

- 18 Устройство и принцип действия трансформаторов, область применения и разновидности.
- 19 Анализ работы трансформатора в режимах холостого хода, короткого замыкания и при нагрузке, основные параметры трансформаторов.
- 20 Устройство и принцип действия трехфазных трансформаторов и автотрансформаторов, область их применения.
- 21 Устройство и принцип действия асинхронной машины, их область применения.
- 22 Основные характеристики асинхронных двигателей, способы регулирования числа оборотов.
- 23 Устройство, принцип действия и назначения машин постоянного тока.
- 24 Работа машин постоянного тока в режимах двигателя и генератора, основные характеристики.
- 25 Устройство, принцип действия и область применения синхронных машин.
- 26 Работа синхронной машины в режимах генератора и двигателя, регулирование реактивной мощности синхронного двигателя.
- 27 Полупроводниковые диоды, их характеристики и классификация.
- 28 Биполярные транзисторы, режимы работы, схемы включения, основные параметры и характеристики.
- 29 МДП-транзисторы, структура, принцип работы и основные характеристики.
- 30 Полевые транзисторы с управляющим р-п переходом, структура, принцип работы и основные характеристики.
- 31 Тиристоры, их разновидности, структура, принцип работы и область применения.
- 32 Фотоэлектрические приборы, фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы и фототиристоры, принципы их работы и основные параметры.
- 33 Транзисторные усилители, их классификация и основные характеристики, типовые схемы.
- 34 Дифференциальные и операционные усилители, их основные характеристики и области применения.
- 35 Избирательные усилители, усилители мощности, усилители постоянного тока, их особенности и области применения.
- 36 Источники вторичного электропитания, их классификация, состав и основные параметры.
- 37 Стабилизаторы напряжения и преобразователи постоянного тока в переменный (инверторы), их принцип работы и назначение.
- 38 Транзисторные триггеры, принцип действия, разновидности и область применения.
- 39 Автогенераторы гармонических колебаний, принцип действия и назначение.

- 40 Мультивибраторы, их принцип действия и назначение.
- 41 Логические операции и способы их аппаратной реализации.
- 42 Логические интегральные микросхемы, их конструктивно-технологические особенности.
- 43 Принципы функционирования цифровых устройств комбинационной логики.
- 44 Цифровые триггеры, их разновидности и принцип действия.
- 45 Регистры и цифровые счетчики импульсов.
- 46 Общие сведения о микропроцессорах, классификация, принцип действия и основные характеристики.
- 47 Электроизмерительные приборы прямого преобразования, мостовые и компенсационные методы измерения электрических величин.
- 48 Цифровые электроизмерительные приборы: вольтметры, амперметры, частотомеры.

1 Расчёт электрической цепи постоянного тока.

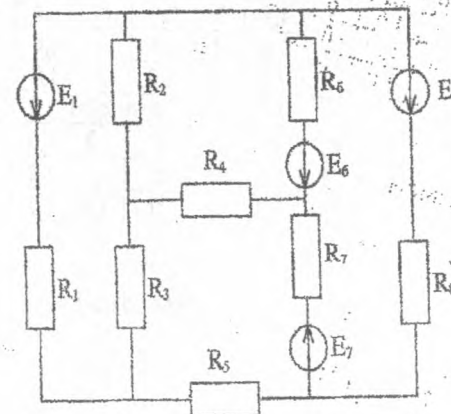


Рис.1

Для электрической схемы на рис. 1 определить наиболее рациональным методом токи в ветвях, напряжения на каждом элементе, мощность элементов и приемника в целом, мощность источников и режимы их работы, ток в одной из ветвей, пользуясь методом эквивалентного генератора. Параметры элементов схемы указаны в таблице 1.

Таблица 1

№ вар.	ЭДС источников, В				Сопротивления резисторов, Ом									
	E <sub>1</sub>	E <sub>6</sub>	E <sub>7</sub>	E <sub>8</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>6</sub>	R <sub>7</sub>	R <sub>8</sub>		
1	0	30	20	0	1,2	1,8	2,0	0	0	1,0	1,6	∞		
2	0	35	15	0	1,6	1,8	1,2	0	0	1,6	2,0	∞		
3	0	25	35	0	1,2	1,6	1,0	0	0	1,8	2,1	∞		
4	0	20	25	0	1,0	2,0	1,6	0	0	1,8	2,2	∞		
5	0	25	30	0	1,8	2,0	1,0	0	0	1,6	2,3	∞		
6	0	40	20	0	1,2	1,0	1,6	0	0	1,8	2,4	∞		
7	9													∞
8	0	20	30	0	1,0	1,8	1,6	∞	0	1,2	2,0	∞		
9	25	0	0	20	1,0	0	2,0	∞	1,2	0	1,6	1,8		
10	40	0	0	20	2,0	0	1,2	∞	1,0	0	1,8	1,6		
11	35	0	0	20	1,6	0	2,0	∞	1,2	0	1,0	1,8		
12	30	0	0	15	1,2	0	1,6	∞	2,0	0	1,0	1,8		
13	20	0	0	30	1,0	0	3,0	∞	1,8	0	1,6	1,2		
14	25	0	0	15	1,8	0	2,0	∞	1,2	0	1,0	1,6		
15	30	0	0	20	2,0	0	1,8	∞	1,0	0	1,2	1,6		
16	35	0	0	15	1,8	0	2,0	∞	1,0	0	1,6	1,2		
17	20	0	0	25	1,0	∞	0	2,0	1,2	0	2,0	1,8		
18	20	0	0	40	2,0	∞	0	1,2	1,6	0	1,0	1,6		
19	20	0	0	35	1,6	∞	0	1,0	1,2	0	1,6	1,8		
20	15	0	0	20	1,2	∞	0	1,6	1,0	0	1,0	1,8		

Пример выполнения задания 1

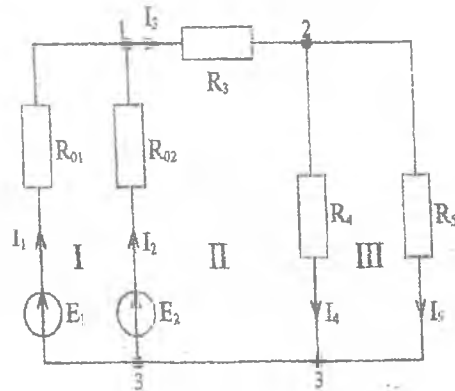


Рис. 2

В электрической цепи на рис.2 определить токи в ветвях, напряжения на всех элементах цепи, мощности и режимы работы источников, мощности, рассеиваемые на всех резисторах. Параметры элементов цепи следующие:  $E_1 = 12 \text{ В}$ ;  $E_2 = 13,5 \text{ В}$ ;  $R_{01} = 0,05 \text{ Ом}$ ;  $R_{02} = 0,1 \text{ Ом}$ ;  $R_3 = 2 \text{ Ом}$ ;  $R_4 = R_5 = 4 \text{ Ом}$ .  $R_{01}$  и  $R_{02}$  – внутренние сопротивления источников  $E_1$  и  $E_2$ .

## Решение

В цепи три узла, пять ветвей, следовательно, для определения токов в ветвях необходимо составить систему из пяти уравнений для неизвестных токов и решить ее. Число уравнений по первому закону Кирхгофа должно быть равно двум (количество узлов без единицы), а остальные три уравнения записываются по второму закону Кирхгофа для трех неизвестных контуров I, II, III. Направление обходов выбираем по числовой стрелке

$$\text{для узла 1} \quad I_1 + I_2 - I_3 = 0,$$

$$\text{для узла 2} \quad I_3 - I_4 - I_5 = 0,$$

$$\text{для контура I} \quad R_{01}I_1 - R_{02}I_2 = E_1 - E_2$$

$$\text{для контура II} \quad R_{02}I_2 + R_3I_3 + R_4I_4 = E_2$$

$$\text{для контура III} \quad -R_4I_4 + R_5I_5 = 0.$$

Решая систему относительно токов в ветвях, получим

$$I_1 = -7,93 \text{ А}; \quad I_2 = 11,03 \text{ А};$$

$$I_3 = 3,1 \text{ А}; \quad I_4 = I_5 = 1,55 \text{ А};$$

Ток  $I_1$  имеет отрицательное значение, то есть, его действительное направление противоположно условно принятому.

Напряжения на элементах цепи находим по закону Ома.

$$U_3 = R_3I_3 = 2 \cdot 3,1 = 6,2 \text{ В}; \quad U_4 = R_4I_4 = 4 \cdot 1,55 = 6,2 \text{ В}; \quad U_5 = R_5I_5 = 4 \cdot 1,55 = 6,2 \text{ В}.$$

Поскольку источник  $E_1$  работает в режиме потребления электрической энергии, т.е. является приемником, то уравнение баланса мощностей запишется в следующем виде

$$E_2I_2 = E_1I_1 + R_{01}I_1^2 + R_{02}I_2^2 + R_3I_3^2 + R_4I_4^2 + R_5I_5^2,$$

Подставив значения всех параметров, получим

$$13,5 \cdot 11,03 = 12 \cdot 7,93 + 0,05 \cdot 7,93^2 + 0,05 \cdot 11,03^2 + 2 \cdot 3,1^2 + 4 \cdot 1,55^2$$

$$148,5 \text{ Вт} = 148,5 \text{ Вт},$$

что соответствует закону сохранения энергии и подтверждает правильность расчета.

Определим ток  $I_2$  в ветви с  $R_{02}$  и  $E_2$  методом эквивалентного генератора. Из метода известно

$$I_2 = \frac{E_2 + E_2}{R_{02} + R_{\text{вх}}}$$

где  $E_2$  — э.д.с. эквивалентного генератора, равная напряжению между узлами 1 и 3, к которым подключается ветвь с  $R_{02}$  и  $E_2$

$$E_2 = U_{13} = E_1 \cdot \frac{R_{01} \cdot E_1}{R_{01} + R_3 + R_4 \cdot R_5 / (R_4 + R_5)} = 11,85 \text{ В,}$$

где  $R_{\text{вх}} = R_{01} \parallel \left( R_3 + \frac{R_4 \cdot R_5}{R_4 + R_5} \right) = 0,049 \text{ Ом}$  — входное сопротивление относительно зажимов 1 и 3 при отсутствии ветви с  $R_{02}$  и  $E_2$ .

Тогда  $I_2 = \frac{13,5 - 11,85}{0,1 + 0,049} \approx 11 \text{ А}$ , что совпадает с расчетными значениями.

## 2 Расчет электрической цепи синусоидального тока

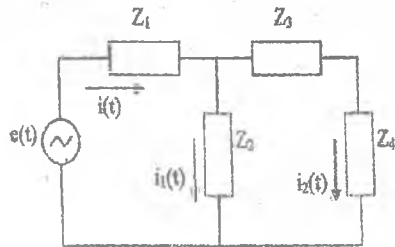


Рис.3

Определить символическим методом токи и напряжения на элементах электрической цепи переменного тока (рис.3), активную, реактивную и полную мощности. Построить векторные диаграммы токов и напряжений. Варианты контрольных заданий к задаче указаны в таблице 2.

Таблица 2

№ вар.	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>4</sub>	e	№ теор. вопроса	№ вар.	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>4</sub>	e	№ теор. вопроса
1	R	C	R	L	e <sub>1</sub>	27	11	L	C	R	L	e <sub>1</sub>	37
2	C	C	R	L	e <sub>2</sub>	28	12	L	R	R	L	e <sub>2</sub>	38
3	R	L	C	L	e <sub>3</sub>	29	13	R	R	C	L	e <sub>3</sub>	39
4	R	R	L	L	e <sub>1</sub>	30	14	R	L	R	L	e <sub>1</sub>	40
5	R	C	C	L	e <sub>2</sub>	31	15	C	R	R	L	e <sub>2</sub>	41
6	C	L	C	L	e <sub>3</sub>	32	16	C	R	C	L	e <sub>3</sub>	42
7	C	L	R	L	e <sub>1</sub>	33	17	C	R	L	L	e <sub>1</sub>	43
8	L	R	R	C	e <sub>2</sub>	34	18	R	C	L	C	e <sub>2</sub>	44
9	L	R	L	C	e <sub>3</sub>	35	19	R	L	R	C	e <sub>3</sub>	45
10	C	R	L	C	e <sub>1</sub>	36	20	C	L	C	C	e <sub>1</sub>	46

Параметры элементов цепи имеют следующие значения для всех вариантов:

$$R=100 \text{ Ом, } C=100 \text{ мкФ, } L=0,2 \text{ Гн, } f = \frac{\omega}{2\pi} = 50 \text{ Гц,}$$

$$e_1 = 20 \sin \omega t \text{ В; } e_2 = 40 \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right) \text{ В; } e_3 = 30 \sin \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right) \text{ В;}$$

Номера теоретических вопросов взяты по списку экзаменационных вопросов.

## Пример выполнения задания 2

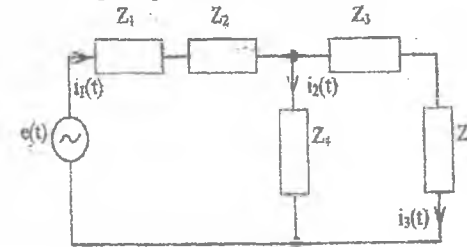


Рис.4

Для электрической цепи, схема которой приведена на рис.4 требуется определить:

- токи во всех ветвях цепи;
- напряжение на индуктивности;
- активную, реактивную и полную мощности потребляемые цепью;
- построить векторную диаграмму токов;

построить топологическую диаграмму напряжений по внешнему контуру цепи;

Элементы цепи имеют следующие параметры:

$$E=100 \text{ В}, f=50 \text{ Гц}, Z_1=C_1=637 \text{ мкФ}, Z_4=C_2=159 \text{ мкФ}, \\ Z_5=L_3=95 \text{ мГн}, Z_2=R_1=6 \text{ Ом}, Z_3=R_2=20 \text{ Ом}.$$

Решение

1 Определим комплексные сопротивления ветвей цепи

$$Z_1 = R_1 - jX_{C1} = 6 - j10^6(2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 637)^{-1} = (6 - j5) \text{ Ом}; \\ Z_2 = -jX_{C2} = -j10^6(2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 159)^{-1} = -j20 \text{ Ом}; \\ Z_3 = R_2 + jX_{L3} = 20 + j10^3(2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 95) = (20 + j30) \text{ Ом}.$$

2 Определим токи в ветвях цепи, используя метод контурных токов в комплексной форме. Выберем направления обхода в первом и втором контуре схемы по часовой стрелке.

Уравнения контурных токов цепи имеют вид:

$$\dot{I}_{11}Z_{11} - \dot{I}_{22}Z_{12} = \dot{E}_{11},$$

$$-\dot{I}_{11}Z_{21} + \dot{I}_{22}Z_{22} = \dot{E}_{22}$$

где  $Z_{11}=Z_1+Z_2=(6-j25) \text{ Ом}; Z_{22}=Z_2+Z_3=(20+j10) \text{ Ом}$   
 $Z_{12}=Z_{21}=Z_2=-j20 \text{ Ом}$  – контурные сопротивления цепи  
 $\dot{E}_{11}=E=100 \text{ В}; \dot{E}_{22}=0.$

Подставляя значения уравнения комплексных сопротивлений в уравнения, получим

$$\dot{I}_{11}(6-j25) + \dot{I}_{22}j20 = 100, \\ \dot{I}_{11}j20 + \dot{I}_{22}(20+j10) = 0.$$

Контурные токи определим из решения этой системы уравнений

$$\dot{I}_{11} = \Delta_1 / \Delta; \quad \dot{I}_{22} = \Delta_2 / \Delta;$$

где  $\Delta = \begin{vmatrix} 6-j25 & j20 \\ j20 & 20+j10 \end{vmatrix} = 770 - j440 = 887e^{-j29^\circ 40'};$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 100 & j20 \\ 0 & 20+j10 \end{vmatrix} = (2+j)10^3 = 2236e^{-j29^\circ 40'}; \\ \Delta_2 = \begin{vmatrix} 6-j25 & 100 \\ j20 & 0 \end{vmatrix} = -j2000 = 2000e^{-j90^\circ}.$$

Подставляя значения определителей, найдем контурные токи и токи в ветвях

$$\dot{I}_{11} = \dot{I}_1 = 2236e^{-j29^\circ 40'} / 887e^{-j29^\circ 40'} = 2,52e^{-j56^\circ}; \\ \dot{I}_{22} = \dot{I}_3 = 2000e^{-j90^\circ} / 887e^{-j29^\circ 40'} = 2,25e^{-j60^\circ 20'}; \\ \dot{I}_2 = \dot{I}_{11} - \dot{I}_{22} = 0,28 + j4,05 = 4,059e^{-j86^\circ};$$

3 Определим комплексное напряжение на индуктивности  $L_3$

$$\dot{U}_L = \dot{I}_3 Z_L = \dot{I}_3 jX_L = 2,25e^{-j60^\circ 20'} j10 = 22,5e^{-j29^\circ 40'} \text{ В}.$$

4 Определим активную, реактивную и полную мощности потребляемые цепью. Находим сначала комплексную мощность цепи

$$\dot{S} = \dot{E}\dot{I} = 100 \cdot 2,52e^{-j56^\circ} = 252e^{-j56^\circ} \text{ В}\cdot\text{А}.$$

Полная мощность определяется как модуль комплексной мощности

$$S = |\dot{S}| = 252 \text{ В}\cdot\text{А}.$$

Для определения активной и реактивной мощностей представим полную мощность в алгебраической форме

$$\dot{S} = P + jQ = (141 - j209) \text{ В}\cdot\text{А},$$

откуда находим активную и реактивную мощности

$$P = 141 \text{ Вт}, Q = -209 \text{ ВАР}.$$

Такую мощность отдает источник. Для составления баланса мощностей следует определить мощности, потребляемые элементами ветвей. Активную мощность определяем по формуле

$$P = I_1^2 R_1 + I_3^2 R_2 = 2,52^2 \cdot 6 + 2,25^2 \cdot 20 = 141 \text{ Вт},$$

$$P = I_1^2 R_1 + I_3^2 R_3 = 2,52^2 \cdot 6 + 2,25^2 \cdot 20 = 141 \text{ Вт,}$$

что совпадает с активной мощностью, отдаваемой источником напряжения.

Реактивную мощность, запасаемую в индуктивности  $L_3$  и емкостях  $C_1$  и  $C_2$  найдем по формуле

$$\begin{aligned} Q &= Q_3 - (Q_1 + Q_2) = I_3^2 X_L - (I_1^2 X_{C1} + I_2^2 X_{C2}) = \\ &= 2,25^2 \cdot 30 - (4,059^2 \cdot 20 - 2,52^2 \cdot 5) = -209 \text{ Вар,} \end{aligned}$$

что совпадает с реактивной мощностью, отдаваемой источником напряжения.

Таким образом, баланс активных и реактивных мощностей в схеме соблюдается.

На рис. 5 и 6 представлены векторные диаграммы токов и напряжений.

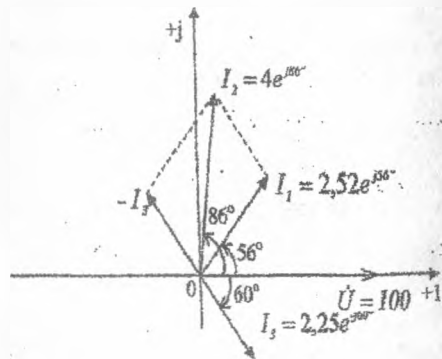


Рис.5

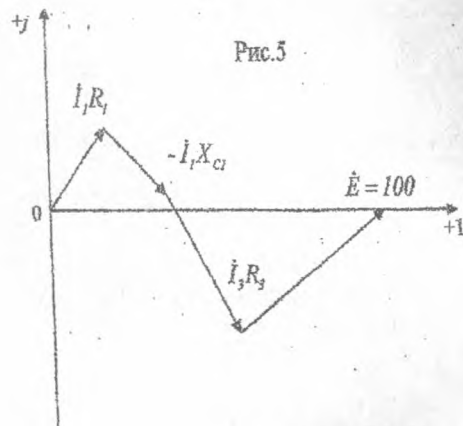


Рис.6