

ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РГР ПО ТОЭ

1. Каждый студент выполняет свой вариант РГР, соответствующий его номеру по списку в журнале группы. Этот номер определяет код задания, указанный в табл. 1. Номер группы указывается лектором потока.

2. Код задания сохраняется при выполнении всех РГР и обязательно указывается на титульном листе в соответствии с образцом его оформления.

3. Условие задачи и исходные данные в соответствии с кодом задания приводятся полностью и формируются с использованием приведенных примеров.

4. Электрические схемы выполняются с соблюдением ГОСТ на изображение элементов электрических схем.

5. Графики и векторные диаграммы выполняются на миллиметровой бумаге с обязательным указанием масштабов и единиц измерения изображаемых величин.

6. Расчеты должны выполняться с обычной инженерной точностью до трех-четырех значащих цифр.

7. РГР выполняются на листах формата А₄ по образцу, приведенному на стр.3 и сдаются преподавателю, ведущему практические занятия. При отсутствии практических занятий - преподавателю, ведущему лабораторные работы.

8. Исправления по замечаниям преподавателя помещаются в конце проверенной работы под заголовком «Исправление ошибок». На титульном листе обязательно указывается «Ошибки исправлены», при этом замечания преподавателя на титульном листе и в самой работе должны быть оставлены.

9. При невыполнении указанных требований РГР без проверки возвращается студенту для соответствующего оформления.

Таблица №1

№	Группа 1	Группа 2	Группа 3	Группа 4	Группа 5
	Код abcdef	Код abcdef	Код abcdef	Код abcdef	Код abcdef
1	311234	322134	211234	232134	121234
2	311243	322143	211243	232143	121243
3	311324	322314	211324	232314	121324
4	311342	322341	211342	232341	121342
5	311423	322413	211423	232413	121423
6	311432	322431	211432	232431	121432
7	312134	323124	212134	233124	122134
8	312143	323142	212143	233142	122143
9	312314	323214	212314	233214	122314
10	312341	323241	212341	233241	122341
11	312413	323412	212413	233412	122413
12	312431	323421	212431	233421	122431
13	313214	324123	213214	234123	123124
14	313241	324132	213241	234213	123142
15	313124	324213	213124	234231	123214
16	313142	324231	213142	234312	123241
17	313412	324312	213412	234321	123412
18	313421	324321	213421	241234	123421
19	314123	341234	214123	241243	124123
20	314132	341243	214132	241324	124132
21	314213	341324	214213	241342	124213
22	314231	341342	214231	241423	124231
23	314312	341423	214312	241432	124312
24	314321	341432	214321	242134	124321
25	321234	343124	231234	242143	131234
26	321243	343143	231243	242314	131243
27	321324	342314	231324	242341	131324
28	321342	342341	231342	242413	131342
29	321423	342413	231423	242431	131423
30	321432	342431	231432	243124	131432

ЗАДАЧА №2

ПРИМЕНЕНИЕ СИМВОЛИЧЕСКОГО МЕТОДА РАСЧЕТА УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЦЕПИ С ИСТОЧНИКАМИ СИНУСОИДАЛЬНЫХ ЭДС

1. Исходные данные

В схеме цепи с источником синусоидальной ЭДС три ветви и два узла. Каждая ветвь содержит индуктивный элемент, а также в соответствии с кодом задания может содержать источник синусоидальной ЭДС, резистивный и емкостный элемент.

1.1. Индуктивный элемент L_1 в ветви 1 имеет зажимы 1,2; L_2 - зажимы 3,4; L_3 - зажимы 5,6. Зажимы 2, 4, 6 соединены в один узел. При этом $L_1=(125-10\cdot c)$; $L_2=(25+10\cdot d)$; $L_3=60$ мГн.

1.2. Две ветви имеют магнитную связь. Коэффициент связи $k=0,8$. Одноименные зажимы в соответствии с кодом указаны в таблице 2.

Таблица 2.1.

a	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3
f	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Одноименные зажимы	1	1	2	3	1	2	2	4	1	2	3	4
	4	6	5	6	3	4	6	5	5	3	5	6

1.3. Ветвь "а" содержит источник ЭДС $e_1 = 100\sin(314t+\psi)$ В; $\psi=(120-45b)^\circ$.

1.4. Ветвь 1 содержит элементы "а" и "f", ветвь 2 - элементы "с" и "d", ветвь 3 - элементы "d" и "e". Элементы "а", "с", "d", "e", "f" выбираются по таблице 2.2.

Таблица 2.2.

№ элемента	1	2	3	4
Элемент	R	R	R	C

$R=20$ Ом, $C=100$ мкФ.

2. Задание

2.1. Начертить схему согласно коду и соответствующим исходным данным без учета индуктивных связей.

2.2. Построить осциллограмму ЭДС $e_1(t)$ и изобразить эту ЭДС вектором \dot{E}_{1m} на комплексной плоскости.

2.3. Определить комплексные действующие значения токов в ветвях, используя метод эквивалентных преобразований пассивных ветвей.

2.4. Составить и рассчитать баланс комплексных мощностей.

2.5. Начертить схему согласно исходным данным с учетом индуктивной связи, заменив ЭДС e_1 на неизвестную ЭДС e_2 и включив в любую другую ветвь еще одну неизвестную ЭДС e_3 , полагая, что токи при этом остались прежними, рассчитанными в п.2.3.

2.6. Определить неизвестную ЭДС \dot{E}_3 , составив уравнение по 2-му закону Кирхгофа для контура, не включающего ЭДС \dot{E}_2 .

2.7. Построить векторную диаграмму токов на миллиметровой бумаге с указанием масштаба.

3. Пример формирования исходных данных для кода 323241

abcdef

$L_1 = (125 - 10 \cdot c) = 125 - 10 \cdot 3 = 95$ мГн, $L_2 = (25 + 10 \cdot d) = 25 + 10 \cdot 2 = 45$ мГн, $L_3 = 60$ мГн. При $a = 3$, $f = 1$ индуктивно связаны элементы L_1 и L_3 , одноименные зажимы 1 и 5. (табл. 2.1.) Ветвь 3 содержит источник $e_1 = 100 \sin(314t + \psi)$ В; $\psi = 120 - 45 \cdot 2 = 30^\circ$, $e_1 = 100 \sin(314t + 30)$ В. Ветвь 1 содержит элементы 3 и 1, т.е., согласно табл. 2.2, - R и R; ветвь 2 содержит элементы 3 и 2, т.е. R и R; ветвь 3 содержит элементы 2 и 4, т.е. R и C. Схемы для указанного кода задания приведены на рис. 2.1. (а,б).

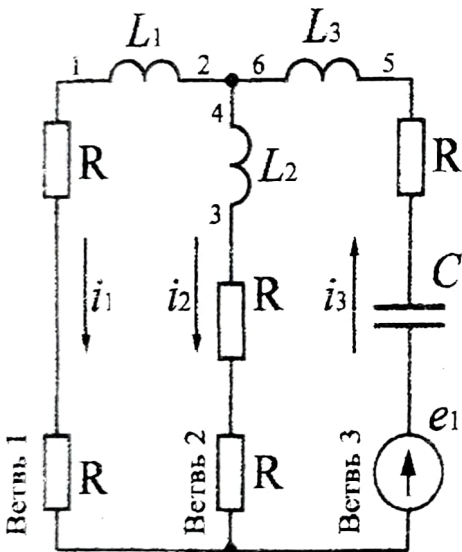


Рис. 2.1, а

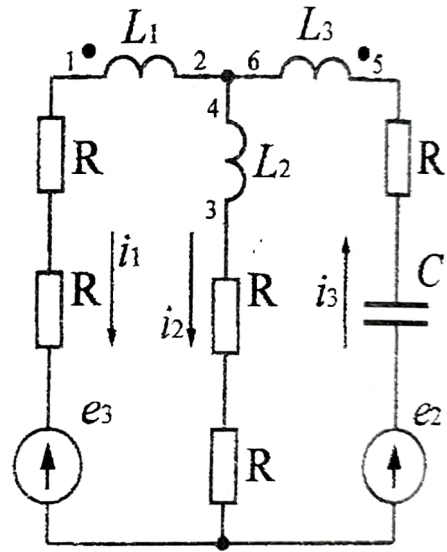


Рис. 2.1, б

4. Методические указания

4.1. Расчет установившегося режима линейной цепи с источниками синусоидальных ЭДС следует вести с применением символических изображений мгновенных значений ЭДС, напряжений и токов, являющихся гармоническими функциями времени. Во время решения задачи требуется внимательность при переходе от мгновенных значений электрических величин к комплексным, от алгебраической формы записи комплексных чисел к показательной. Следует научиться строго соблюдать обозначения различных электрических величин, при этом необходимо помнить:

$i(t), u(t)$ - мгновенные значения тока, напряжения;

\dot{I}, \dot{U} - комплексные действующие значения тока, напряжения;

\dot{I}_m, \dot{U}_m - комплексные амплитуды тока, напряжения;

I, U - действующие значения тока, напряжения;

Например, если мгновенное значение тока $i(t) = 20 \sin(\omega t - 30^\circ)$, то

$$i = \frac{20}{\sqrt{2}} e^{-j30}; \quad \dot{I}m = 20e^{-j30}; \quad I = \frac{20}{\sqrt{2}}; \quad Im = 20$$

В полярной форме записи комплексное действующее значение тока записывается в виде $\dot{I} = I \angle \psi$, где ψ – начальная фаза.

4.2. В исходной схеме (рис. 2.1.) буквенные обозначения элементов и токов должны быть совместимыми, т. е. соответствующими либо дифференциальной, либо символической форме записи уравнений Кирхгофа. Другими словами, если на схеме обозначены мгновенные значения токов, напряжений и ЭДС - i , u и e , - то элементы должны быть обозначены R , L и C ; если в схеме обозначения в комплексных действующих значениях \dot{I} , \dot{U} , \dot{E} , то элементы схемы должны быть обозначены R , X_L , X_C .

4.3. При выполнении п.2.2. рекомендуется справа от осциллограммы $e_1(t)$ или $e_1(\omega t)$ показать на комплексной плоскости комплексную амплитуду \dot{E}_{1m} .

4.4. В исходной схеме лишь один источник ЭДС, поэтому в п.2.3. целесообразно применить эквивалентные преобразования, целью которых является “свертывание” этой схемы к одноконтурной. После выполнения п.2.3. следует проверить расчетом выполнение I закона Кирхгофа в символической форме записи, т.е. $\sum \dot{I} = 0$

4.5. При проверке баланса комплексных (активных и реактивных) мощностей погрешности, накопленные в расчетах из-за округления промежуточных результатов, не должны давать относительную погрешность, превышающую 2 – 3 %.

4.6. Преобразованная схема, учитывающая индуктивные связи, отличается от исходной схемы наличием индуктивно связанных катушек с известными (табл.2.1) одноименными зажимами, наличием ЭДС e_2 (взамен e_1) и e_3 , при этом токи в обеих схемах остаются одинаковыми.

4.7. В задаче ЭДС e_2 определять не требуется. Для определения ЭДС \dot{E}_3 в п.2.6. следует составить уравнение по второму закону Кирхгофа в символической форме записи по контуру, не включающему неизвестную ЭДС e_2 .

4.8. По результатам расчетов построить векторную диаграмму токов на комплексной плоскости.

5. Пример расчета

В схеме рис. 2.2 дано:

$e_1 = 100 \sin(314t + 75^\circ)$; $R = 20 \text{ Ом}$;
 $L_1 = 95 \text{ мГн}$; $L_2 = 45 \text{ мГн}$;
 $L_3 = 60 \text{ мГн}$; $C = 100 \text{ мкФ}$;
 $k = 0.8$.

Одноименные зажимы
магнитосвязанных элементов L_1 и L_3 ,
соответственно, 1 и 3.

В схеме на рис. 2.3 дано:

$\dot{E}_1 = 70,7 \angle 75^\circ \text{ В}$; $R = 20 \text{ Ом}$;
 $X_{L1} = 29,8 \text{ Ом}$; $X_{L2} = 14,1 \text{ Ом}$;
 $X_{L3} = 18,8 \text{ Ом}$; $X_C = 31,9 \text{ Ом}$;

Индуктивная связь не учтена.

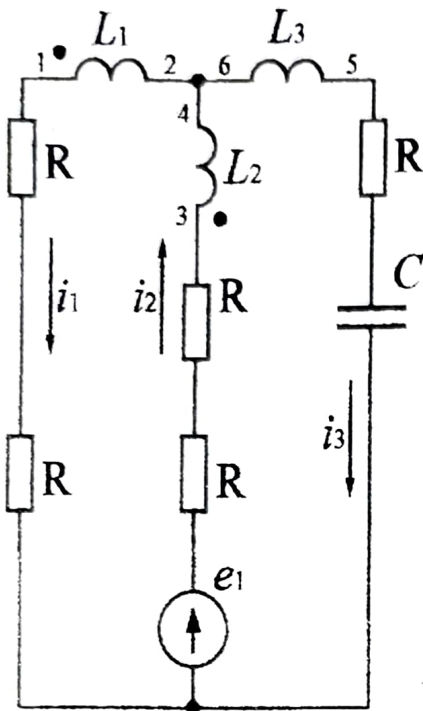


Рис. 2.2.

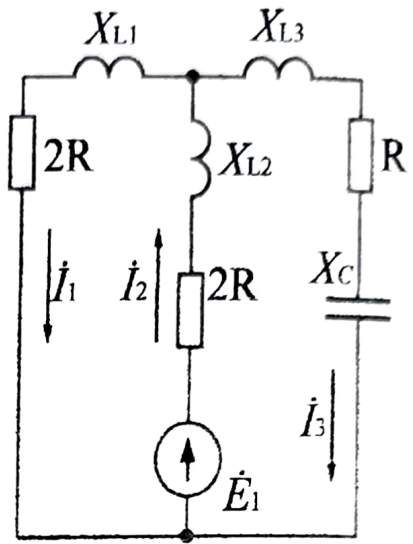


Рис. 2.3.

Определить комплексные действующие значения токов в схеме рис. 2.3.

Решение

Осциллограмма $e_1(t)$ и изображение \dot{E}_1 на комплексной плоскости представлены на рис. 2.4, а, б

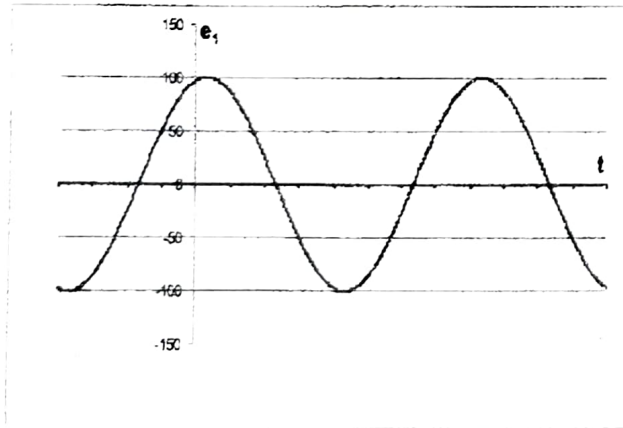


Рис. 2.4.а

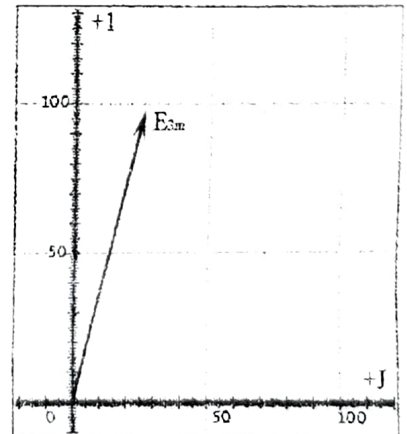


Рис. 2.4.б

Для определения токов в схеме рис 2.3. проведем эквивалентные преобразования, предварительно определив комплексные сопротивления ветвей схемы.

$$\underline{Z}_1 = 2R + jX_{L1} = 40 + j29,8 = 49,9 \angle 36^\circ 40' \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_2 = 2R + jX_{L2} = 40 + j14,1 = 42,4 \angle 19^\circ 25' \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_3 = R + jX_{L3} - jX_C = 20 - j13,1 = 23,9 \angle -33^\circ 12' \text{ Ом}.$$

Ветви с сопротивлениями \underline{Z}_1 , \underline{Z}_3 включены параллельно, тогда эквивалентное сопротивление

$$\underline{Z}_{13} = \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_3}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3} = \frac{49.9 \angle 36^\circ 40' \cdot 23.9 \angle -33^\circ 12'}{40 + j29.8 + 20 - j13.1} = 19.17 \angle -12^\circ 05' = 18.8 - j4 \text{ Ом}$$

Схема становится одноконтурной с ЭДС E_1 и сопротивлением $\underline{Z} = \underline{Z}_2 + \underline{Z}_{13} = 40 + j14.1 + 18.8 - j4.0 = 59.8 \angle 9^\circ 45' \text{ Ом}$.

По закону Ома

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_1}{\underline{Z}} = \frac{70.7 \angle 75^\circ}{59.8 \angle 9^\circ 45'} = 1.182 \angle 65^\circ 15' = 0.495 + j1.072 \text{ А}$$

$$\dot{U}_{20} = \underline{Z}_{13} \dot{I}_2 = 19.17 \angle -12^\circ 05' \cdot 1.182 \angle 65^\circ 15' = 22.66 \angle 53^\circ 10' \text{ В}$$

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_{20}}{\underline{Z}_1} = \frac{22.66 \angle 53^\circ 10'}{49.9 \angle 36^\circ 40'} = 0.454 \angle 16^\circ 30' = 0.435 + j0.129 \text{ А}$$

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_{20}}{\underline{Z}_3} = \frac{22.66 \angle 53^\circ 10'}{23.9 \angle -33^\circ 12'} = 0.948 \angle 86^\circ 22' = 0.060 + j0.945 \text{ А}$$

Баланс токов по первому закону Кирхгофа соблюдается:

$$\dot{I}_2 = \dot{I}_1 + \dot{I}_3; 0.495 + j1.072 \text{ А} \approx 0.495 + j1.074 \text{ А}.$$

Векторная диаграмма токов приведена на рисунке 2.5.

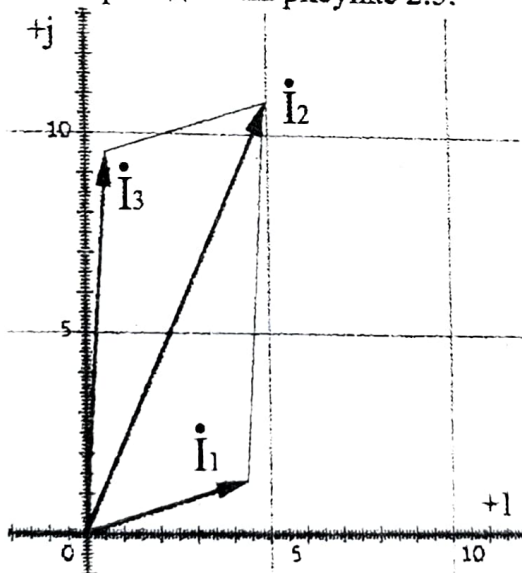


Рис. 2.5.

Таким образом, токи в ветвях имеют действующие значения:

$$I_1 = 0,454 \text{ А}; I_2 = 1,182 \text{ А}; I_3 = 0,948 \text{ А}.$$

Комплексные мощности источника и приемников:

$$\underline{S}_{И} = \dot{E}_1 \cdot \dot{I}_2^* = 70.7 \angle 75^\circ \cdot 1.182 \angle -65^\circ 15' = 82.3 + j14.1 \text{ ВА}$$

где \dot{I}_2^* – сопряженный комплекс тока \dot{I}_2

$$\begin{aligned} \sum \underline{S}_{П} &= \underline{Z}_1 I_1^2 + \underline{Z}_2 I_2^2 + \underline{Z}_3 I_3^2 = (40 + j29.8) \cdot 0.454^2 + (40 + j14.1) \cdot 1.182^2 + \\ &+ (20 + j13.1) \cdot 0.948^2 = 82.1 + j14.1 \text{ ВА} \end{aligned}$$

$$\underline{S}_{И} = \sum \underline{S}_{П}, 82.3 + j14.1 \text{ ВА} \approx 82.1 + j14.1 \text{ ВА}.$$

В схеме на рис. 2.4. сохранены те же токи и параметры одноименных элементов, что и в схеме на рис. 2.2. примера, но введены три новых элемента: M , \dot{E}_2 (взамен \dot{E}_1) и \dot{E}_3 . Коэффициент связи $k=0,8$. Определить ЭДС e_3 , построить векторную диаграмму токов.

Сопротивление взаимной индукции

$$X_M = K \sqrt{X_{L1} X_{L2}} = 16.4 \text{ Ом}$$

ЭДС e_2 определять не требуется. Поэтому для определения e_3 следует составить уравнение по второму закону Кирхгофа для внешнего контура схемы не включающего e_2 , рис. 2.6 (обход контура против часовой стрелки).

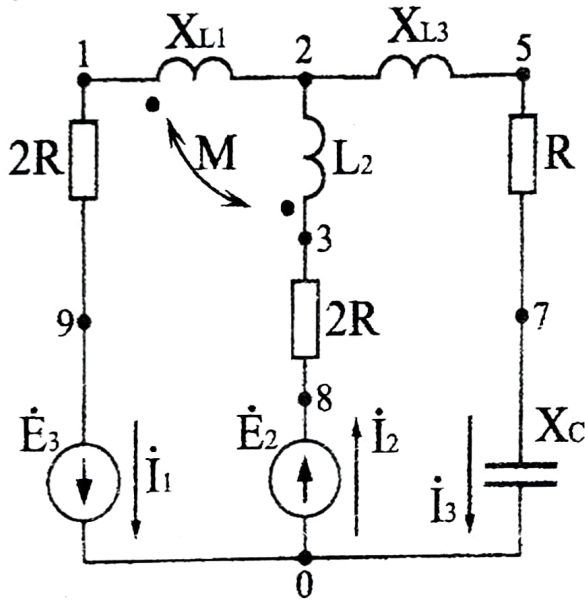


Рис 2.6.

$$\begin{aligned} \dot{E}_3 &= 2R\dot{I}_1 + jX_{L1}\dot{I}_1 - jX_M\dot{I}_2 + jX_C\dot{I}_3 - R\dot{I}_3 - jX_{L3}\dot{I}_3 = \\ &= 40 \cdot 0.454 \angle 16^\circ 30' + j29.8 \cdot 0.454 \angle 16^\circ 30' - j16.4 \cdot 1.182 \angle 65^\circ 15' + \\ &+ j31.9 \cdot 0.948 \angle 86^\circ 22' - 20 \cdot 0.948 \angle 86^\circ 22' - j18.8 \cdot 0.948 \angle 86^\circ 22' = \\ &= 19.4 \angle -24^\circ 45' \text{ В} \end{aligned}$$

$$\text{т.е. } e_3 = 19.4\sqrt{2} \sin(314t - 24^\circ 45') \text{ В}$$