

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шебзухов Тимур Александрович

Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского
федерального университета

Дата подписания: 12.09.2023 16:47:58

Уникальный программный ключ: «СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению расчетного-графической работы

по дисциплине «ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ»

для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Передача и распределение электрической энергии в системах электроснабжения

(ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТ)

Общие указания

Расчётно-графическая работа должна быть выполнена с использованием компьютера шрифтом Times New Roman №14 или №12 на бумаге формата А4. При отсутствии компьютера работа выполняется в ученической тетради в клеточку. Все расчёты необходимо сопровождать текстовыми пояснениями, результаты однотипных расчётов (по какой-либо одной формуле) сводить в таблицы; схемы, векторная и потенциальная диаграммы должны быть выполнены с использованием чертежных инструментов. Диаграммы выполняются на миллиметровой бумаге с указанием принятых масштабов тока, напряжения и сопротивления. Перед решением каждой задачи должно быть записано условие.

Расчётно-графическая работа состоит из решения трёх задач: первая – расчет электрической цепи постоянного тока, вторая и третья – расчет электрической цепи переменного синусоидального тока.

Номер варианта задания соответствует двум последним цифрам зачетной книжки. Если предпоследняя цифра от 3 до 5, то от нее необходимо отнять 3, если от 6 до 8, то от нее необходимо отнять 6, предпоследнюю цифру 9 необходимо заменить 0. Например, если две последние цифры 35, то вариант задания 5, если две последние цифры 86, то вариант задания 26. Номер варианта задания преподаватель может установить индивидуально.

Указание к решению задачи №1

Решение задачи заключается в определении токов всех ветвей и напряжений на всех элементах электрической цепи. Далее на миллиметровой бумаге необходимо построить потенциальную диаграмму одного из контуров схемы замещения. Заканчивается решение задачи проверкой баланса мощности, одновременно являющейся проверкой правильности определения токов в ветвях.

Метод, которым необходимо решить задачу, указан в соответствующем варианте. Уравнения и другие аналитические выражения необходимо записывать сначала в общем виде, затем подставлять численные значения входящих в выражения величин, а затем записать полученный результат.

Указания к решению задачи №2

Решение данной задачи выполняется комплексным методом. Все комплексные величины (напряжения, токи, сопротивления) необходимо записывать в двух формах: алгебраической и показательной. Первую удобно использовать при выполнении операций сложения и вычитания, а также при построении векторных диаграмм; вторую – при умножении и делении.

Решение задачи заключается в определении токов и напряжений на всех элементах электрической схемы. В процессе выполнения расчета рекомендуется выполнять промежуточные проверки правильности вычислений. Например, если найдены токи, сходящиеся в узле, то их сумма должна быть равной нулю; или ес-

ли найдены напряжения на элементах, включенных последовательно между двумя узлами, то их сумма должна равняться напряжению между этими узлами.

Завершается расчет проверкой баланса активной и реактивной мощности. Активная и реактивная мощность, потребляемые всей схемой должны быть соответственно равны сумме активной и реактивной мощностей, потребляемыми отдельными элементами схемы.

Построение векторной диаграммы токов и напряжений, действующих в последовательно-параллельной цепи синусоидального тока рекомендуется выполнять в следующем порядке:

отсчет углов производим относительно горизонтальной оси (ось «Х», ось абсцисс); причем положительные углы откладываем против часовой стрелки, а отрицательные – по часовой стрелке.

Алгоритм построения векторной диаграммы следующий:

1. Из начала координат проводим направления токов:

2. Построение начинаем с «дальней» (третьей) ветви:

2.1. Падение напряжения на R_3 совпадает с направлением тока $\dot{I}_3$. Поэтому вектор $\dot{U}_{R3}$ в масштабе откладываем в направлении тока $\dot{I}_3$.

2.2. Падение напряжения на L_3 на 90° опережает ток $\dot{I}_3$. Поэтому вектор $\dot{U}_{L3}$ в масштабе откладываем перпендикулярно направлению тока $\dot{I}_3$ с опережением на 90° начиная с конца вектора $\dot{U}_{R3}$.

2.3. Падение напряжения на C_3 на 90° отстает от тока $\dot{I}_3$. Поэтому вектор $\dot{U}_{C3}$ в масштабе откладываем перпендикулярно направлению тока $\dot{I}_3$ с отставанием на 90° начиная с конца вектора $\dot{U}_{R3}$.

2.4. Векторы $\dot{U}_{L3}$ и $\dot{U}_{C3}$ имеют противоположное направление; их результирующий вектор $\dot{U}_{P3}$ (реактивное напряжение третьей ветви) равен их геометрической разности и, в данном случае, направлен перпендикулярно току $\dot{I}_3$ с отставанием на 90° .

2.5. Геометрическая сумма активного и реактивного падений напряжений третьей ветви (геометрическая сумма векторов $\dot{U}_{R3}$ и $\dot{U}_{P3}$) определит полное падение напряжения на третьей ветви $\dot{U}_3$.

3. Аналогично строим вектор падения напряжения на второй ветви:

3.1. Падение напряжения на R_2 совпадает с направлением тока $\dot{I}_2$. Поэтому вектор $\dot{U}_{R2}$ в масштабе откладываем в направлении тока $\dot{I}_2$.

3.2. Падение напряжения на L_2 на 90° опережает ток $\dot{I}_2$. Поэтому вектор $\dot{U}_{L2}$ в масштабе откладываем перпендикулярно направлению тока $\dot{I}_2$ с опережением на 90° начиная с конца вектора $\dot{U}_{R2}$.

3.3. Падение напряжения на C_2 на 90° отстает от тока $\dot{I}_2$. Поэтому вектор $\dot{U}_{C2}$ в масштабе откладываем перпендикулярно направлению тока $\dot{I}_2$ с отставанием на 90° начиная с конца вектора $\dot{U}_{R2}$.

3.4. Векторы $\dot{U}_{L2}$ и $\dot{U}_{C2}$ имеют противоположное направление; их результирующий вектор $\dot{U}_{P2}$ (реактивное напряжение второй ветви) равен их геометрической

разности и, в данном случае, направлен перпендикулярно току $\dot{I}_2$ с опережением на 90° .

3.5. Геометрическая сумма активного и реактивного падений напряжений второй ветви (геометрическая сумма векторов $\dot{U}_{R2}$ и $\dot{U}_{P2}$) определит полное падение напряжения на второй ветви $\dot{U}_2$.

4. Т.к. вторая и третья ветви параллельны, то, естественно, $\dot{U}_2 = \dot{U}_3$, т.е. векторы $\dot{U}_2$ и $\dot{U}_3$ совпадают по величине и по направлению. Обозначим этот вектор $\dot{U}_{23}$.

5. Полное падение напряжения на всех элементах схемы представляет собой геометрическую сумму векторов $\dot{U}_{23}$ и $\dot{U}_1$ (вектор полного падения напряжения на элементах первой ветви).

6. Построение вектора полного падения напряжения на элементах первой ветви (вектора $\dot{U}_1$) производим следующим образом:

6.1. С конца вектора $\dot{U}_{23}$ проводим линию, параллельную направлению тока $\dot{I}_1$.

6.2. Падение напряжения на R_1 совпадает с направлением тока $\dot{I}_1$. Поэтому вектор $\dot{U}_{R1}$ в масштабе откладываем в направлении тока $\dot{I}_1$.

6.3. Падение напряжения на L_1 на 90° опережает ток $\dot{I}_1$. Поэтому вектор $\dot{U}_{L1}$ в масштабе откладываем перпендикулярно направлению тока $\dot{I}_1$ с опережением на 90° начиная с конца вектора $\dot{U}_{R1}$.

6.4. Падение напряжения на C_1 на 90° отстаёт от тока $\dot{I}_1$. Поэтому вектор $\dot{U}_{C1}$ в масштабе откладываем перпендикулярно направлению тока $\dot{I}_1$ с отставанием на 90° начиная с конца вектора $\dot{U}_{R1}$.

6.5. Векторы $\dot{U}_{L1}$ и $\dot{U}_{C1}$ имеют противоположное направление; их результирующий вектор $\dot{U}_{P1}$ (реактивное напряжение первой ветви) равен их геометрической разности и, в данном случае, равен нулю, т.е. в первой ветви мы наблюдаем резонанс напряжений.

6.6. Геометрическая сумма активного и реактивного падений напряжений первой ветви (геометрическая сумма векторов $\dot{U}_{R1}$ и $\dot{U}_{P1}$) определит полное падение напряжения на первой ветви $\dot{U}_1$ и, в данном случае, оно по величине и по направлению совпадает с вектором $\dot{U}_{R1}$.

Обозначим его « $\dot{U}_{R1} = \dot{U}_1$ ».

7. Как отмечалось выше, полное падение напряжения на всех элементах схемы представляет собой геометрическую сумму векторов $\dot{U}_{23}$ и $\dot{U}_1$, которую и обозначаем $\dot{U}$.

8. Вектор тока $\dot{I}_1$ представляет собой геометрическую сумму векторов $\dot{I}_2$ и $\dot{I}_3$, которую строим в выбранном удобном масштабе токов на уже проведенных направлениях.

Указания к решению задачи № 3

Задание предполагает два уровня сложности: базовый и повышенный.

Задание базового уровня:

1. Определить комплексные действующие значение токов всех ветвей схемы замещения методом эквивалентных преобразований.
2. Проверить правильность расчета путем составления баланса мощностей. Погрешность в определении активной и реактивной мощностей не должна превышать 1%.

Задание повышенного уровня:

1. В ветви с активным сопротивлением R_1 «включить» амперметр электромагнитной системы и определить его показание.
4. «Подключить» вольтметр электромагнитной системы к полюсам ветви с источником Э.Д.С. и определить его показание.
5. Записать функции мгновенных значений тока амперметра и напряжения на вольтметре. Построить графики зависимости тока $i_A = f(t)$ и напряжения $u_V = f(t)$ от времени.
6. Построить векторную диаграмму токов ветвей.
7. Выбрать контур схемы, содержащий источник Э.Д.С. В тех же координатах комплексной плоскости (п. 6) построить векторную диаграмму напряжений.

Задача № 1

Номер рисунка, на котором изображена расчетная схема, номер таблицы значений параметров и метод, которым необходимо решить задачу, представлены в таблице №1.

Таблица 1

Номер варианта	Номер рисунков	Номер таблиц	Методы решения задач
1...10	1	2	контурных токов
11...20	2	3	преобразования схемы и узлового напряжения
21...30	3	4	узловых потенциалов

Варианты 1 – 10

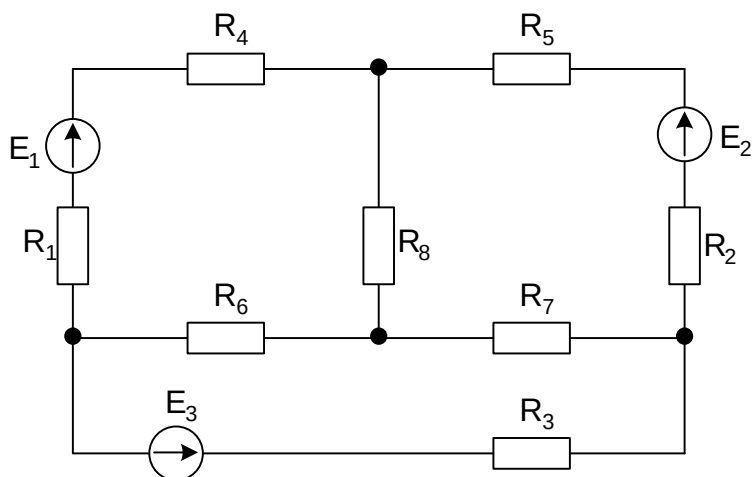


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная к вариантам 1...10

Таблица 2

№ варианта	E_1 , В	E_2 , В	E_3 , 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	220	220	110	5	5	2	55	55	20	20	40
2	15	12	6	0,3	0,2	0,1	19,7	24,8	29,9	30	15
3	24	12	6	0,3	0,2	0,1	9,7	9,8	50	50	20
4	220	110	110	6	3	3	54	87	57	40	83
5	12	6	6	2	1	1	3	12	5	7	8
6	24	12	6	4	2	1	6	8	10	10	20
7	24	12	12	4	2	2	12	16	20	20	40
8	24	6	6	6	1	1	4	4	10	10	10
9	12	12	6	2	2	1	6	16	10	20	40
10	100	70	30	5	4	2	15	60	70	28	60

Расчет выполнить методом контурных токов

Варианты 11 – 20

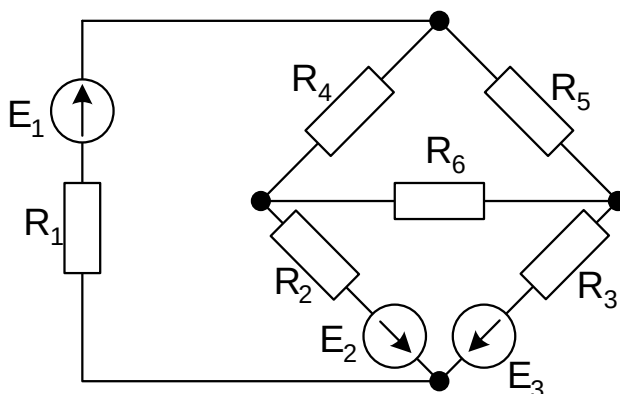


Рис. 2. Схема электрическая принципиальная к вариантам 11...20

Таблица 3

№ варианта	E_1 , В	E_2 , В	E_3 , В	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	R_4 , Ом	R_5 , Ом	R_6 , Ом
11	20	12	6	3,8	3	7	4	6	10

12	- 20	12	6	12	1	2,5	6	10	0,5
13	15	5	- 5	0,4	0,8	0,8	20	30	25
14	24	- 5	5	0,2	0,8	0,8	30	50	40
15	24	12	12	0,2	0,4	0,4	12	24	4
16	200	50	50	3,5	3,75	7,5	25	50	25
17	100	25	- 25	12	6	1,83	15	40	20
18	100	50	25	4	6,5	0,5	20	15	15
19	200	12	- 12	20	4	1,25	40	45	15
20	220	- 24	15	2,5	5	7	25	15	10

Расчет выполнить использованием методов преобразования схемы и узло-
вого напряжения.

Варианты 21 – 30

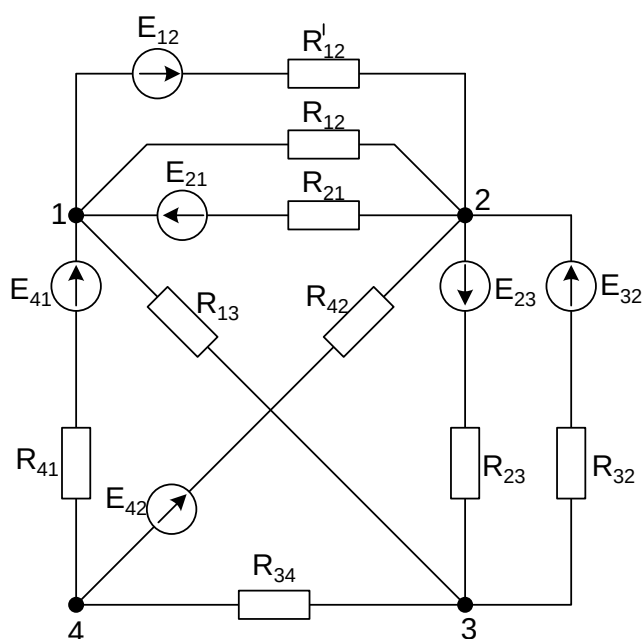


Рис. 3. Схема электрическая принципиальная к вариантам 21...30

Таблица 4

№ вари- анта	E_{12} , В	E_{21} , В	E_{23} , В	E_{32} , В	E_{41} , В	E_{42} , В	R_{12} , Ом	R'_{12} , Ом	R_{21} , Ом	R_{23} , Ом	R_{32} , Ом	R_{34} , Ом	R_{13} , Ом	R_{41} , Ом	R_{42} , Ом
21	8	8	15	5	12	20	4	2,5	10	0,5	2	1	5	6,25	10
22	6	12	12	6	24	24	8	0,5	0,4	0,4	0,5	4	10	12,5	8
23	5	15	5	15	12	12	5	12,5	25	10	20	2	0,5	2,5	4
24	12	12	6	6	5	15	2	4	4	8	12,5	20	50	0,4	1
25	24	12	24	6	15	15	80	25	12,5	40	20	25	40	0,2	0,1
26	100	50	100	100	100	50	250	40	50	25	50	200	250	2	5
27	250	100	100	50	250	100	500	400	200	125	250	500	200	10	5
28	250	250	100	100	250	50	50	400	200	50	100	20	50	4	2
29	12	24	5	15	100	100	8	4	8	25	50	10	20	25	10
30	24	12	5	15	250	250	100	125	125	5	10	250	50	2,5	2,5

Задача № 2.

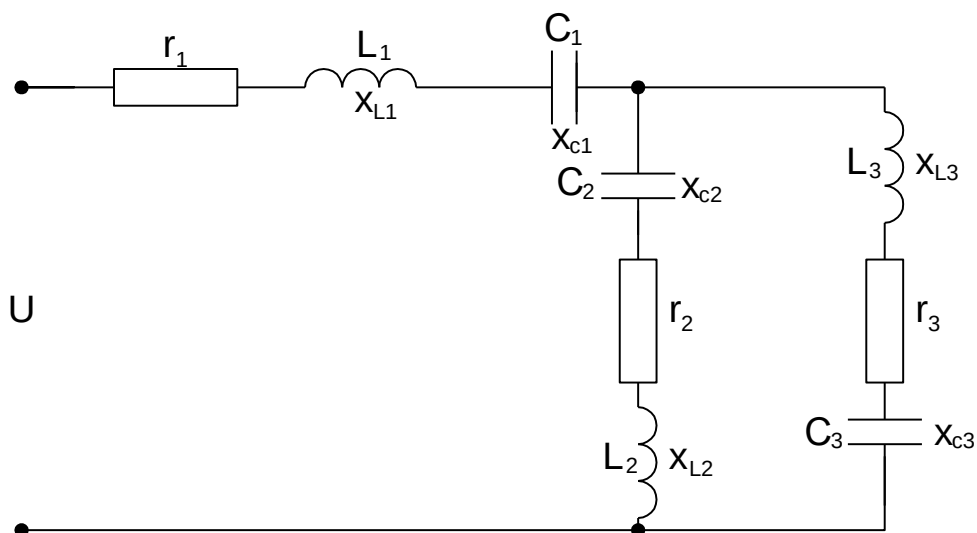


Рис. 4. Схема электрическая принципиальная к задаче №2

Во всех вариантах выполняется расчет схемы, представленной на Рис. 4. Значения параметров элементов схемы помещены в таблице 5. Для некоторых реактивных в таблице указаны сопротивления (под чертой), для других - индуктивности или емкости (над чертой).

Таблица 5.

№ ва- рианта	U, В	f, Гц	r ₁ , Ом	L ₁ , мГ	C ₁ ,мкФ	r ₂ , Ом	L ₂ , мГ	C ₂ ,мкФ	r ₃ , Ом	L ₃ , мГ	C ₃ ,мкФ
				X _{L1} ,Ом	X _{C1} ,Ом		X _{L2} ,Ом	X _{C2} ,Ом		X _{L3} ,Ом	X _{C3} ,Ом
1	250	50	30	30	106	20	31,8	50	40	127,3	10
2	127	50	20	40	79,6	40	30	79,6	60	140	63,7
3	220	50	30	30	30	260	159	30	40	63,7	50
4	220	50	10	20	159	100	80	10	20	99,5	40
5	127	50	50	40	40	45	318,4	67	50	127,3	106
6	127	50	50	63,7	25	30	127,4	10	50	25	106
7	220	50	40	50	50	10	63,7	50	55	250	159
8	380	50	20	20	318,3	100	80	50	30	36	318,5
9	380	50	20	10	40	50	10	10	50	79,6	159
10	380	50	30	25	50	30	40	79,6	50	63,7	10
11	220	50	30	40	80	68	110	30	40	95,5	53
12	220	50	40	30	60	80	62,5	79	30	63,7	60
13	127	50	30	31,8	50	50	100	159	40	40	70

№ ва- рианта	U, В	f, Гц	r ₁ , Ом	L ₁ , мГ x _{L1} , Ом	C ₁ , мкФ x _{C1} , Ом	r ₂ , Ом	L ₂ , мГ x _{L2} , Ом	C ₂ , мкФ x _{C2} , Ом	r ₃ , Ом	L ₃ , мГ x _{L3} , Ом	C ₃ , мкФ x _{C3} , Ом
14	380	50	30	10	50	50	318,5	50	33	100	63,7
15	127	50	50	100	53	20	127,3	40	20	44,7	50
16	127	50	40	95,5	53	30	40	40	40	10	159
17	127	50	40	10	40	45	53	40	65	207	88,5
18	220	50	30	31,8	63,7	40	25	30	30	63,7	60
19	380	50	40	31,8	20	25	30	40	80	80	45,5
20	380	50	30	10	63,7	30	40	63,7	30	95,5	70
21	220	60	30	106,1	33,2	68	30	110	40	30	60
22	220	60	40	79,6	44,2	30	40	40	45	65	60
23	127	60	40	106,1	63,7	30	10	106,1	50	100	70
24	380	60	30	26,5	53	50	40	20	30	10	50
25	127	60	40	20	60	20	106,1	40	50	10	53
26	127	60	40	26,5	66,3	30	20	60	30	20	58
27	127	60	40	30	44,2	30	106,1	63,7	40	10	40
28	220	60	30	79,6	30	40	26,5	88,4	30	20	60
29	380	60	40	53	50	40	79,6	25	40	40	37,9
30	380	60	30	26,5	50	30	40	30	30	30	37,9

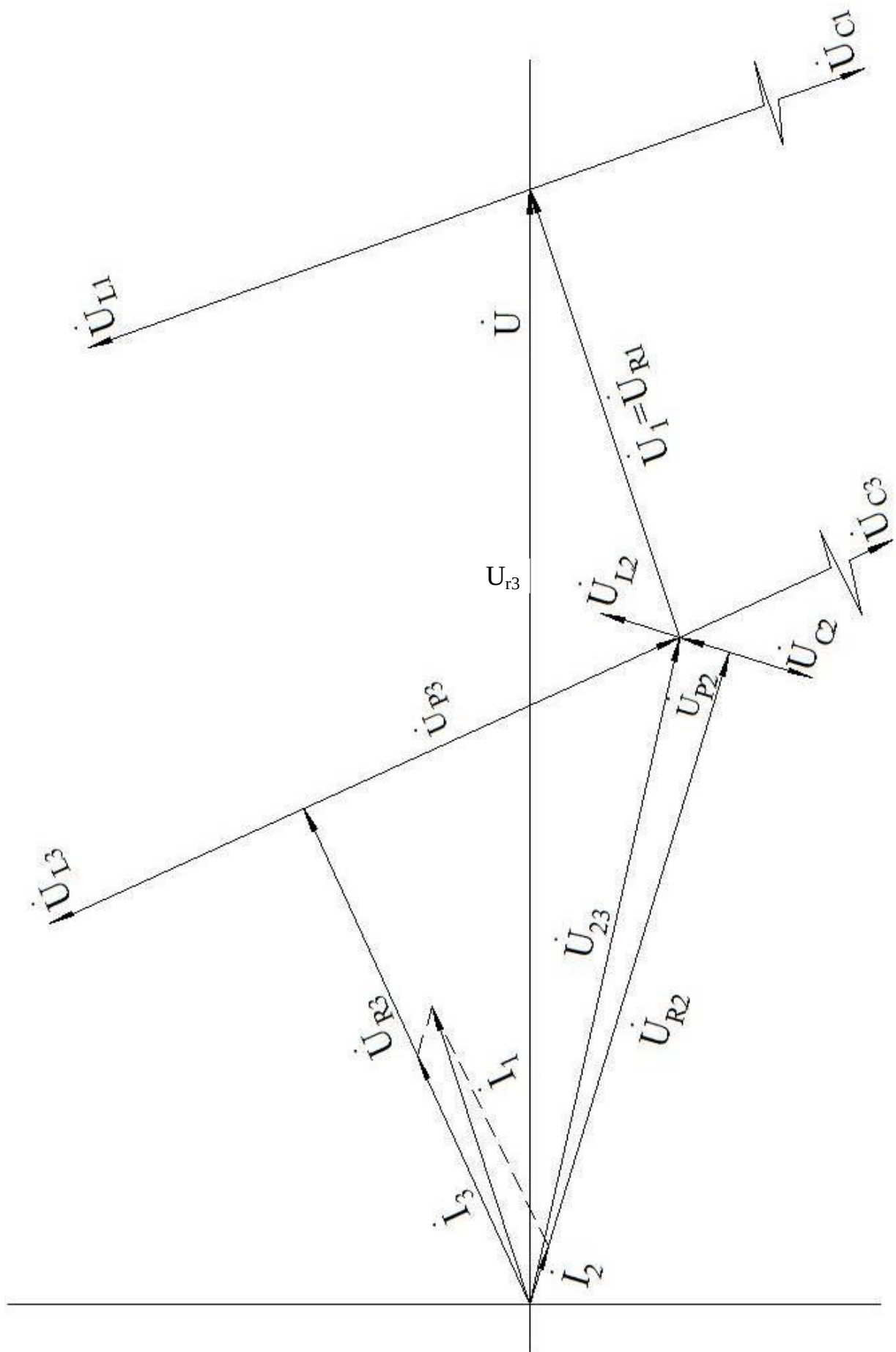


Рис. 5. Векторная диаграмма

Задача № 3

Для получения исходных данных необходимо:

1. Нарисовать скелет схемы (Рис. 6).
2. Выбрать строку данных об элементах схемы по Таблице 6, исходя из номера заданного варианта.
3. Выбрать строку данных о параметрах элементов по Таблице 7, исходя из данных Таблицы 6.
4. Заполнить скелет схемы соответствующими элементами по варианту
 - 4.1. В Таблице 6 указаны элементы, которые необходимо включить в соответствующие ветви: R, L или C.
 - 4.2. В ту ветвь, где стоит знак “+”, необходимо включить источник Э.Д.С. $E(t)$ последовательно с пассивным элементом. Направление источника студент может задать произвольно.
 - 4.3. Ветвь, обозначенная XX, находится в режиме холостого хода, то есть она оборвана. Рисовать эту ветвь в схеме не следует.
 - 4.4. Ветвь, обозначенная КЗ, находится в режиме короткого замыкания, то есть на ее месте будет закоротка, которую нужно стянуть в узел.
 - 4.5. Параметры всех включенных элементов даны в Таблице 7.

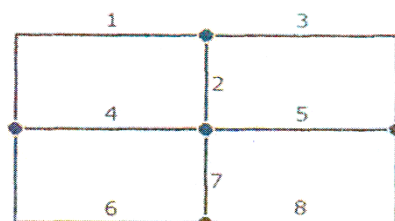


Рис. 6. Скелет схемы

Таблица 6

Элементы схемы

№ Варианта	Номера ветвей								№ Варианта Табл. 7
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	XX	+L ₁	C ₁	R ₁	L ₂	C ₂	R ₂	R ₃	1
2	XX	C ₁	+R ₁	L ₂	C ₂	R ₂	R ₃	L ₁	2
3	XX	R ₁	L ₂	+C ₂	R ₂	R ₃	L ₁	C ₁	3
4	XX	L ₂	C ₂	R ₂	+R ₃	L ₁	C ₁	R ₁	4
5	XX	C ₂	R ₂	R ₃	L ₁	+C ₁	R ₁	L ₂	5
6	XX	R ₂	R ₃	L ₁	C ₁	R ₁	+L ₂	C ₂	6
7	XX	R ₃	L ₁	C ₁	R ₁	L ₂	C ₂	+R ₂	7
8	+C ₁	КЗ	R ₁	L ₂	C ₂	R ₂	R ₃	L ₁	8
9	R	КЗ	+L ₂	C ₂	R ₂	R ₃	L ₁	C ₁	9
10	L ₂	КЗ	C ₂	+R ₂	R ₃	L ₁	C ₁	R ₁	10
11	C ₂	КЗ	R ₂	R ₃	+L ₁	C ₁	R ₁	L ₂	11

12	R ₂	K3	R ₃	L ₁	C ₁	+R ₁	L ₂	C ₂	12
13	R ₃	K3	L ₁	C ₁	R ₁	L ₂	+C ₂	R ₂	13
14	L ₁	K3	C ₁	R ₁	L ₂	C ₂	R ₂	+R ₃	14
15	+L ₁	L ₂	XX	C ₂	R ₂	R ₃	L ₁	C ₁	15
16	L ₂	+C ₂	XX	R ₂	R ₃	L ₁	C ₁	R ₁	16
17	C ₂	R ₂	XX	+R ₃	L ₁	C ₁	R ₁	L ₂	17
18	R ₂	R ₃	XX	L ₁	+C ₁	R ₁	L ₂	C ₂	18
19	R ₃	L ₁	XX	C ₁	R ₁	+L ₂	C ₂	R ₂	19
20	L ₁	C ₁	XX	R ₁	L ₂	C ₂	+R ₂	R ₃	20

Таблица 7

Параметры элементов

№ Варианта	E, В	f, Гц	Ψ, градусы	Параметры пассивных элементов						
				R ₁ Ом	R ₂ Ом	R ₃ Ом	L ₁ мГн	L ₂ мГн	C ₁ мкФ	C ₂ мкФ
1	30	100	-70	20	30	10	31,8	63,7	53,08	24,5
2	20	200	-30	50	40	20	39,8	31,85	39,61	12,25
3	40	300	45	28	33	15	10,6	13,27	8,85	10,62
4	12	400	35	46	35	30	25,881	14,73	11,38	6,13
5	50	500	120	20	45	12	6,36	20,7	4,9	15,92
6	40	600	30	36	58	24	6,63	15,29	4,42	10,62
7	60	700	50	45	25	16	8,41	4,79	3,5	6,5
8	30	800	160	30	40	22	3,98	12,94	3,06	9,95
9	25	900	20	26	30	30	11,5	8,85	10,61	5,06
10	20	1000	-150	65,4	50	40	7,17	10,35	2,45	3,98
11	35	100	-15	38	42	15	39,8	79,6	31,85	63,69
12	10	200	-120	27	48	14	15,9	47,75	13,27	39,81
13	45	300	45	37	45	12	13,27	31,83	8,85	21,23
14	70	400	90	32	57	10	11,95	25,88	6,13	13,27
15	55	500	-40	26	35	20	19,1	6,36	15,92	5,31
16	35	600	60	56	38	25	7,97	17,25	4,42	13,27
17	20	700	-30	40	30	30	13,64	8,41	9,1	3,5
18	40	800	20	25	45	15	12,94	3,98	9,95	3,06
19	30	900	-20	35	60	12	6,54	11,5	2,72	5,06
20	20	1000	50	55	25	20	9,55	7,96	3,18	2,65
21	40	100	120	47	48	14	47,8	95,5	26,54	53,08
22	10	200	-160	38	42	20	19,9	35,85	15,93	31,85
23	45	300	200	26	35	30	10,6	23,9	11,8	26,54
24	12	400	-60	34	36	25	7,95	17,93	8,85	13,91
25	50	500	-20	27	38	12	6,36	14,34	7,08	15,92
26	30	600	-270	45	50	14	5,3	11,95	5,9	13,27
27	55	700	-70	20	25	20	4,54	10,24	5,06	11,37

28	15	800	-135	38	24	30	3,98	8,86	4,42	9,96
29	100	60	0	100	150	175	1,57	12,75	20,31	15,29
30	220	50	0	150	220	330	19,12	11,90	10,00	20,00

Литература

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники, М., «Юрайт», 2013.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Сборник задач, М., «Юрайт», 2016.
3. Касаткин А.С., Немцов М.В. Общая электротехника. – М.: «Энергоиздат», 2002.

