанса;

уметь:

- рассчитывать резонансные режимы.

Задание: Решить задачу своего варианта.

Задача. Цепь, состоящая из двух параллельных ветвей, параметры которых r_1 , X_{L1} , X_{C1} , r_2 , X_{L2} , X_{C2} , приведены в табл. 1, присоединена к сети напряжением U и частотой $f = 50$ Гц. Определите емкость конденсатора или индуктивность катушки, необходимых для возникновения в данной цепи резонанса токов.

Таблица. Исходных данных к задаче

Номера вариантов	Номера рисунка схемы	Задаваемые величины							
		U, В	r_1 , Ом	X_{L1} , Ом	X_{C1} , Ом	r_2 , Ом	X_{L2} , Ом	X_{C2} , Ом	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
00, 50	2.1.1	127	75↑	75	10	10	20	–	
01, 51	2.1.2	220	10	70↑	15	15	25	100	
02, 52	2.1.3	380	15↓	65	–	20	30	150	
03, 53	2.1.4	660	20	60	25	25↑	–	200	
04, 54	2.1.5	127	25	–	30	30	40↑	250	
05, 55	2.1.1	220	30↓	50	35	35	45	–	
06, 56	2.1.2	380	35	45↓	40	40	50	300	
07, 57	2.1.3	660	40	40	–	45↓	55	350	
08, 58	2.1.4	127	45	35	50↓	50	–	60	
09, 59	2.1.5	220	50	–	55	55↓	65	70	
10, 60	2.1.1	380	55↑	25	60	60	70	–	
11, 61	2.1.2	660	60	20↑	65	65	75	90	
12, 62	2.1.3	127	65↓	15	–	70	80	5	
13, 63	2.1.4	220	70	10	75	75↑	–	10	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
14, 64	2.1.5	380	75	–	80	80	90↑	15
15, 65	2.1.1	660	80↓	5	10	80	90	–
16, 66	2.1.2	127	75	10↓	15	75	80	25
17, 67	2.1.3	220	70	15	–	70↓	80	30
18, 68	2.1.4	380	65	20	25	65↓	–	35
19, 69	2.1.5	660	60	–	30	60	70↓	40
20, 70	2.1.1	127	55	30	35↑	55	65	–
21, 71	2.1.2	220	50↑	35	40	50	60	50
22, 72	2.1.3	380	45	40↑	–	45	55	55
23, 73	2.1.4	660	40	45	45	40↑	–	60
24, 74	2.1.5	127	35	–	50	35	45↑	65
25, 75	2.1.1	220	30	55	55↓	30	40	–
26, 76	2.1.2	380	25	60↑	60	25	35	75
27, 77	2.1.3	660	20	65	–	20↑	30	80
28, 78	2.1.4	127	15	70	65	15	–	85↑
29, 79	2.1.5	220	10	–	70	10	20↓	90
30, 80	2.1.1	380	10↓	50	5	100	50	–
31, 81	2.1.2	660	20	45↓	10	90	55	45
32, 82	2.1.3	127	30	40	–	80	60↑	40

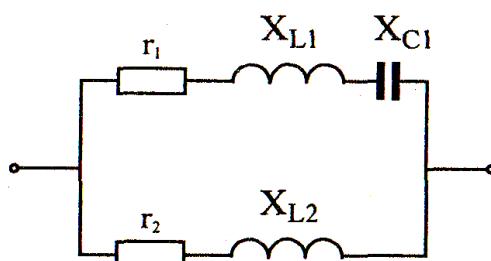


Рис. 2.1.1

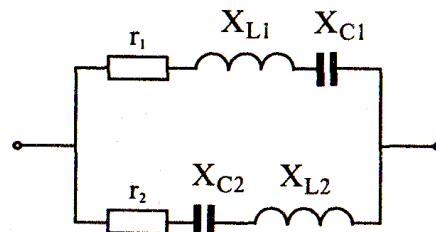


Рис. 2.1.2

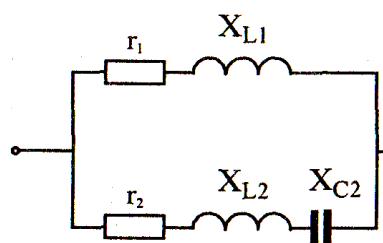


Рис. 2.1.3

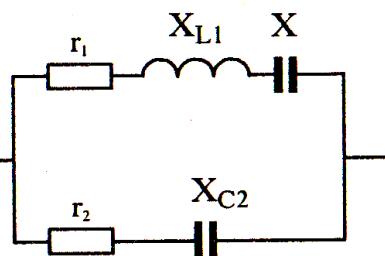


Рис. 2.1.4

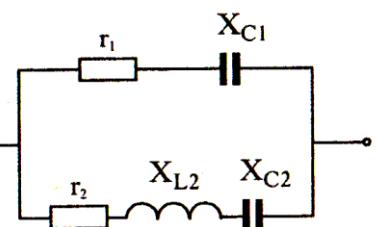


Рис. 2.1.5

Примечание. «↑» - величина, указанная в таблице 1, увеличивается, «↓» - уменьшается.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Тема: Расчет сложной цепи методом наложения

Обучающийся должен

знать:

- I закон Кирхгофа;
- II закон Кирхгофа;
- методы расчета сложных цепей;

уметь:

- рассчитывать сложную цепь методом узловых и контурных уравнений, методом наложения;
- строить потенциальную диаграмму.

Задача. Для электрической схемы, изображенной на рис. 1, по указанным в таблице параметрам выполните следующее задание:

1. Изобразите схему для своего варианта в удобном для расчета виде.
2. Составьте на основании закона Кирхгофа систему необходимых уравнений для расчетов токов во всех ветвях схемы и определите их.
3. Определите токи в ветвях, пользуясь методом наложения.
4. Постройте потенциальную диаграмму для любого контура.
5. Определите мощности источников, приемников электрической энергии и мощности потерь внутри источников.
6. Составьте баланс мощностей.
7. В общем виде в логической последовательности покажите, как изменится потеря мощности внутри источника при изменении указанного сопротивления.

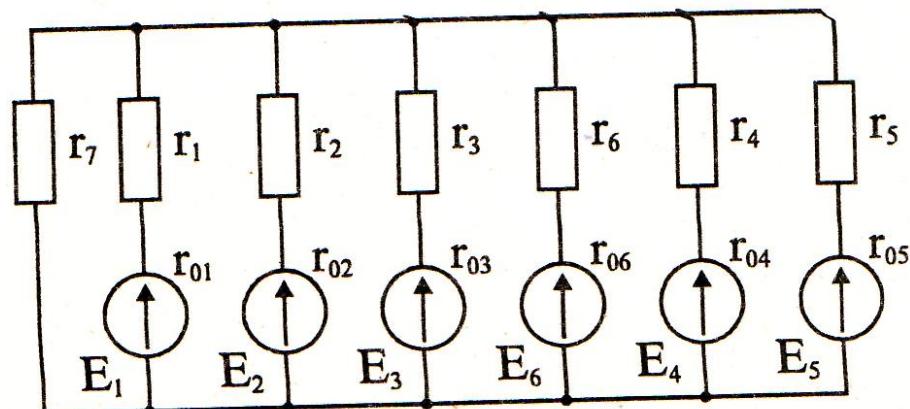


Рис. 5

Таблица. Исходные данные к задаче

Номера вариантов	Заданные величины																			
	E ₁ , В	E ₂ , В	E ₃ , В	E ₄ , В	E ₅ , В	E ₆ , В	R ₀₁ Ом	R ₀₂ Ом	R ₀₃ Ом	R ₀₄ Ом	R ₀₅ Ом	R ₀₆ Ом	R ₁ Ом	R ₂ Ом	R ₃ Ом	R ₄ Ом	R ₅ Ом	R ₆ Ом	R ₇ Ом	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
00, 50	90	60	—	—	—	—	0,1	0,2	—	—	—	—	9,9	9,8↑	—	—	—	—	10	
01, 51	—	70	50	—	—	—	—	0,3	0,2	—	—	—	—	9,7	9,8↑	—	—	—	10	
02, 52	—	—	60	03	—	—	—	—	0,4	0,4	—	—	—	—	9,6↑	9,6	—	—	10	
03, 53	60	—	90	—	—	—	0,1	—	0,3	—	—	—	9,9	—	9,7↑	—	—	—	10	
04, 54	70	—	—	80	—	—	0,4	—	—	0,5	—	—	9,6	—	—	9,5↓	—	—	10	
05, 55	—	90	—	60	—	—	—	0,3	—	0,3	—	—	—	9,7↑	—	9,7	—	—	10	
06, 56	80	—	—	—	130	—	0,2	—	—	0,1	—	0,1	—	9,8↑	—	—	—	9,9	—	10
07, 57	—	90	—	—	60	—	—	0,1	—	—	0,2	—	—	9,9↑	—	—	9,8	—	10	
08, 58	—	—	120	—	90	—	—	—	0,1	—	0,3	—	—	—	9,9↑	—	9,7	—	10	
09, 59	—	—	—	110	100	—	—	—	—	0,1	0,4	—	—	—	—	9,9↑	9,6	—	10	
10, 60	100	—	—	—	—	50	0,1	—	—	—	—	0,2	9,9	—	—	—	—	9,8↑	10	
11, 61	110	—	—	—	—	60	0,2	—	—	—	—	0,1	9,8	—	—	—	—	9,9↓	10	
12, 62	—	120	—	—	—	70	—	0,3	—	—	—	0,3	—	9,7↓	—	—	—	9,7	10	
13, 63	—	—	50	—	—	40	—	—	0,2	—	—	0,2	—	9,8	—	—	—	9,8↓	10	
14, 64	—	—	—	40	—	50	—	—	—	0,4	—	0,3	—	—	—	9,6↓	—	9,7	10	
15, 65	—	—	—	—	70	20	—	—	—	—	0,5	0,5	—	—	—	—	9,5↓	9,5	10	
16, 66	100	—	—	50	—	—	0,1	—	—	0,1	—	—	9,9↑	—	—	9,9	—	—	10	
17, 67	120	—	—	—	100	—	0,2	—	—	—	0,2	—	9,8	—	—	—	9,8↑	—	10	
18, 68	—	100	—	—	—	50	—	0,3	—	—	—	0,3	—	9,7	—	—	—	9,7↑	10	
19, 69	—	—	120	—	60	—	—	—	0,5	—	0,4	—	—	9,5	—	9,6↑	—	—	10	
20, 70	20	—	—	120	—	—	0,3	—	—	0,4	—	—	9,7	—	—	9,6↑	—	—	10	
21, 71	—	40	—	—	100	—	—	0,2	—	—	0,2	—	—	9,8↓	—	—	9,8	—	10	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
22, 72	—	—	70	—	—	90	—	—	0,1	—	—	0,1	—	—	9,9↓	—	—	9,9	10
23, 73	80	—	—	50	—	—	0,5	—	—	0,3	—	—	9,5	—	—	9,7↓	—	—	10
24, 74	—	70	—	—	40	—	—	0,3	—	—	0,1	—	—	9,7	—	—	9,9↓	—	10
25, 75	—	—	60	—	—	30	—	—	0,2	—	—	0,4	—	—	9,8	—	—	9,6↓	10
26, 76	—	—	—	50	—	20	—	—	—	0,4	—	0,2	—	—	9,6	—	9,8↑	10	
27, 77	—	100	50	—	—	—	—	0,2	0,3	—	—	—	—	9,8↑	9,7	—	—	—	10
28, 78	—	120	—	50	—	—	—	0,5	—	0,2	—	—	—	9,5	—	9,9↑	—	—	10
29, 79	—	—	80	—	20	—	—	—	0,2	—	0,2	—	—	—	9,8↑	—	9,8	—	—
30, 80	120	20	50	—	—	—	0,1	0,3	0,2	—	—	—	9,9	9,7↑	9,8	—	—	—	—
31, 81	—	110	30	40	—	—	—	0,1	0,2	0,2	—	—	—	9,9	9,8↑	9,8	—	—	—
32, 82	—	—	100	50	70	—	—	—	0,2	0,3	0,4	—	—	—	9,8	9,7↑	9,6	—	—
33, 83	—	—	—	100	30	80	—	—	—	0,1	0,2	0,3	—	—	—	9,9↓	9,8	9,7	—
34, 84	110	—	30	—	—	50	0,2	—	0,3	—	0,5	9,8	—	9,7	—	—	0,5	—	—
35, 85	—	100	—	40	—	60	—	0,2	—	0,4	—	0,3	—	9,8↓	—	9,7	—	—	—
36, 86	90	—	20	—	80	—	0,1	—	0,2	—	0,3	—	9,9	—	9,8↓	—	9,7	—	—
37, 87	—	60	—	50	—	100	—	0,3	—	0,4	—	0,5	—	9,7	—	9,6↓	—	9,5	—
38, 88	—	—	60	20	40	—	—	—	0,3	0,2	0,1	—	—	9,7	9,8	9,9↓	—	—	—
39, 89	100	—	—	30	—	80	0,4	—	—	0,3	—	0,2	9,6	—	9,7	—	9,8↓	—	—
40, 90	—	80	20	—	60	—	—	0,7	0,6	—	0,5	—	—	9,3↑	9,4	—	9,5	—	—
41, 91	—	90	—	100	—	30	—	0,2	—	0,3	—	0,4	—	9,8	—	9,7↑	—	9,6	—
42, 92	120	—	60	—	20	—	0,7	—	0,6	—	0,5	—	9,3	—	9,4	—	9,5↑	—	—
43, 93	—	120	—	30	—	10	—	0,3	—	0,4	—	0,5	—	9,7	—	9,6	—	9,5↑	—
44, 94	60	—	30	—	20	—	0,6	—	0,5	—	0,4	—	9,4	—	9,5↑	—	9,6	—	—
45, 95	40	—	—	—	30	70	0,4	—	—	—	0,5	0,6	9,6	—	—	—	5↑	9,4	—
46, 96	—	80	60	20	—	—	0,2	0,3	0,4	—	—	—	9,8↓	9,7	9,6	—	—	—	—
47, 97	—	—	—	70	60	50	—	—	0,7	0,6	0,5	—	—	—	9,3	9,4	9,5↓	—	—
48, 98	100	40	20	—	—	—	0,8	0,7	0,6	—	—	—	9,1	9,3↓	9,4	—	—	—	—
49, 99	—	—	20	40	100	—	—	0,8	0,6	0,2	—	—	—	9,2	9,4↓	9,8	—	—	—

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Тема: Расчет электростатических полей

Обучающийся должен

знать:

- понятие конденсаторов;
- свойство параллельного и последовательного соединения конденсаторов;

уметь:

- рассчитывать электростатические цепи при смешанном соединении конденсаторов.

Задача. Определите заряд, энергию электрического поля каждого конденсатора, эквивалентную емкость цепи, энергию, потребляемую цепью. Данные для решения задачи указаны в таблице. В общем виде, в логической последовательности покажите, как изменится энергия электрического поля всей цепи при изменении емкости, указанной в таблице.

Таблица. Исходных данных к задаче

Номер варианта	Номер рисунка, схемы	Задаваемые величины							Номер варианта	Номер рисунка, схемы	Задаваемые величины								
		U, кВ	C ₁ , мкФ	C ₂ , мкФ	C ₃ , мкФ	C ₄ , мкФ	C ₅ , мкФ	C ₆ , мкФ			1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	24, 74	1.1.5	3	10↓	20	30	40	50	60	60	60
00, 50	1.1.1	1	10↑	20	30	40	50	60	25, 75	1.1.1	6	20	30↓	40	50	60	60	10	10
01, 51	1.1.2	10	20	30↑	40	50	60	10	26, 76	1.1.2	5	30	40	50↑	60	10	20	20	20
02, 52	1.1.3	9	30	40	50↑	60	10	20	27, 77	1.1.3	4	40	50	60	10↑	20	30	30	30
03, 53	1.1.4	8	40	50	60	40↑	20	30	28, 78	1.1.4	3	50	60	70	20	30↑	40	40	40
04, 54	1.1.5	7	50	60	10	20	30↑	40	29, 79	1.1.5	2	60	10	20	30	40	50↑	50↑	50↑
05, 55	1.1.1	2	60	10	20	30	40	50↑	30, 80	1.1.1	7	10↑	20	30	40	50	60	60	60
06, 56	1.1.2	9	10↑	20	30	40	50	60	31, 81	1.1.2	4	20	30↑	40	50	60	60	10	10
07, 57	1.1.3	8	20	30↑	40	50	60	10	32, 82	1.1.3	3	30	40	50↑	60	10	20	20	20
08, 58	1.1.4	7	30	40	50↑	60	10	20	33, 83	1.1.4	2	40	50	60	10↑	20	30	30	30
09, 59	1.1.5	6	40	50	60	10↑	20	30	34, 84	1.1.5	1	50	60	10	20	30↑	40	40	40
10, 60	1.1.1	3	50	60	10	20	30↑	40	35, 85	1.1.1	8	60	10	20	30	40	50↑	50↑	50↑
11, 61	1.1.2	8	60	10	20	30	40	50↑	36, 86	1.1.2	3	10↑	20	30	40	50	60	60	60
12, 62	1.1.3	7	10↓	20	30	40	50	60	37, 87	1.1.3	2	20	30↑	40	50	60	60	10	10
13, 63	1.1.4	6	20	30↓	40	50	60	70	38, 88	1.1.4	1	30	40	10↑	60	10	20	20	20
14, 64	1.1.5	5	30	40	50↓	60	10	20	39, 89	1.1.5	2	40	50	60	10↑	20	30	30	30
15, 65	1.1.1	4	40	50	60	10↓	20	30	40, 90	1.1.1	9	50	60	10	20	30↑	40	40	40
16, 66	1.1.2	7	50	60	10	20	30↓	40	41, 91	1.1.2	2	60	10	20	30	40	50	50	50
17, 67	1.1.3	6	60	10	20	30	40	50↓	42, 92	1.1.3	1	10↓	20	30	40	50	60	60	60
18, 68	1.1.4	5	10↓	20	30	40	50	60	43, 93	1.1.4	9	20	30↓	40	50	60	60	10	10
19, 69	1.1.5	4	20	30↓	40	50	60	10	44, 94	1.1.5	1	30	40	50↓	60	10	20	20	20
20, 70	1.1.1	5	30	40	50↓	60	10	20	45, 95	1.1.1	10	40	50	60	10↓	20	30	30	30
21, 71	1.1.2	6	40	50	60	10↓	20	30	46, 96	1.1.2	1	50	60	10	20	30↓	40	40	40
22, 72	1.1.3	5	50	60	10	20	30↓	40	47, 97	1.1.3	10	60	10	20	30	40	50	60	60
23, 73	1.1.4	4	60	10	20	30	40	50↓	48, 98	1.1.4	2	10↓	20	30	40	50	60	70	70
									49, 99	1.1.5	3	20	30↓	40	50	60	60		

Примечание. В таблице к задаче условное обозначение «↑» означает, что данная емкость увеличивается, «↓» означает, что данная емкость уменьшается.

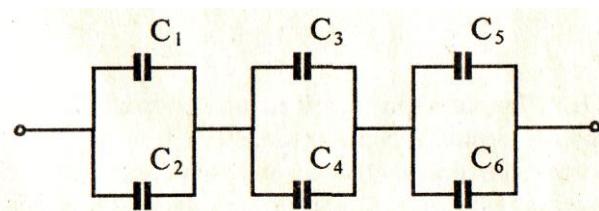


Рис. 1.1.1

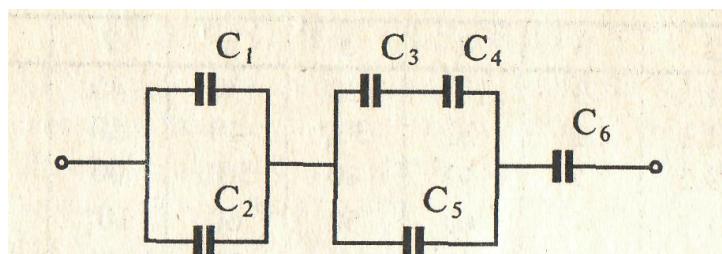


Рис. 1.1.2

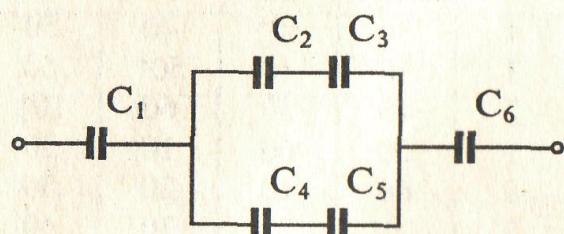


Рис. 1.1.3

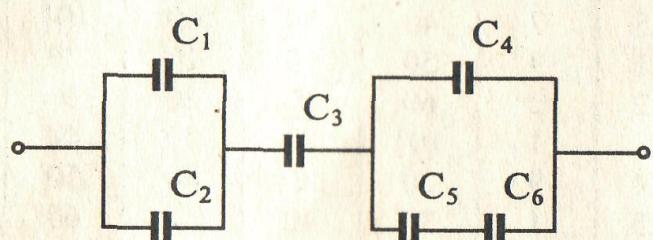


Рис. 1.1.4

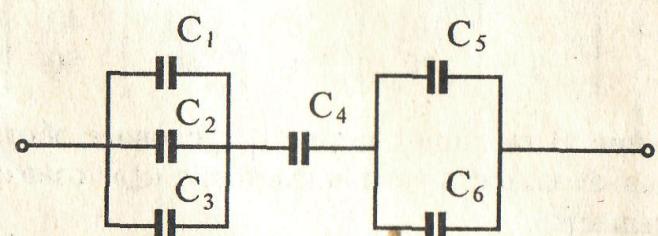


Рис. 1.1.5

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Тема: Расчет цепи постоянного тока при смешанном соединении сопротивлений

Обучающийся должен

знать:

- свойства цепи при последовательном соединении сопротивлений;
- свойства цепи при параллельном соединении сопротивлений;
- законы Ома, Кирхгофа;

уметь:

- рассчитывать электрическую цепь постоянного тока при смешанном соединении сопротивлений.

Задача. Для электрической цепи, изображенной на рис. 1., начертите схему в удобном для расчета виде.

Определите: а) эквивалентное сопротивление цепи; б) токи в каждом сопротивлении и всей цепи; в) падение напряжения на каждом сопротивлении; г) мощность всей цепи; д) энергию, потребляемую за 10 часов. В общем виде в логической последовательности покажите, как изменится ток при изменении указанного в таблице сопротивления. Данные для решения задачи указаны в таблице.

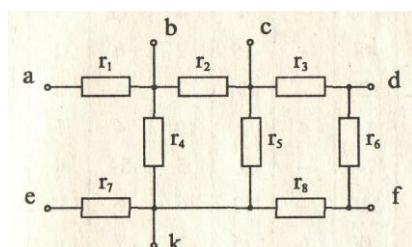


Рис. 6

Таблица. Исходных данных к задаче

Номер варианта	Точки приложенного напряжения	Задаваемые величины									
		U, В	r_1 , Ом	r_2 , Ом	r_3 , Ом	r_4 , Ом	r_5 , Ом	r_6 , Ом	r_7 , Ом	r_8 , Ом	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
00, 50	a-e	12	4↑	3	2	6	6	2	5	2	
01, 51	b-c	10	—	2↑	3	6	4	6	—	5	
02, 52	d-f	36	—	4	3↑	2	5	4	—	2	
03, 53	c-d	150	—	2	3	4↑	5	6	—	8	
04, 54	k-f	48	—	3	4	5	6↑	7	—	1	
05, 55	b-k	120	—	4	5	6	7	8↑	—	2	
06, 56	c-k	15	—	5	6	7	8↑	1	—	3	
07, 57	a-k	24	5	6	7	8	1	2	—	4↑	
08, 58	e-b	110	—	7↓	8	1	2	3	4	5	
09, 59	f-d	200	—	8↓	1	2	3	4	—	6	
10, 60	b-c	12	—	10	4↓	4	12	4	—	4	
11, 61	d-f	10	—	4	4	10↓	4	12	—	4	
12, 62	c-d	36	—	12	4	44	10↓	4	—	4	
13, 63	k-f	150	—	4	4	12	4	10↓	—	6	
14, 64	b-k	48	—	10	2	6	2	5↓	—	3	
15, 65	c-k	120	—	15↑	7	4	8	2	—	4	
16, 66	a-k	15	4	2	10↑	4	3	1	—	1	
17, 67	e-b	24	—	2	5	5↑	4	2	—	2	
18, 68	f-d	110	—	12	6	6	3↑	4	—	3	
19, 69	a-e	200	6	15	7	7	6	8↑	4	1	
20, 70	b-c	36	—	121	12	12	24	36	—	12↑	
21, 71	d-f	48	—	6↓	61	6	12	18	—	6	
22, 72	c-d	60	—	3	3↓	3	6	8	—	4	
23, 73	k-f	90	—	24	24	24↓	48	72	—	8	

Номер варианта	Точки приложенного напряжения	Задаваемые величины									
		U, В	r_1 , Ом	r_2 , Ом	r_3 , Ом	r_4 , Ом	r_5 , Ом	r_6 , Ом	r_7 , Ом	r_8 , Ом	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
24, 74	b-k	120	—	12	18	9	24↓	36	—	6	
25, 75	c-k	150	—	16	16	16	32	32↓	—	18	
26, 76	a-k	180	6	20	20	20	40	40	—	9↓	
27, 77	e-b	210	—	25↑	25	25	50	50	50	30	10
28, 78	f-d	240	—	30	30↑	30	60	60	—	20	
29, 79	b-c	24	—	10	10	10↑	6	6	—	4	
30, 80	d-f	12	—	36	150	36	72↑	100	—	14	
31, 81	c-d	24	—	72	300	72	144	200↑	—	28	
32, 82	k-f	36	—	18	75	18	72	100	—	14↑	
33, 83	b-k	48	—	12	12↓	12	24	24	—	12	
34, 84	c-k	60	—	6↓	6	12	12	6	—	6	
35, 85	a-k	72	4	12	12↓	6	6	12	—	1	
36, 86	e-b	84	—	24	24	12↓	12	24	6	24	
37, 87	f-d	96	—	12	24	36	18↓	12	—	18	
38, 88	a-e	108	12	24	36	12	6	24↓	6	12	
39, 89	b-c	120	—	36	24	12	6	36	—	24↓	
40, 90	a-e	48	8	6↑	12	6	12	30	4	48	
41, 91	b-c	60	—	8	14↑	8	14	40	—	50	
42, 92	d-f	72	—	10	16	10↑	16	40	—	50	
43, 93	c-d	84	—	12	16	12	16↑	50	—	40	
44, 94	k-f	96	—	16	12	16	12↑	60	—	60	
45, 95	b-k	108	—	20	24	20	16	50	—	50↑	
46, 96	c-k	120	—	25↓	24	25	24	25	—	25	
47, 97	a-k	136	2	4	6↓	4	6	4	—	6	
48, 98	e-b	124	—	6	4	6↓	4	6	4	4	

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Тема: Определение погрешностей при измерении электрических величин

Обучающийся должен

знать:

- Основные электромеханические измерительные приборы;

уметь:

- Проводить расчет абсолютной, относительной, приведенной погрешностей;

Задача. Измерение мощности нагрузки в цепи постоянного тока выполнено методом с помощью амперметра и вольтметра. При этом были использованы амперметр типа $M342$, имеющий предел измерения (номинальный ток) I_n и класс точности γ_d ; вольтметр типа $M717$ с пределом измерения (номинальным напряжением) U_n и классом точности γ_d .

1.

Таблица. Исходных данных к задаче

Номер варианта	Наименование параметров					
	амперметра			вольтметра		
	I_n , А	γ_d , %	I_i , А	U_n , в	γ_d , %	U_i , В
0	1	1,5	0,5	150	1,5	50
1	3	1,5	2	150	1,5	75
2	5	2,5	4	150	1,5	100
3	10	2,5	8	150	1,5	120
4	1	1,5	0,75	150	1,5	50
5	3	1,5	1,5	250	1,5	75
6	5	2,5	3	250	1,5	100
7	8	2,5	6	250	1,5	150
8	1	1,5	0,6	250	1,5	50
9	3	1,5	1,0	250	1,5	75

Методические указания к решению задачи

Задача. Измерение мощности нагрузки в цепи постоянного тока выполнено методом с помощью амперметра и вольтметра. При этом были использованы амперметр типа $M342$, имеющий предел измерения (номинальный ток) $I_n = 10 A$ и класс точности $\gamma_d = 2,5\%$; вольтметр типа $M717$ с пределом измерения (номинальным напряжением) $U_n = 250 V$ и классом точности $\gamma_d = 1,5\%$.

Показания приборов: амперметра – $I_u = 5 A$, $U_u = 120 V$.

Определить:

1. Абсолютную погрешность приборов ΔI и ΔU ;
2. Относительную погрешность при измерении тока и напряжения δI и δU ;
3. Относительную погрешность при измерении мощности δP .

Решение:

1. Абсолютную погрешность приборов ΔI и ΔU :

$$\Delta I = \pm \frac{\gamma_\delta \cdot I_u}{100} = \pm \frac{2,5 \cdot 10}{100} = \pm 0,25 \text{ A}$$

$$\Delta U = \pm \frac{\gamma_\delta \cdot U_u}{100} = \pm \frac{1,5 \cdot 250}{100} = \pm 3,75 \text{ B}$$

2. Относительную погрешность при измерении тока δI :

$$\delta I = \frac{\Delta I}{I_u} \cdot 100\% = \pm \frac{0,25}{5} \cdot 100 = \pm 5\% \quad \text{или}$$

$$\delta I = \gamma_\delta \cdot \frac{I_u}{I_u} = \pm 2,5 \cdot \frac{10}{5} = \pm 5\%.$$

Относительную погрешность при измерении напряжения δU :

$$\delta U = \frac{\Delta U}{U_u} \cdot 100\% = \pm \frac{3,75}{120} \cdot 100 = \pm 3,125\% \quad \text{или}$$

$$\delta U = \gamma_\delta \cdot \frac{U_u}{U_u} = \pm 1,5 \cdot \frac{250}{120} = \pm 3,125\%.$$

3. Относительную погрешность при измерении мощности δP косвенным методом:

$$\delta P = (\delta U \cdot I + \delta I \cdot I) = \pm (5 + 3,125) = \pm 8,125\%.$$

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Тема: Определение параметров электрической цепи переменного тока с помощью измерительных приборов

Обучающийся должен

знать:

- Основные электромеханические измерительные приборы;

уметь:

- Проводить расчет основных электрических величин, составлять схемы;

Задача. Для исследования цепи однофазного переменного тока с катушкой индуктивности включены приборы: амперметр, вольтметр, ваттметр и фазометр. Начертите схему цепи, определите величины: 1) показания ваттметра P ; 2) активное сопротивление цепи r ; 3) реактивное сопротивление X ; 4) полное сопротивление Z ; 5) полную мощность S ; 6) реактивную мощность Q ; 7) индуктивность катушки L . Частота тока 50 Гц.

Таблица. Исходных данных к задаче

Номер варианта	Наименование параметров		
	I, A	U, В	$\cos\phi$
0	5	127	0,75
1	4,09	220	0,77
2	7,07	110	0,625
3	3,5	117	0,6
4	2,54	127	0,2
5	4	220	0,83
6	3	127	0,9
7	2	220	0,8
8	7,87	127	0,8
9	5,75	220	0,75

Методические указания к решению задачи

Задача. Для исследования цепи однофазного переменного тока с катушкой индуктивности включены приборы: амперметр, вольтметр, ваттметр и фазометр. Начертите схему цепи, определите величины: 1) показания ваттметра P ; 2) активное сопротивление цепи r ; 3) реактивное сопротивление X ; 4) полное сопротивление Z ; 5) полную мощность S ; 6) реактивную мощность Q ; 7) индуктивность катушки L . Частота тока 50 Гц.

Дано:

$$f = 50 \text{ Гц}; I = 3,8 \text{ А}; U = 220 \text{ В}; \cos\phi = 0,48.$$

Решение:

1. Показания ваттметра: $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = 220 \cdot 3,8 \cdot 0,48 = 401 \text{ Вт.}$
2. Полное сопротивление катушки: $Z = \frac{U}{I} = \frac{220}{3,8} = 58 \text{ Ом.}$
3. Активное сопротивление катушки: $r = Z \cdot \cos \varphi = 58 \cdot 0,48 = 28 \text{ Ом.}$
4. Индуктивное сопротивление катушки: $X_L = \sqrt{Z^2 - r^2} = \sqrt{58^2 - 28^2} = 51 \text{ Ом.}$
5. Индуктивность катушки: $L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{51}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,16 \text{ Гн.}$
6. Полная мощность цепи: $S = U \cdot I = 220 \cdot 3,8 = 836 \text{ ВА.}$
7. Реактивная мощность цепи: $Q = S \cdot \sin \varphi = 220 \cdot 3,8 \cdot 0,87 = 727 \text{ ВАр.}$

$$\varphi = \arccos 0,48 = 68^\circ; \quad \sin 68^\circ = 0,87.$$

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

«Измерение мощности потерь энергии в ферромагнитном сердечнике»

Цель работы: исследовать электрические и магнитные потери энергии в ферромагнитном сердечнике.

Пояснение к работе:

Потери энергии в обмотке катушки

Энергия, потребляемая катушкой, расходуется на покрытие не только магнитных потерь (потерь в ферромагнитном сердечнике), но и электрических (потерь в обмотке).

Мощность электрических потерь — их часто называют потерями в меди — пропорциональна квадрату тока и активному сопротивлению обмотки R :

$$P_s = I^2 R \quad (1)$$

Таким образом, активная мощность катушки

$$P = P_M + P_s \quad (2)$$

а активная составляющая тока

$$I_a = P / U \quad (3)$$

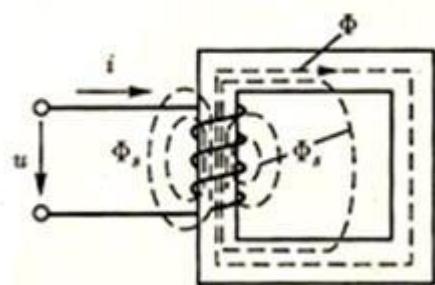


Рис. 1

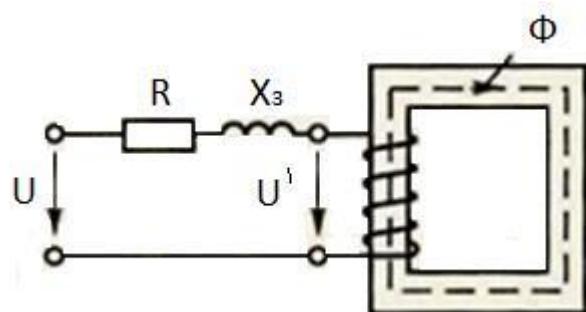


Рис.2

Магнитное рассеяние

Когда не учитывается магнитное рассеяние, предполагается, что магнитный поток катушки полностью замыкается по ферромагнитному сердечнику. Действительно, большая часть линий магнитной индукции замыкается по сердечнику, образуя основной магнитный поток Φ .

Но магнитное поле существует и в пространстве, окружающем сердечник, что можно изобразить линиями магнитной индукции, проведенными полностью или частично вне сердечника, в воздухе (рис.3).

Эти линии характеризуют другой магнитный поток Φ_3 , который называется потоком рассеяния.

Оба магнитных потока создаются одним и тем же током катушки, но из-за различия сред рассматриваются и определяются отдельно.

Основной магнитный поток Φ не пропорционален току, так как связан с ним нелинейной кривой намагничивания ферромагнитного сердечника. Поэтому ЭДС в катушке, наводимая основным потоком, определяется по формуле (4): $E = 4,44 Nf\Phi_m$

План работы

1. Определить размещение приборов на столе.
2. Собрать эл. схему цепи (рис. 1).
3. Параметры катушки:
 - а) количество витков $W_B = 160$;
 - б) сечение сердечника $Sk = 4.8 \text{ см}^2$;
 - в) вес стали $G = 0.5 \text{ кг}$;
 - г) сопротивление катушки $Rk \sim 1,2 \text{ Ом}$,
4. Определить цену деления приборов.
5. Предъявить собранную схему цепи для проверки преподавателю.
6. Включить выключатель Spитпеременного тока, предварительно установив потенциометр в положение $U = 0$. Изменяя напряжение, подводимое к катушке, от нуля до заданной преподавателем величины, снять показания приборов и занести их в табл. № 1.
7. По измеренным U , I , P вычислить $P_{ст}$ - потери в стали, P_m - потери в меди, P_o - удельные потери, B_m - максимальные потери, B - максимальное значение магнитной индукции.

$$P_{ст} = P - P_m;$$

$$P_m = I^2 Rk; P_o = \frac{P_{ст}}{G};$$

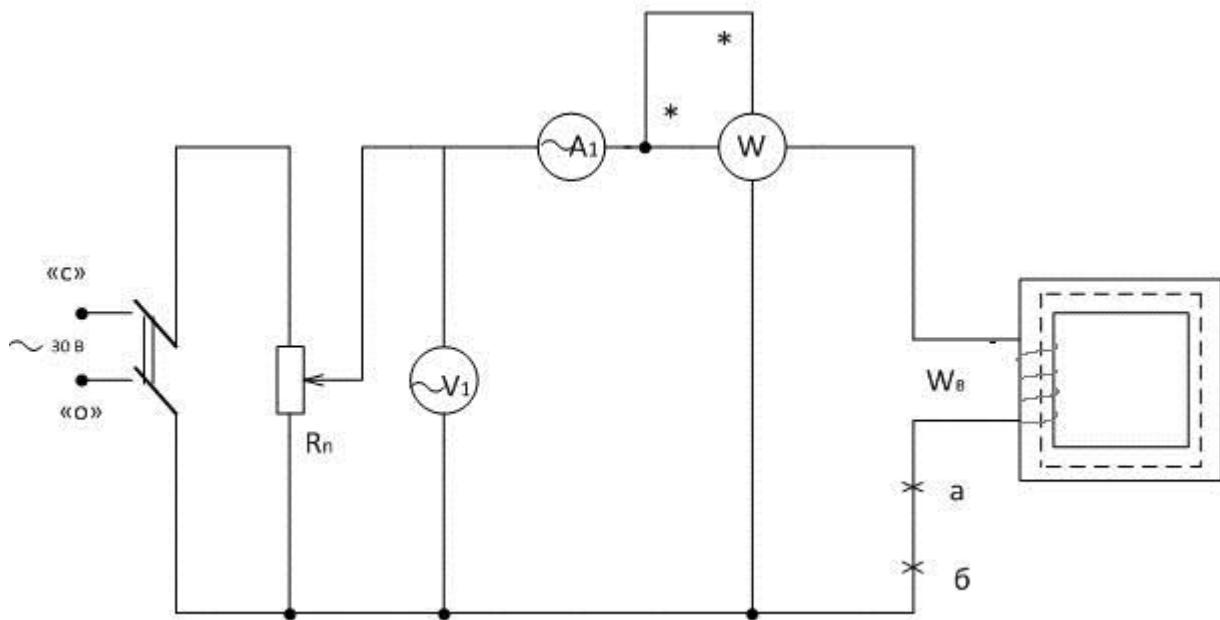
$$B_m = \frac{l \cdot 10^4}{4,44 \cdot \varphi \cdot W \cdot S},$$

Где S (см²) - сечение стального сердечника

8. По полученным данным построить графики:

$$I = f(U); P_o = f(B_m)$$

9. Сделать выводы по работе.



Таблица

№	измерить	вычислить					
U	I	P	f	Pст	Pм	Pо	B м
B	A	Вт	Гц	Вт	Вт	Вт/кг	T

*Включить последовательно с катушкой резистор 1 Ом мощностью 1-2 Вт и подключить к его выводам осциллографа. Согласно закону Ома, $I=U/R$; при $R=1$ Ом $I=U/1=U$, т.е. изменение напряжения на этом резисторе полностью отражает кривую тока (мощность рассеяния резистора $P=I^2R=1-2$ Вт (при $I \leq 1$ А), а, б – возможное место разрыва цепи для включения датчика тока).

Контрольные вопросы

1. Какие нелинейные элементы применяются в цепях переменного тока, и какие практические задачи в технике решаются с их помощью?
2. Как изменяется индуктивность катушки с ферромагнитным сердечником при изменении напряжения на ней?
3. Как влияет магнитный гистерезис на форму кривой тока в катушке со стальным сердечником? Каким образом можно увидеть эту кривую тока и исследовать ее?
4. Какие потери энергии называют потерями в стали, и какие потерями в меди?
5. Что такое магнитное рассеяние?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Тема: Расчет нелинейной цепи при последовательном, параллельном соединении нелинейных элементов

Законы Кирхгофа справедливы и для нелинейных цепей, но используя их, получаем систему нелинейных алгебраических уравнений. При решении нелинейных уравнений метод наложения неприменим. Общих аналитических методов расчета нелинейная теория не имеет. Для расчета нелинейных цепей применяют графические, аналитические и итерационные (последовательных приближений) методы.

Графические методы представляют собой решение алгебраических уравнений по законам Кирхгофа построениями на плоскости (метод преобразований, метод пересечений). Они отличаются наглядностью и достаточной точностью. Недостатком графических методов является то, что они не дают возможности решить задачу в общем виде.

Аналитические методы мало наглядны. Они основаны на приближенной аппроксимации нелинейной зависимости и применяются, когда необходимо отразить типично нелинейные черты устройства, установить качественную характеристику цепи. Аналитические методы отличаются большой трудоемкостью, а точность в большинстве случаев может быть не выше, чем при графических методах. Основным преимуществом аналитических методов является то, что они дают возможность получить решение в общем виде и сравнительно легко позволяют исследовать влияние различных параметров на поведение электрической цепи.

Учитывая формальную аналогию между электрической и магнитной цепью, для расчета нелинейных электрических цепей можно применять методы расчета магнитных цепей, но при этом вместо вебер-амперных характеристик $\Phi(U_m)$ использовать вольт-амперные характеристики $I(U)$.

Графические методы расчета

Нелинейные электрические цепи простой конфигурации удобно рассчитывать графическим методом. Расчет нелинейной цепи с последовательным, параллельным и смешанным соединением сводится к определению токов и напряжений на участках цепи с помощью вольт-амперных характеристик.

Последовательное соединение – метод преобразований

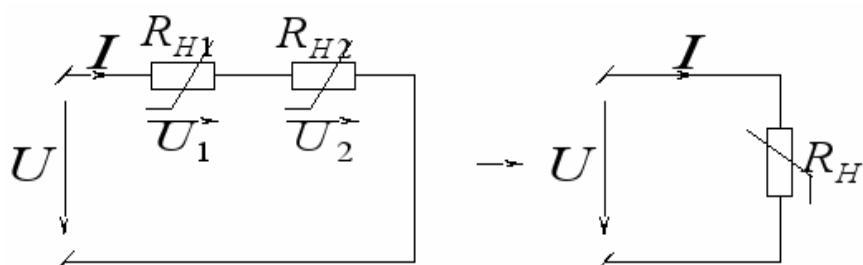


Рис. 3.4

Пример 1.

Заданы два последовательно соединенных нелинейных элемента (рис. 3.4) с вольт - амперными характеристиками $I(U_1)$, $I(U_2)$ (рис. 3.5), напряжение источника U . Определить ток в цепи и напряжение на каждом элементе U_1 , U_2 .

Два элемента можно заменить одним с характеристикой $I(U)$ (рис. 3.4).

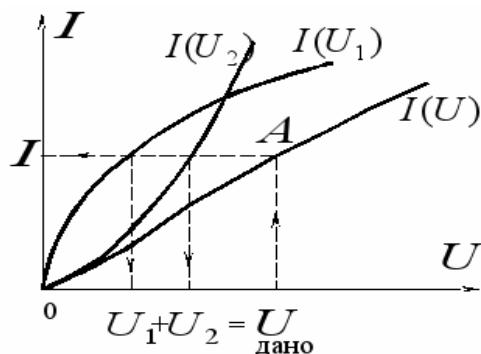


Рис. 3.5

Применяя второй закон Кирхгофа $U = U_1 + U_2$, для каждого значения тока суммируют соответствующие значения U_1 и U_2 каждой характеристики и получают суммарное напряжение в функции тока:

$$U = U_1 + U_2 = f(I).$$

Таким образом, последовательное соединение двух нелинейных сопротивлений можно заменить одним нелинейным сопротивлением с характеристикой $I(U)$. Для любого значения напряжения U , приложенного к цепи, можно определить ток I и напряжения на нелинейных элементах U_1 и U_2 . Аналогично решают задачу, когда имеется несколько нелинейных сопротивлений, соединенных последовательно. При этом используют второй закон Кирхгофа для нелинейной цепи:

$$U(I) = \sum_{k=1}^n U_k(I).$$

Пример 3-2.

Если последовательно с нелинейным элементом включен источник постоянной ЭДС (рис. 3.6), то результирующая вольт-амперная характеристика получается смещением характеристики нелинейного элемента на величину ЭДС источника влево или вправо в зависимости от полярности источника (рис. 3.6):

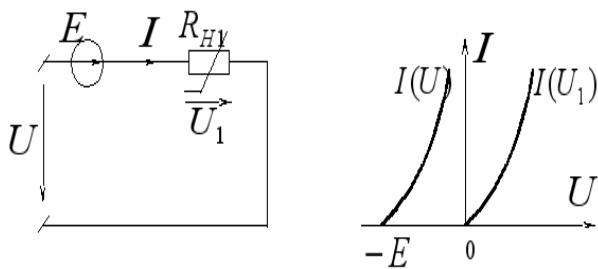


Рис. 3.6

$$U = U_1 - E$$

Последовательное соединение - метод пересечений

Пример 3-3.

Если в цепи всего два нелинейных элемента (рис. 3.4), то при фиксированном значении U ток и напряжения на элементах могут быть найдены без построения результирующей характеристики методом пересечений, если учесть, что $U_1 = U - U_2$.

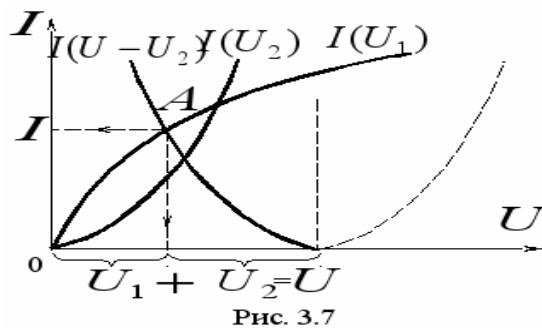


Рис. 3.7

Для этого одну из заданных вольт-амперных характеристик $I(U_2)$ следует перенести параллельно самой себе вдоль оси напряжения вправо от начала координат на величину приложенного напряжения U и повернуть ее так, чтобы получить зеркальное отображение этой кривой относительно вертикали $(-U_2)$ (рис. 3.7). Тогда точка пересечения A кривой зеркального изображения с характеристикой другого элемента $I(U_1)$ определит искомый ток в цепи и напряжения U_1 и U_2 на нелинейных элементах.

Параллельное соединение - метод преобразований

Пример 3-4.

Два нелинейных элемента, соединенные параллельно (рис. 3.8), могут быть заменены одним с эквивалентной вольт-амперной характеристикой $I(U)$.

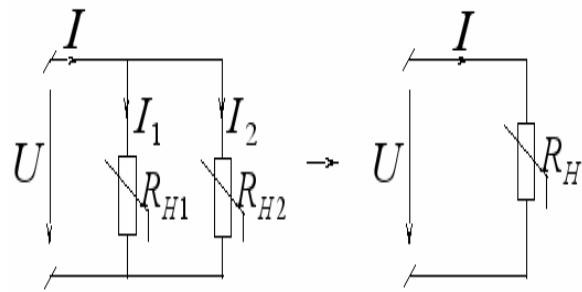


Рис. 3.8

Их характеристики изображены на рис. 3.9.

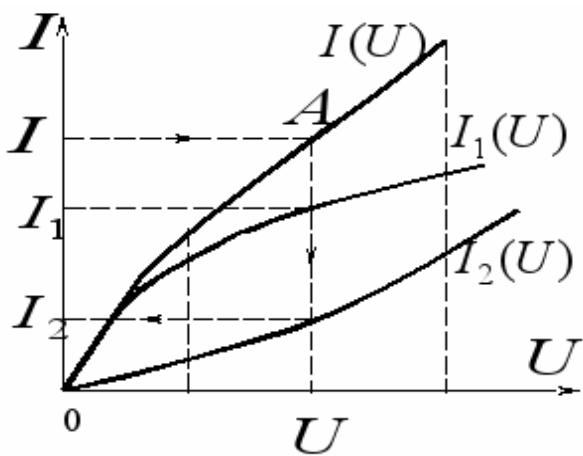


Рис. 3.9

По первому закону Кирхгофа: $I = I_1 + I_2$

Для получения результирующей характеристики $I(U)$ достаточно сложить токи отдельных элементов при одинаковых напряжениях. Результирующая характеристика используется в том случае, когда по заданному входному току I требуется определить входное напряжение U , а также при смешанном соединении.

Если входное напряжение U задано, то построение результирующей характеристики не требуется, т.к. токи отдельных элементов определяются непосредственно по их характеристикам.

Для получения результирующей характеристики при параллельном соединении нескольких нелинейных элементов задачу решают аналогично. При этом используют первый закон Кирхгофа для нелинейной цепи:

$$I(U) = \sum_{k=1}^n I_k(U)$$

Пример

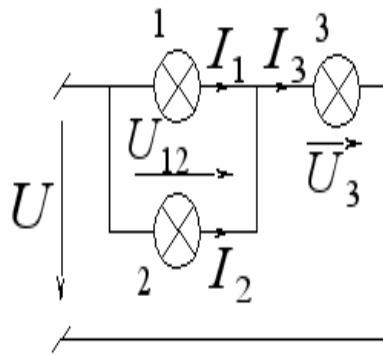


Рис. 3.10

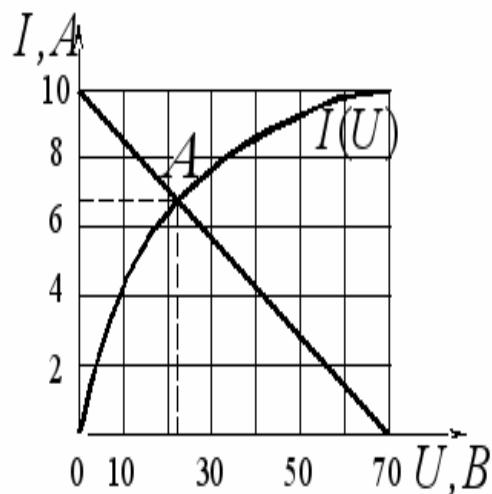


Рис. 3.11

Три одинаковые лампы накаливания соединены по схеме рис. 3.10. Вольт-амперная характеристика одной лампы $I(U)$ приведена на рис. 3.11. Ток третьей лампы $I_3 = 10 \text{ A}$. Определить входное напряжение U .

Решение:

По току $I_3 = 10 \text{ A}$ определяем с помощью вольт-амперной характеристики $U_3 = 70 \text{ B}$. Т.к. лампы одинаковые, то при параллельном соединении двух ламп

$$I_1 = I_2 = \frac{I_3}{2} = \frac{10}{2} = 5 \text{ A}$$

Из характеристики при $I = 5 \text{ A}$ получим $U_{12} = 13 \text{ B}$.

Напряжение на входе определим из второго закона Кирхгофа: $U = U_{12} + U_3 = 13 + 70 = 83 \text{ B}$.

Пример 3-6.

В схеме рис. 3.12 задана вольт-амперная характеристика нелинейного сопротивления $I(U)$ (рис. 3.11); $E_1 = 100 \text{ B}$; $E_2 = 40 \text{ B}$; $R_1 = R_2 = 6 \text{ Ом}$; $R_3 = 4 \text{ Ом}$. Определить ток I и напряжение U на нелинейном элементе и напряжение U_3 .

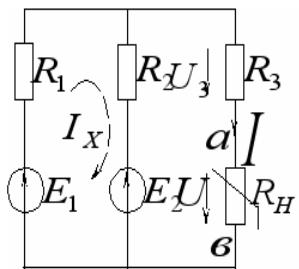


Рис. 3.12

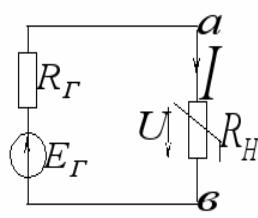


Рис. 3.13

Решение:

т.к. в схеме всего один нелинейный элемент, то по отношению к этому элементу оставшуюся часть цепи можно заменить эквивалентным генератором

с параметрами E_Γ и R_Γ (рис. 3.13). Из режима холостого хода определим ЭДС эквивалентного генератора: $E_\Gamma = U_{a6x} = E_2 + R_2 I_X$.

Ток в режиме холостого хода замыкается в контуре E_1 , R_1 , R_2 , E_2 и имеет положительное направление, определяемое направлением большей ЭДС E_1 :

$$I_X = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2} = \frac{100 - 40}{6 + 6} = 5$$

Подсчитаем ЭДС генератора E_Γ :

$$E_\Gamma = U_{a6x} = E_2 + R_2 I_X = 40 + 6 \cdot 5 = 70 \text{ В.}$$

Сопротивление эквивалентного генератора R_Γ представляет собой эквивалентное сопротивление относительно $a6$ при закороченных источниках E_1 и E_2 :

$$R_\Gamma = R_{a6} = R_3 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 4 + 3 = 7 \text{ Ом.}$$

Рабочий режим определяем методом пересечений вольт-амперной характеристики нелинейного элемента $I(U)$ и линейной характеристики эквивалентного генератора (рис. 3.11), построенной по двум точкам из уравнения по второму закону Кирхгофа $U = E_\Gamma - R_\Gamma I$:

1.

$$I = 0, U = E_\Gamma = 70 \text{ В;}$$

2.

$$U = 0, I = \frac{E_\Gamma}{R_\Gamma} = \frac{70}{7} = 10 \text{ А.}$$

В рабочем режиме (точка A):

$$I = 6,8 \text{ А;}$$

$$U = 22 \text{ В;}$$

$$U_3 = R_3 I = 4 \cdot 6,8 = 27,2 \text{ В.}$$

Пример 3-7. Расчет нелинейной цепи методом двух узлов

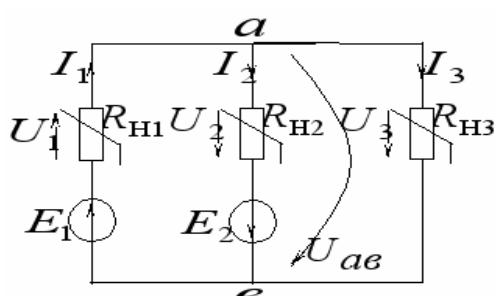


Рис. 3.14

Рассмотрим разветвленную цепь (рис. 3.14), в которой представлены три нелинейных элемента с характеристиками (рис. 3.15) и даны ЭДС $E_1 = 4E_2$. Определить токи каждой ветви: I_1, I_2, I_3 .

Решение:

Для расчета цепи методом двух узлов нужно найти зависимость токов I_1, I_2, I_3 от общего напряжения между двумя узлами U_{ab} .

По второму закону Кирхгофа:

$$U_{ab}(I_1) = E_1 - U_1(I_1);$$

$$U_{ab}(I_2) = -E_2 + U_2(I_2);$$

$$U_{ab}(I_3) = U_3(I_3).$$

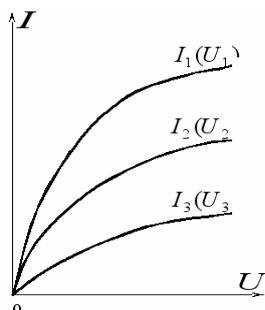


Рис. 3.15

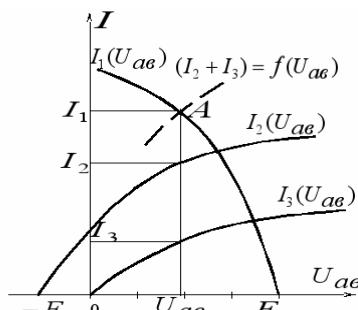


Рис. 3.16

Вольт-амперная характеристика каждой ветви $I_k(U_{ab})$ (рис. 3.16) получается смещением соответствующей заданной характеристики $I_k(U_k)$ (рис. 3.15) на величину заданной ЭДС влево или вправо от начала координат, причем для первой ветви $E_1 - U_1(I_1)$ получаем как зеркальное изображение характеристики $U_1(I_1)$ относительно вертикали, проведенной через E_1 .

Рабочий режим определяется первым законом Кирхгофа: $I_2 + I_3 = I_1$.

Для определения рабочей точки A необходимо построить суммарную характеристику $(I_2 + I_3) = f(U_{ab})$, которую получаем по нескольким точкам, задаваясь общим U_{ab} и суммируя токи. Только в рабочей точке A , где пересекаются характеристики $I_1(U_{ab})$ и $(I_2 + I_3) = f(U_{ab})$ выполняется первый и второй законы Кирхгофа для заданной цепи. Вертикаль, проведенная через точку A , дает истинное значение U_{ab} . Точки пересечения вертикали с соответствующими характеристиками определяют значения токов ветвей I_1, I_2, I_3 .

Сравним пример 3-7 с примером 2-5 и убедимся со всей очевидностью, что между электрической и магнитной цепью можно установить формальную аналогию. В примере 3-7 для расчета использованы вольт-амперные характеристики $I_k(U_{ab})$, в примере 2-5 – вебер-амперные характеристики $\Phi_k(U_{mdk})$, а расчеты подобны: основаны на применении первого и второго законов Кирхгофа.

ЗАДАНИЕ

Задача № 1.

Лампа накаливания включена параллельно с линейным резистором $R_2=30\text{ Ом}$. Построить зависимость эквивалентного сопротивления $R_{\text{эк}}$ цепи от напряжения U на его зажимах.

Методом последовательных приближений определить напряжение U при токе в неразветвленной части цепи $I=5\text{ А}$. Вольт-амперная характеристика лампы задана в таблице.

Таблица.

$U, \text{ В}$	0	20	40	60	80	100	120
$I, \text{ А}$	0	0,6	1,1	1,5	1,85	2,15	2,4

Задача № 2.

Для поддержания постоянным тока нагрузки при колебаниях входного напряжения U последовательно с нагрузочным резистором $R_h = 1\text{ Ом}$ включен бареттер B , вольт-амперная характеристика которого дана в таблице.

Таблица.

$U, \text{ В}$	0	0,5	1	2	4	6	8	10	12	14
$I, \text{ А}$	0	1	1,6	2	2,1	2,15	2,2	2,25	2,5	3,2

Построить график изменения тока в цепи при изменении входного напряжения.

Вопросы к задаче:

1. Определите напряжение в цепи U и напряжения на участках по известному току в цепи $I=1,8\text{ А}$, $I=3\text{ А}$.
2. Определите сопротивление бареттера R_6 для всех значений напряжения U_1 на его зажимах, определенных в ходе решения задачи.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА (6 часов)

Тема: Измерение тока, напряжения, мощности и сопротивления

1. Измерение тока
2. Измерение напряжения
3. Измерение мощности
4. Измерение сопротивления

ЗАДАНИЕ:

1. Изучите теоретический материал:

ключевые понятия: ток, амперметр, напряжение, вольтметр, мощность, ваттметр, сопротивление, омметр.

Измерение тока

Производится прибором, называемым амперметром.

Существуют четыре схемы включения амперметра в цепь.

Первые две (рис. 1) предназначены для измерения постоянного тока, а две вторые схемы - для измерения переменного тока.

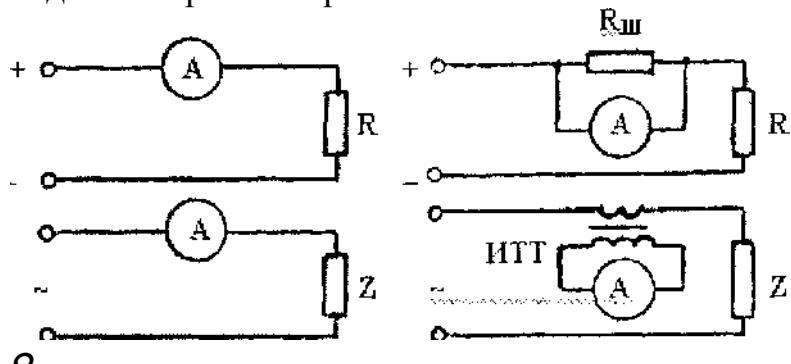


Рис. 1 Схемы измерения тока.

$R_{ш}$ - сопротивление шунта; ИТТ - измерительный трансформатор тока. Чтобы расширить пределы измерения амперметра, применяют шунты. Шунты представляют собой мanganиновые пластины или стержни, впаянные в медные или латунные наконечники. Шунт включается в цепь последовательно. Параллельно ему включается амперметр. Ток I в цепи А разветвляется обратно пропорционально сопротивлениям обмотки амперметра r_a и шунта $r_{ш}$. Обозначим отношение тока I к току I_a через n (число n иногда называют коэффициентом шунтирования). Тогда выражение для $r_{ш}$ можно записать так: $r_{ш}=r_a/(n-1)$.

Вторая и четвертая схемы применяются в тех случаях, когда номинальные данные амперметра меньше измеряемой величины тока. В этом случае при определении истинного значения тока нужно учитывать коэффициент преобразования: где

$I_{ист}$ - истинное значение тока,

$I_{изм}$ - измеренное значение тока,

$K_{пр}$ - коэффициент преобразования.

Измерение напряжения

Измерение напряжения производится вольтметром. Здесь также возможны четыре различных схемы подключения прибора (рис. 2).

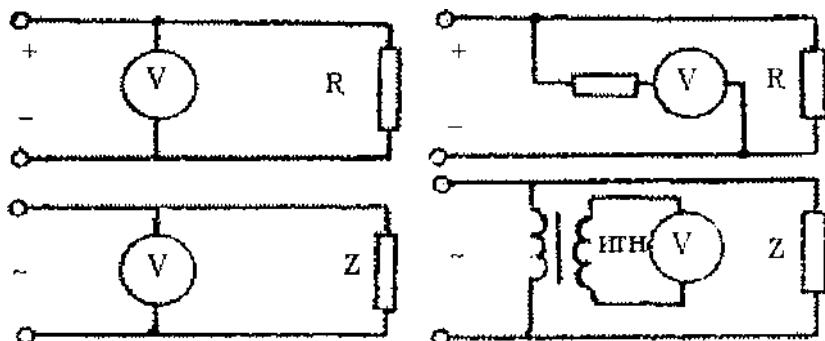


Рис. 2 Схемы измерения напряжения

R_{aon} - дополнительное сопротивление; ИТН - измерительный трансформатор напряжения

В этих схемах также используются методы расширения пределов измерения напряжения (вторая и четвертая схемы).

Для расширения пределов измерения вольтметров употребляются добавочные сопротивления, включаемые последовательно с вольтметрами. В этом случае напряжение сети распределяется между вольтметром и добавочным сопротивлением. Величину добавочного сопротивления необходимо подбирать с таким расчетом, чтобы в цепи с повышенным напряжением по обмотке вольтметра проходил тот же ток, что и при номинальном напряжении. Ток, на который рассчитана обмотка прибора, $I_B = U/r_B$. В цепи с напряжением в n раз большим ток вольтметра с добавочным сопротивлением r должен оставаться прежним: $I_B = nU/(r_B + r)$ или $U/r_B = nU/(r_B + r)$, отсюда величина добавочного сопротивления равна $r = r_B(n-1)$.

Измерение мощности

Метод амперметра и вольтметра пригоден и для измерения полной мощности, а также активной мощности переменного тока, если $\cos = 1$.

В этих схемах также используются методы расширения пределов измерения напряжения (вторая и четвертая схемы).

Для расширения пределов измерения вольтметров употребляются добавочные сопротивления, включаемые последовательно с вольтметрами. В этом случае напряжение сети распределяется между вольтметром и добавочным сопротивлением. Величину добавочного сопротивления необходимо подбирать с таким расчетом, чтобы в цепи с повышенным напряжением по обмотке вольтметра проходил тот же ток, что и при номинальном напряжении. Ток, на который рассчитана обмотка прибора, $I_B = U/r_B$. В цепи с напряжением в n раз большим ток вольтметра с добавочным сопротивлением r должен оставаться прежним: $I_B = nU/(r_B + r)$ или $U/r_B = nU/(r_B + r)$, отсюда величина добавочного сопротивления равна $r = r_B(n-1)$.

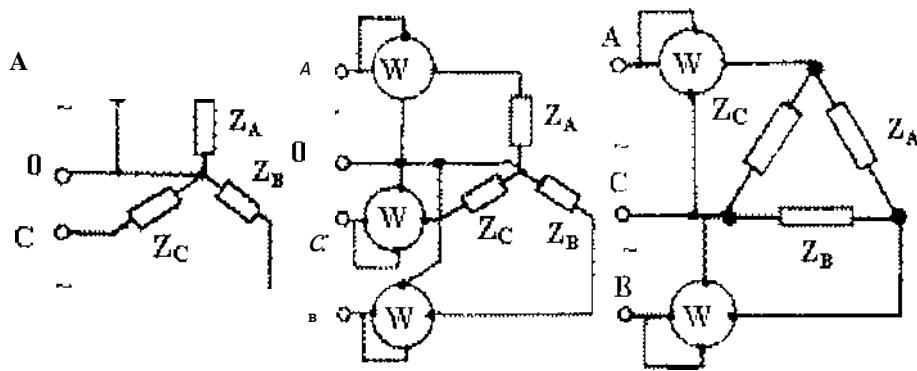


Рис. 3 Схемы измерения мощности в трёхфазных цепях

Измерение сопротивлений

Электрическое сопротивление в цепях постоянного тока может быть определено косвенным методом при помощи вольтметра и амперметра.

В этом случае: $R = U/I$

Можно использовать омметр - прибор непосредственного отсчета. Существуют две схемы омметра:

- последовательная;
- параллельная (рис. 4).

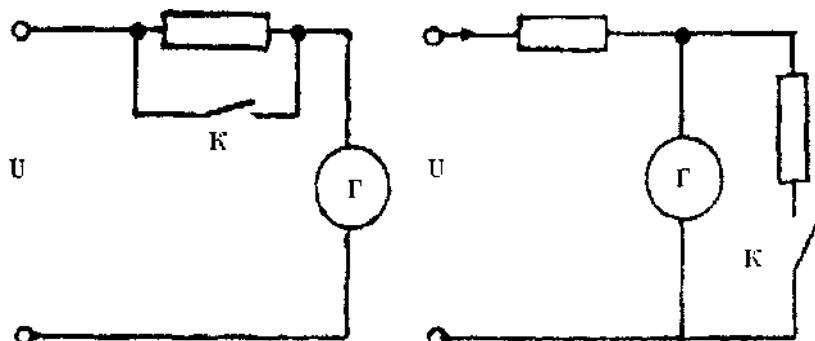


Рис. 4 Схема включения омметров (а- последовательная; б - параллельная)

Сопротивление изоляции. Изоляция электротехнических установок подвергается изменению, поэтому сопротивление необходимо постоянно измерять. Согласно правилам устройства электроустановок:

- испытание сопротивления изоляции осветительных и силовых электропроводок производится мегаометром напряжением
- наименьшее сопротивление изоляции допускается 0,5 МОм;
- сопротивление изоляции при снятых плавких вставках (или при отключенных защитных аппаратах) измеряется на участках между смежными предохранителями или за последними предохранителями (или другим аппаратом защиты), между любым проводом и землёй, а также между двумя проводами.

2. Соберите на монтажном стенде схемы рис.1, рис. 2, рис. 3, рис.4.

3. Выполните измерения тока, напряжения, сопротивления, мощности.

4. Ответьте на контрольные вопросы:

- Как производится расширение предела измерений амперметра и вольтметра?

- какие системы электроизмерительных приборов преимущественно используют для измерения в цепях переменного тока промышленной частоты?
- Начертить схему включения ваттметра в цепь.
- Какие методы используются для измерения сопротивлений?

5. Содержание отчета:

- Тема лабораторной работы,
- Схемы для измерения электрических величин,
- Результаты измерения,
- Ответы на контрольные вопросы.