

## ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

В первой контрольной работе студенты выполняют три задачи:

1. Расчет линейной цепи при постоянных токах и напряжениях.
2. Расчет линейной электрической цепи однофазного симметричного тока комплексным методом.
3. Расчет разветвленной электрической цепи переменного тока при наличии взаимной индуктивности.

Контрольные задания имеют 100 вариантов. Варианты одного и того же задания отличаются друг от друга схемами и числовыми значениями заданных величин.

Исходные расчетные данные к задачам определяют по двум последним цифрам шифра студента: по предпоследней цифре выбирают номер схемы, а по последней — номер строки в таблице. Например, для шифра 78-АТС-283 при решении задачи 1 выбирается схема 8 и числовые значения табл. 1, находящиеся в 3-й строке.

Указания к выполнению и оформлению контрольных работ изложены в рабочей программе курса теоретических основ электротехники. Студенты-заочники обязаны тщательно изучить все материалы этого пособия, соблюдать изложенные в нем требования при выполнении и оформлении контрольных работ.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теоретические основы электротехники. Т. 1 /Под ред. П. А. Йонкина. М.: Высшая школа, 1976.
2. Зевеке Г. В., Ионкин П. А., Нетутил А. В., Стражохов С. В. Основы теории цепей. М.: Энергия, 1975.
3. Нейман Л. Р., Демирчян К. С. Теоретические основы электротехники. Т. 1. М.: Энергия, 1975.
4. Атабеков Г. И. Теоретические основы электротехники. Часть 1. М.: Энергия, 1978.
5. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. М.: Высшая школа, 1978.
6. Бессонов Л. А. и пр. Сборник задач по теоретическим основам электротехники. М.: Высшая школа, 1975.
7. Шебес М. Р. Теория линейных электрических цепей в упражнениях и задачах. М.: Высшая школа, 1967.

8. Матханов П. Н. Основы анализа линейных цепей. Ленинград: Высшая школа, 1981.  
 9. Матханов П. Н. Основы анализа линейных цепей. Нелинейные цепи. М.: Высшая школа, 1977.  
 10. Гольдин О. Е., Каплянский А. Е., Половцовский Л. С. Программированное изучение теоретических основ электротехники. М.: Высшая школа, 1978.

7. Построить потенциальную диаграмму для любого замкнутого контура, включающего в себя обе ЭДС.  
 Числовые значения ЭДС и сопротивлений даны в табл. 1.

#### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

На рис. 1 представлены схемы сложных линейных электрических цепей постоянного тока, состоящие из нескольких ветвей и узлов. Ветвью электрической цепи называют такой ее участок, который состоит только из последовательно включенных источников ЭДС и сопротивлений. Во всех элементах ветви в любой момент времени ток имеет одно и то же значение. Точки, в которых сходятся не менее трех ветвей, называются узлами. Сложные цепи имеют несколько замкнутых контуров, состоящих из разных ветвей. В задаче 1 заданными являются величины и направления всех ЭДС, значения внутренних и внешних сопротивлений, а требуется определить токи в ветвях. Для расчета токов в сложных электрических цепях применяются следующие методы:

4. Результаты расчета токов, выполненного двумя методами, свести в таблицу и сравнить их между собой.

5. Применяя теорему об эквивалентном генераторе (активном двухполюснике), определить ток в одной (любой) из ветвей.

6. Составить баланс мощностей.

Таблица 1

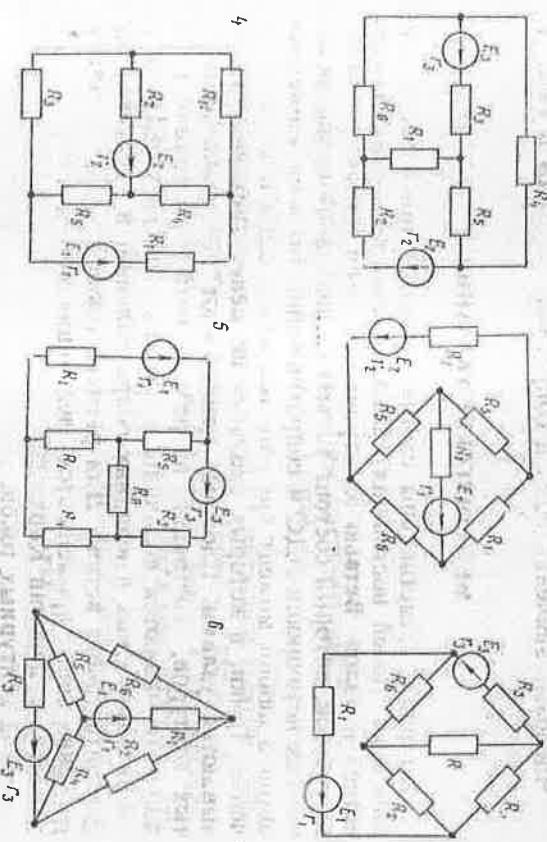
Номер строки	В		В		В		В		В		В	
	$E_1$	Ом	$E_2$	Ом	$E_3$	Ом	$R_1$	Ом	$R_2$	Ом	$R_3$	Ом
1	110	1	110	2	220	2	5	6	4	10	12	8
2	110	2	220	2	110	1	6	4	5	8	12	10
3	220	2	110	1	110	2	4	5	6	12	8	10
4	110	1	220	2	220	2	4	5	3	10	8	12
5	220	2	110	1	220	2	5	4	3	8	10	12
6	220	2	110	1	110	1	2	4	3	10	6	12
7	110	1	220	2	220	2	4	3	5	8	6	10
8	110	1	220	2	110	1	2	4	3	10	6	10
9	220	2	110	1	220	2	5	3	4	10	8	6
0	220	2	110	1	220	2	3	4	6	10	10	10

При расчете сложной цепи методом уравнений Кирхгофа выбирают произвольно направление токов в ветвях и пайлод независимых узловых уравнений, составленных по первому закону Кирхгофа, на единицу меньше числа узлов схемы. Число независимых уравнений, составленных по второму закону Кирхгофа, равно числу независимых контуров. Общее число уравнений должно быть равно числу искомых неизвестных. Решая полученную систему уравнений, определяют токи во всех ветвях сложной электрической цепи. Если в результате решения системы уравнений получится отрицательное значение тока, то это означает, что действительное направление этого тока не совпадает с первоначально выбранным.

Примечание. Из табл. 1 записываются данные только двух источников ЭДС, обозначенных на схеме рис. 1.

Рекомендуемые дополнительные задачи [6; 11.11, 1.13], [7; 1.22, 1.23].

### Метод контурных токов



При расчете цепей методом контурных токов принимается, что в каждом независимом контуре цепи течет свой контурный ток. Для определения этих токов составляют уравнения по второму закону Кирхгофа. Независимые контуры можно обозначить римскими цифрами, а замыкающиеся в своему контуру ( $I_1, I_2, I_3$ ). Для однообразия расчетных уравнений рекомендуется все контурные токи направлять в одну сторону, например по направлению вращения часовой стрелки. Направление обхода контура принимается совпадающим с направлением контурного тока. При составлении уравнений по этому методу следует учитывать, что в контурах, где имеются источники ЭДС, численные значения этих ЭДС необходимо принимать положительными, если их направление совпадает с направлением контурного тока, и отрицательными, если их направление не совпадает с направлением контурного тока.

Решая совместно уравнения, составленные по второму закону Кирхгофа, находят величины контурных токов, а затем и действительные токи на участках цепи.

На участках цепи, где действует только один контурный ток, действительный ток равен контурному току. Направление действительного тока совпадает с направлением контурного, если найденное численное значение контурного тока положительно. При отрицательном значении контурного тока направление действительного тока следует указать обратным контурному. В остальных ветвях схемы токи находятся на основании первого закона Кирхгофа.

Примеры расчета: [5; 5], [7; 1.41, 1.44], [8; 32A.6], 1.37.

### Метод узловых потенциалов

В этом методе за неизвестные принимаются потенциалы узлов схемы — узловые потенциалы. Известно, что одна любая точка схемы может быть заземлена без изменения токоспределения в схеме. Поэтому один из узлов схемы нужно мысленно заземлить, т. е. принять потенциал ее равным нулю. При этом число неизвестных уменьшается на единицу.

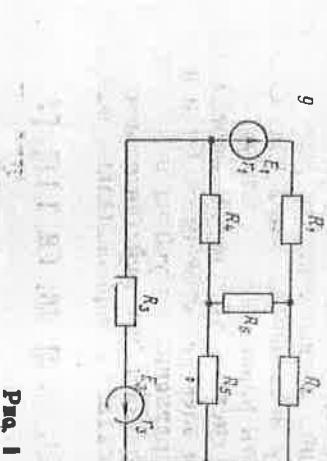
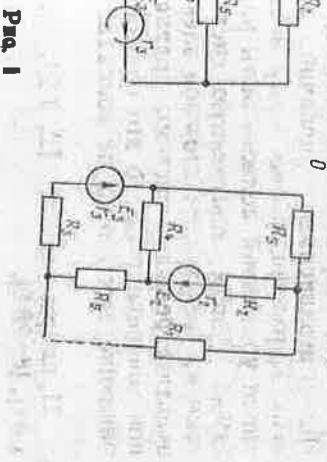


Рис. 1

## Составление баланса мощностей

нице. Следовательно, число неизвестных в методе узловых потенциалов равно числу уравнений, которые могут быть составлены для схемы по первому закону Кирхгофа.

После определения потенциалов узлов в ветвях рассматриваются по закону Ома. Для ветвей с источниками ЭДС ток

$$I = \frac{\Phi_1 - \Phi_2 + \Sigma E}{\Sigma R} = (\Phi_1 - \Phi_2 + \Sigma E)g,$$

где  $\Phi_1 - \Phi_2 = U_{12}$  — напряжение или разность потенциалов узлов, к которым подключена ветвь;

$\Sigma E$  — алгебраическая сумма ЭДС ветви;

$\Sigma R$  — арифметическая сумма сопротивлений, включенных в данную ветвь;

$$g = \frac{1}{\Sigma R} \rightarrow \text{проводимость ветви.}$$

Примеры расчета: [2; 1.3]; [5; 13]; [7; 1.42, 1.47], [8, 33А.6, 33Б.6].

Рекомендуемые дополнительные задачи: [6, 1.41], [7, 1.43].

### Метод эквивалентного генератора

Метод эквивалентного генератора предназначен для определения в сложной цепи тока  $I$  или напряжения  $U$  одной пассивной ветви с параметром  $R$ . Для этого остальная активная часть цепи заменяется эквивалентным ей элементарным источником напряжения. ЭДС эквивалентного источника напряжения определяется как напряжение  $U_{xx}$  на его зажимах при коротком ходе, а его внутреннее сопротивление  $R_x$  равно сопротивлению относительно тех же зажимов активной части цепи при отсутствии ЭДС источников напряжения, но при включенных внутренних сопротивлениях.

Тогда искомый ток

$$I = \frac{U_{xx}}{R + R_x}.$$

Примеры расчета: [2; 2.6], [5; 15], [6; 1.22]; [7; 1.56, 1.57, 1.62, 1.63], [8; 31Б.6].

Рекомендуемые дополнительные задачи: [6; 1.45], [7; 1.69].

В любой электрической цепи выполняется закон сохранения энергии, т. е. сумма мощностей отдаваемых источников энергии, должна равняться сумме мощностей, потребляемых приемниками. Уравнение энергетического баланса при питании только от источников ЭДС записывается следующим образом:

$$\Sigma E I = \Sigma I^2 R.$$

Если через источник ЭДС течет ток, направление которого совпадает с направлением ЭДС, то источник ЭДС отдает энергию и его мощность  $EI$  записывается в левую часть уравнения энергетического баланса с положительным знаком. Если же ток  $I$  направлен навстречу ЭДС  $E$ , то источник ЭДС работает как потребитель энергии, и его мощность  $EI$  записывается в левую часть уравнения энергетического баланса с отрицательным знаком.

Мощность, расходуемая в сопротивлениях (внешних и внутренних), определяется как произведение квадрата тока, протекающего через данное сопротивление, на величину сопротивления.

### Построение потенциальной диаграммы

Потенциальной диаграммой называют графическую зависимость  $\Phi = F(R)$  изменения потенциала вдоль замкнутого контура от сопротивлений ее участков. Она дает наглядное представление о распределении потенциалов вдоль каждого участка электрической цепи или замкнутого контура.

Перед построением потенциальной диаграммы необходимо вычислить потенциалы всех точек заданного контура. Потенциал одной точки контура, выбирайтром произвольно, принимают за нуль.

Расчет потенциалов ведут по направлению обхода контура, которое выбирается также произвольно. При расчете потенциалов точек контура следует иметь в виду следующее:

- На участке с сопротивлением при переходе от одной точки к другой потенциал изменяется на величину падения напряжения на сопротивлении этого участка  $\Delta\Phi_R = \pm IR$ .
- Потенциал увеличивается, если обход осуществляется против направлению тока, и понижается, если обход осуществляется по направлению тока.

2. На участке с ЭДС потенциал изменяется на величину ЭДС

$$\Delta\Phi_E = \pm E.$$

Потенциал повышается в том случае, когда переход от одной точки к другой осуществляется по направлению ЭДС (от минуса к плюсу), и понижается, когда переход осуществляется против направления ЭДС.

Для построения потенциальной диаграммы необходимо отложить в определенном масштабе сопротивления отдельных участков контура по направлению обхода, начиная с конечной точки, потенциал которой принят равным нулю. По оси ординат в определенном масштабе откладываются значения потенциалов соответствующих точек контура. Ломаная линия, соединяющая концы отрезков, равных потенциалам соответствующих точек, представляет собой потенциальную диаграмму.

Примеры расчета: [5; 3], [6, 1.15], [7, 1.18].

Рекомендуемые дополнительные задачи: [6, 1.18].

## ЗАДАЧА 2

### РАСЧЕТ ЛИНЕЙНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ОДНОФАЗНОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА КОМПЛЕКСНЫМ МЕТОДОМ

- В электрической цепи (рис. 2):
- Найти действующие значения напряжений и токов на всех участках цепи.
  - Построить топографическую векторную диаграмму.
  - Определить активные, реактивные и полные мощности каждого участка и всей цепи.
  - Составить баланс мощностей.
- Параметры схемы для каждого варианта даны в табл. 2.

Таблица 2

Номер строки	$r_1$ Ом	$r_2$ Ом	$r_3$ Ом	$L_1$ Гн	$L_2$ Гн	$L_3$ Гн	$C_1$ мкФ	$C_2$ мкФ	$C_3$ Гн	$U$ В
1	40	35	20	0.15	0.1	0.08	40	100	50	380
2	30	25	25	0.07	0.15	0.1	30	80	50	220
3	45	35	32	0.14	0.2	0.06	20	60	50	220
4	60	50	40	0.12	0.1	0.05	120	75	50	380
5	50	25	25	0.13	0.05	0.1	70	45	50	380
6	15	10	8	0.06	0.08	0.1	60	30	50	220
7	35	25	0.05	0.1	0.06	80	20	50	127	
8	20	18	0.08	0.12	0.1	150	40	50	220	
9	25	20	0.1	0.12	0.05	100	50	50	220	
10	15	12	0.04	0.06	0.12	50	25	50	220	

Примечание. Из табл. 2 записываются данные только тех параметров, которые обозначены на выбранной схеме (рис. 2).

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

В комплексном методе расчета электрических цепей переменного тока ЭДС, напряжения, токи и сопротивления представляют в виде комплексов. Комплексные значения величин, изменяющихся по гармоническому закону, обозначают соответствующими прописными буквами, над которыми стоят соответствующие точки:  $\dot{E}$ ,  $\dot{U}$ ,  $\dot{i}$ . Для обозначения модулей этих величин применяют те же буквы, но без точек над ними:  $E$ ,  $U$ ,  $i$ .

Комплекс полного сопротивления обозначают прописной буквой  $Z$  (без точки). Модули этих величин обозначают соответствующими строчными буквами  $z$  и  $y$ . Комплексные числа записываются в одной из следующих форм:

$$\dot{A} = a + jb \quad \text{алгебраическая форма;}$$

$$A = A e^{j\alpha} \quad \text{тригонометрическая форма;}$$

$$A = A \angle \alpha \quad \text{полярная форма;}$$

$$a = \operatorname{arctg} \frac{b}{a} \quad \text{аргумент комплексного числа;}$$

$$j = \sqrt{-1} \quad \text{мнимая единица.}$$

Если напряжение и ток изменяются по закону синуса

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_u),$$

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i),$$

то эти величины в комплексной форме записутся так:

$$\dot{U} = U e^{j\psi_u} \quad \text{и} \quad \dot{i} = I e^{j\psi_i},$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad \text{и} \quad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}.$$

Комплекс полного сопротивления цепи, состоящей из последовательно включенных  $r$ ,  $L$  и  $C$ ,

$$Z = r + j\omega L - j\frac{1}{\omega C} = r + j(\omega L - \frac{1}{\omega C}) = r + jx = z e^{j\varphi},$$

$$\text{где } z = \sqrt{r^2 + x^2}, \quad \varphi = \operatorname{arctg} \frac{x}{r}.$$

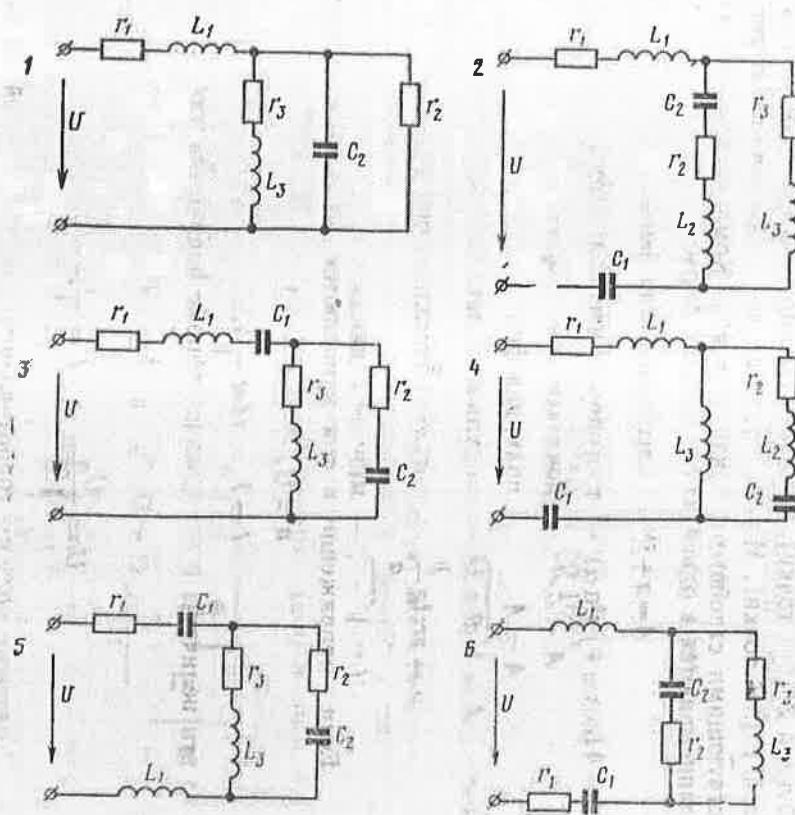
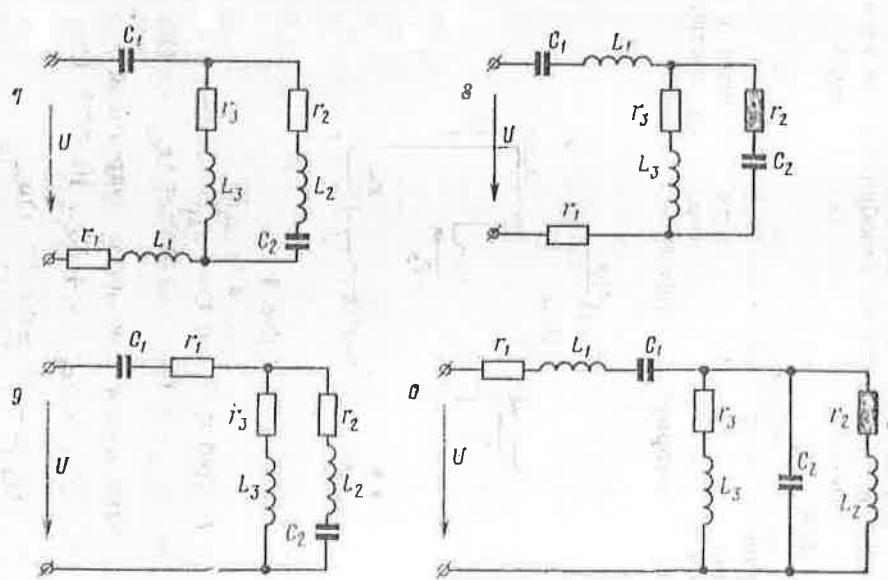


Рис. 2



Окончание рис. 2

Для расчета цепей синусоидального переменного тока комплексным методом применяются все методы, известные из теории электрических цепей постоянного тока (методы уравнений Кирхгофа, контурных токов, узловых потенциалов, преобразования и другие). Все отличие состоит в том, что вместо действительных чисел, соответствующих токам, напряжениям и сопротивлениям в цепях постоянного тока, при расчете цепей переменного тока используются комплексные числа. При расчете цепи целесообразно при умножении и делении комплексных чисел использовать показательную форму их записи.

**Пример.** Для электрической цепи (рис. 3) найти действующие значения токов и напряжений на всех участках, активные, реактивные и полные мощности всей цепи и отдельных участков с проверкой баланса мощностей; построить топографическую векторную диаграмму.

Приняв  $U = U_1$ , найдем токи отдельных участков

$$I_1 = \frac{U}{Z} = 39,6 e^{-j75^\circ 30'} \text{ А};$$

$$I_2 = \frac{Z_3}{Z_2 + Z_3} = 5(j) e^{j19^\circ 30'} \text{ А};$$

$$I_3 = I_1 - I_2 = 23,4 e^{-j109^\circ 10'} \text{ А}.$$

Напряжения отдельных участков

$$\dot{U}_1 = I_1 Z_1 = 396 e^{j45^\circ 20'} \text{ В};$$

$$\dot{U}_{23} = \dot{U} - \dot{U}_1 = 300 e^{-j70^\circ 30'} \text{ В}.$$

Комплекс полной мощности

$$\tilde{S} = \dot{U} \dot{I}_1^* = P + jQ,$$

где  $P = 14,85 \text{ кВт}$ ;  $Q = 2,04 \text{ квар}$ .

Аналогично находят  $\tilde{S}_1$ ,  $\tilde{S}_2$ ,  $\tilde{S}_3$ , при этом

$$\tilde{S} = \tilde{S}_1 + \tilde{S}_2 + \tilde{S}_3.$$

Для построения топографической диаграммы вычислим напряжения на всех элементах цепи:

$$\dot{U}_r_1 = I_1 r_1 = 39,6 e^{-j75^\circ 30'} \cdot 6 = 237,6 e^{-j75^\circ} \text{ В};$$

$$\dot{U}_{L_1} = I_1 jx_{L_1} = 39,6 e^{-j75^\circ} \cdot 12 e^{-j90^\circ} = 475,2 e^{j82^\circ 10'} \text{ В};$$

$$\dot{U}_{C_1} = I_1 (-jx_{C_1}) = 39,6 e^{-j75^\circ} \cdot 4 e^{-j90^\circ} = 158,4 e^{-j175^\circ 30'} \text{ В};$$

$$\dot{U}_{C_2} = I_2 (-jx_{C_2}) = 50 e^{j19^\circ 30'} \cdot 6 e^{-j90^\circ} = 300 e^{-j70^\circ 30'} \text{ В};$$

$$\dot{U}_{r_3} = I_3 r_3 = 23,4 e^{-j109^\circ 10'} \cdot 10 = 234 e^{-j109^\circ 10'} \text{ В};$$

$$\dot{U}_{L_3} = I_3 jx_{L_3} = 23,4 e^{-j109^\circ 10'} \cdot 8 e^{j90^\circ} = 187,2 e^{-j109^\circ 10'} \text{ В}.$$

Задавшись масштабом, отложим на диаграмме векторы токов  $\dot{i}_1$ ,  $\dot{i}_2$  и  $\dot{i}_3$  (рис. 4). Сумма токов  $\dot{i}_2 + \dot{i}_3$  равна вектору тока  $\dot{i}_1$ . Примем потенциал точки 1 равным нулю и определим комплексные потенциалы остальных точек, обходя схему на встречу положительному направлению токов. Комплексный потенциал  $\dot{\varphi}_2 = \dot{\varphi}_1 + i_1 t_1 = i_1 t_1$ .

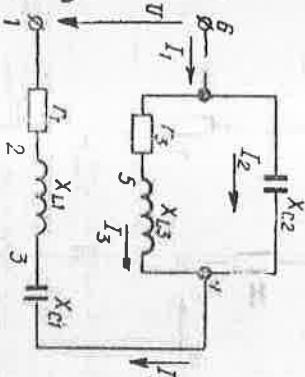


Рис. 3

Дано:

$$U = 380 \text{ В}; \quad r_1 = 6 \text{ Ом}; \quad x_{L_1} = 12 \text{ Ом};$$

$$x_{C_1} = 4 \text{ Ом}; \quad x_{C_2} = 6 \text{ Ом}; \quad r_3 = 10 \text{ Ом}; \quad x_{L_3} = 8 \text{ Ом}.$$

**Решение.** Записываем комплексы сопротивлений.

$$Z_1 = r_1 + jx_{L_1} = 6 + j8 = 10 e^{j53^\circ 10'} \text{ Ом};$$

$$Z_2 = -jx_{C_2} = -j6 = 6 e^{-j90^\circ} \text{ Ом};$$

$$Z_3 = r_3 + jx_{L_3} = 10 + j8 = 12,8 e^{j38^\circ 40'} \text{ Ом}.$$

Найдем комплекс полного сопротивления цепи

$$Z = Z_1 + \frac{Z_2 Z_3}{Z_2 + Z_3} = 9,6 e^{j7^\circ 50'} \text{ Ом}.$$

Построив из точки 1 вектор напряжения на сопротивлении  $i_1 r_1$  (совпадает по фазе с током  $I_1$ ), получим на диаграмме точку 2. Комплексный потенциал  $\varphi_2 = \varphi_1 + I_1 j x_{L_1}$ .

Построив из точки 2 вектор индуктивного напряжения  $I_1 j x_L$  (по фазе опережает ток  $I_1$  на  $90^\circ$ ), получим точку 3.

Комплексный потенциал  $\varphi_3 = \varphi_2 + I_1 (-j x_{C_1})$ . Построив из точки 3 вектор  $I_1 (-j x_{C_1})$  емкостного напряжения (по фазе отстает от тока  $I_1$  на  $90^\circ$ ), получим на диаграмме точку 4.

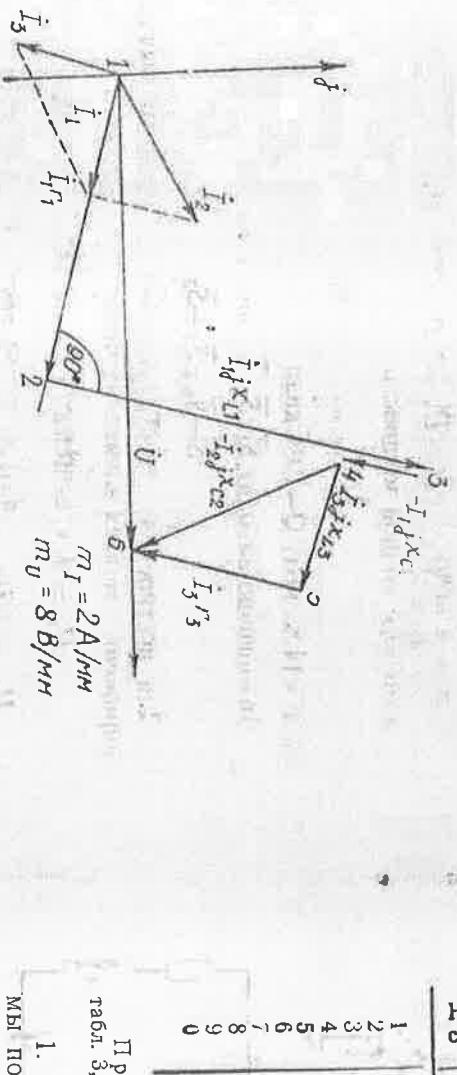


Рис. 4

Аналогично определяем комплексные потенциалы точек 5 и 6.

Вектор, соединяющий точку 1 с точкой 6 и направленный из точки 1 к точке 6, изображает напряжение  $U$  на зажимах цепи. Вектор, проведенный из начала координат в какуюлибо точку диаграммы, изображает комплексный потенциал соответствующей точки цепи.

Примеры расчета: [2; 4.5], [5; 35], [7; 3.16, 3.20], [8; 54.6], [9; 1–7].

Рекомендуемые дополнительные задачи: [6; 5.5], [7; 3.22, 3.28].

### ЗАДАЧА 3

РАСЧЕТ РАЗВЕТВЛЕННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПРИ НАЛИЧИИ ВЗАЙМОИНДУКТИВНОСТИ

В электрической схеме (рис. 5) известны напряжения источника ЭДС и параметры всех элементов (табл. 3). Частота  $f = 50$  Гц.

Таблица 3

Номер строки	$U$ , В	$r_1$ , Ом	$r_2$ , Ом	$r_3$ , Ом	$L_1$ , мГн	$L_2$ , мГн	$L_3$ , мГн	$C_1$ , мкФ	$C_3$ , мкФ	$K$
1	220	30	25	20	150	100	80	40	80	0,75
2	300	25	25	30	75	150	100	30	70	0,7
3	250	40	40	30	120	160	60	25	50	0,8
4	200	50	50	40	120	80	60	120	80	0,85
5	350	50	30	40	120	60	80	40	0,73	0,73
6	110	10	15	8	60	70	100	60	40	0,8
7	220	30	30	20	50	80	60	80	30	0,7
8	380	20	15	15	80	110	100	150	50	0,75
9	250	25	20	100	80	60	80	50	0,83	0,83
0	110	10	15	40	120	60	60	30	0,8	

Примечание. В условии задачи записываются те параметры табл. 3, которые показаны на выбранной схеме.

1. Определить токи и напряжения на всех участках схемы по законам Кирхгофа. Результаты расчета проверить по второму закону Кирхгофа.

2. Построить в масштабе векторную диаграмму токов и топографическую диаграмму напряжений.

3. Определить активную мощность, передаваемую через магнитную связь от одной катушки к другой.

Примечание. Для схем 4,5 (рис. 5) построить векторную диаграмму токов и напряжений.

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Приведенная в задании сеть является двухжгутурной цепью с одной магнитной связью. Расчет разветвленных цепей переменного тока при наличии магнитных связей между элементами производится по законам Кирхгофа или методом контурных токов. Метод узловых потенциалов непосредственно для расчета таких цепей неприменим, так как ток в каждой ветви в этом случае зависит не только от напряжения и ЭДС данной ветви, но и от токов других ветвей, маг-

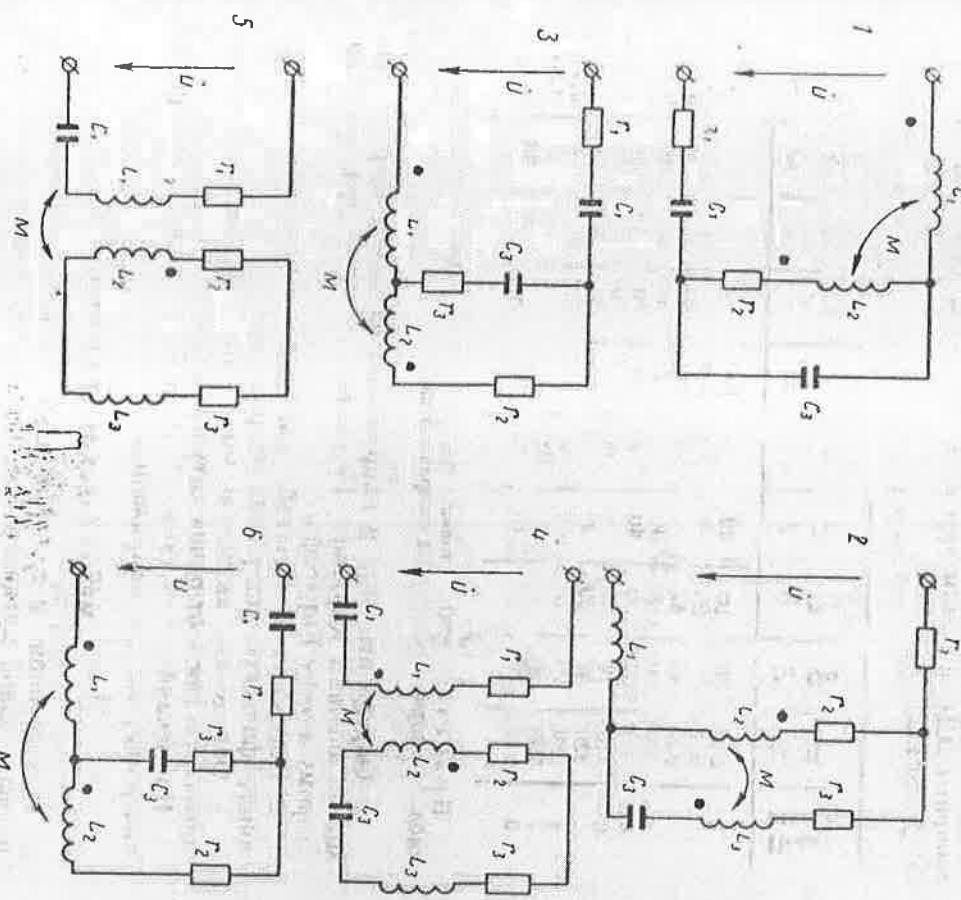
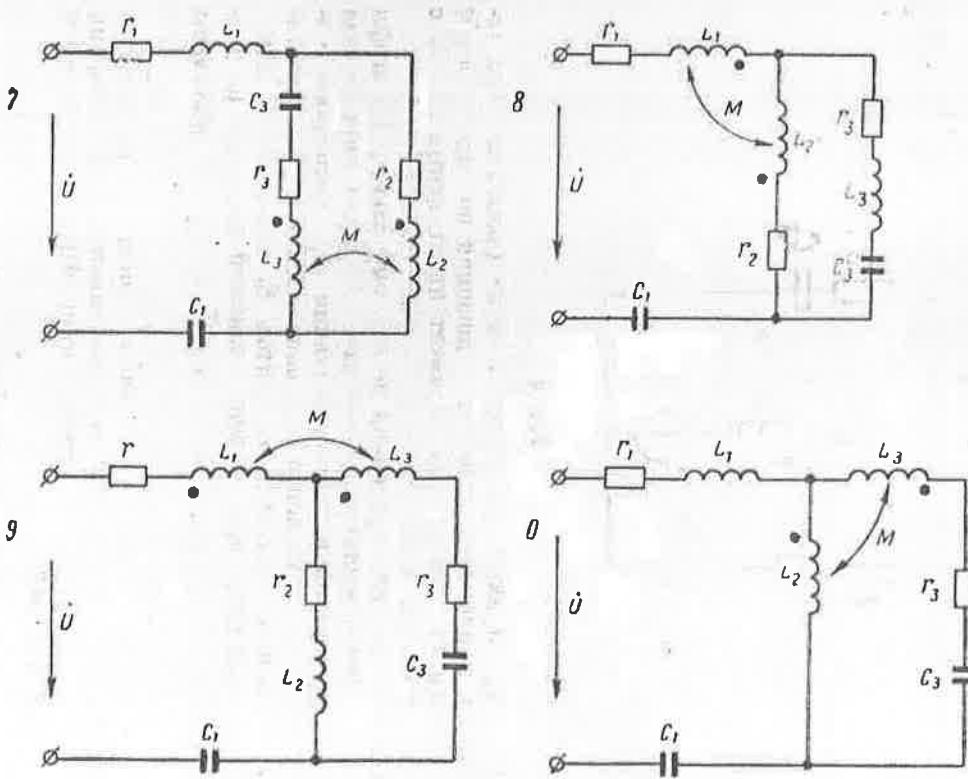


Рис. 5



Окончание рис. 5

нитно связанных с данной. Точно так же при расчете цепей с взаимными индуктивностями нельзя пользоваться методом преобразования цепей, в том числе методом преобразования треугольника сопротивлений в звезду и обратно.

В этих уравнениях:

$$\begin{aligned} Z_1 &= r_1 + j\omega L_1; \\ Z_2 &= r_2 + j\omega L_2; \end{aligned}$$

$$Z_3 = r_3 + j(\omega L_3 - \frac{1}{\omega C_3}),$$

$$\dot{Z}_M = j\omega M.$$

Примеры расчета: [7; 46], [5; 5.18, 5.19, 5.33; 5.37]. Рекомендуемые дополнительные задачи: [7; 5.22].

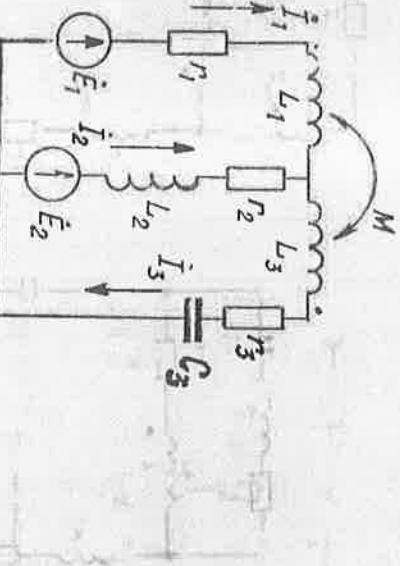


Рис. 6

Теорему об активном двухполюснике (эквивалентном генераторе) можно применять, если внешняя по отношению к двухполюснику часть цепи не имеет индуктивных связей с остальной частью цепи.

При составлении уравнений по второму закону Кирхгофа следует придерживаться следующего правила определения знаков напряжений взаимной индукции: при совпадении направления обхода элемента  $K$  и направления тока в элементе  $l$ , магнитно-связанном с элементом  $K$ , относительно одинаковых зажимов, напряжение взаимной индукции на элементе  $K$  берется со знаком плюс ( $+j\omega M_{kl} i_l$ ), в противном случае — со знаком минус ( $-j\omega M_{kl} i_l$ ).

В качестве примера составим уравнения по законам Кирхгофа для схемы (рис. 6) в соответствии с указанными на ней положительными направлениями ЭДС, токов ветвей и разметкой зажимов:

$$i_1 + i_2 - i_3 = 0;$$

$$i_1 Z_1 - i_3 Z_M - i_2 Z_2 = E_1 - E_2;$$

$$i_1 Z_1 - i_3 Z_M + i_3 Z_3 - i_2 Z_2 = E_1.$$