

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

МОСКОВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ И ИНФОРМАТИКИ

Кафедра “Электротехника и робототехника”

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

по Электротехнике для решения задач по разделам
"Электрические цепи постоянного тока" и
"Электрические цепи однофазного синусоидального тока".

МОСКВА 2010

Аннотация

Данная работа предназначена для студентов дневного отделения всех специальностей, изучающих Электротехнику и Электронику. Она должна помочь студентам в выполнении контрольных работ по разделам "Электрические цепи постоянного тока" и "Электрические цепи однофазного синусоидального тока". Работа также может быть использована студентами вечерней и заочной форм обучения.

Авторы: к.т.н., доцент Белов Н.В.

к.т.н., доцент Страхов Ю.В.

Рецензент: д.т.н., профессор Шкатов П.Н.

Пособие рассмотрено на заседании кафедры ПР-4 «Электротехника и робототехника»
Московской Академии Приборостроения и Информатики от «__» _____ 2010г.

Заведующий кафедрой
д.т.н., профессор

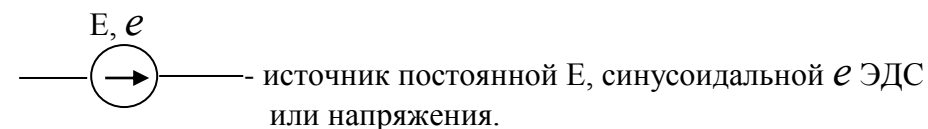
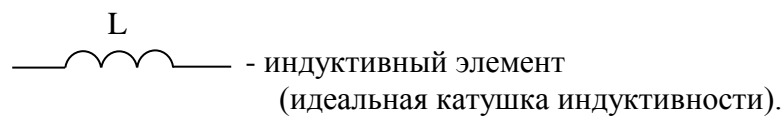
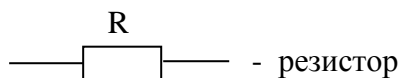
Шатерников В.Е.

I ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

1.1 Принятые буквенные обозначения основных электрических величин

u, e, i, p	- мгновенные значения напряжения, ЭДС, тока и мощности;
U, E, I	- постоянные или действующие значения напряжения, ЭДС и тока;
U_m, E_m, I_m	- амплитудные значения напряжения, ЭДС и тока;
P, Q, S	- активная, реактивная и полная мощности;
R, X, Z	- активное, реактивное и полное сопротивления;
G, B, Y	- активная, реактивная и полная проводимости;
$\dot{U}, \dot{E}, \dot{I}$	- комплексы действующих значений напряжения, э.д.с. и тока;
$\dot{U}_m, \dot{E}_m, \dot{I}_m$	- комплексы амплитудных значений напряжения, э.д.с. и тока;
jQ, \tilde{S}	- комплексы реактивной и полной мощности;
\dot{Z}, \dot{Y}	- комплексы полного сопротивления и проводимости;
Ψ_u, Ψ_i, φ	- начальные фазы напряжения и тока, разность фаз;
f, ω, T	- частота, угловая частота, период.

1.2 Условные графические обозначения в цепях постоянного и синусоидального токов.



1.3. Требования к выполнению и оформлению расчетно-графических работ.

Прежде чем приступить к выполнению расчетно-графической работы необходимо внимательно ознакомиться с соответствующими разделами теории. Работа должна показать не только умение решать предложенные задачи, но и умение оформить их согласно ГОСТ. Несоблюдение правил оформления расчетно-графических работ может стать причиной того, что представленная работа не будет зачтена, либо не будет даже принята к рецензированию.

Основные требования:

1) Каждая расчетно-графическая работа выполняется в отдельной тетради в клетку, на обложке которой должны быть написаны: наименование У КП и № группы, фамилия, имя и отчество студента, номер расчетно-графической работы, год издания использованных методических указаний.

2) На каждой странице должны быть оставлены поля шириной не менее 3 см для замечаний рецензента.

3) Текст, формулы и числовые выкладки должны быть написаны четко и аккуратно без помарок.

4) Электрические схемы должны быть вычерчены с помощью чертежных инструментов с соблюдением ГОСТ. Можно пользоваться теми изображениями элементов схем, которые применяются в помещенных ниже задачах. При выполнении работы следует руководствоваться материалами ГОСТ, которые устанавливают стандарт на буквенные обозначения основных электрических и магнитных величин. В скобках указываются допускаемые обозначения.

5) Графики должны быть вычерчены аккуратно, с помощью чертежных инструментов, желательно на миллиметровой бумаге. Оси абсцисс и ординат вычерчивают сплошными толстыми линиями. Стрелки на концах осей вычерчивать не следует. Масштабы шкал по осям следует выбирать равномерными, начиная с нуля, с использованием всей площади графика. Цифры шкал наносят слева от оси ординат и под осью абсцисс. Если на графике небольшое число кривых, то их вычерчивают разными линиями (сплошной, штриховой, штрих-пунктирной и т.п.). При большом числе кривые нумеруют. Для показа на графике расчетных точек рекомендуется применять по выбору следующие знаки: Δ , \square , \diamond , \circ . Буквенное обозначение наименования шкалы и единицу измерения величины пишут над числами шкалы оси ординат и под осью абсцисс, справа, вместо последнего числа шкалы. Надписи не должны выходить за пределы графика. Количество знаков цифр в числах должно быть минимальным, для чего целесообразно ввести у наименования шкалы постоянный множитель 10^n . Если шкалы на осях начинаются с нуля, то ноль на их пересечении ставится один раз. Во всех других случаях ставят оба значения.

6) Векторные диаграммы должны строиться в масштабе.

7) В конце контрольной работы надо поставить дату выполнения работы и подписаться.

8) Если контрольная работа не зачтена или зачтена при условии внесения исправлений, то все необходимые поправки необходимо делать в разделе "Работа над ошибками". Нельзя вносить какие-либо исправления в текст, расчеты и графики уже просмотренные преподавателем.

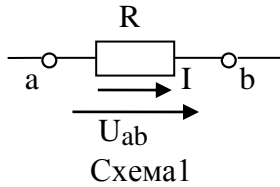
9) Студентам рекомендуется поэтапное выполнение контрольных заданий, т.е. выполнение решения первой задачи и сдача ее на проверку преподавателю, затем решение второй задачи и сдача на проверку всей расчетно-графической работы.

II РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА.

2.1. Краткие теоретические сведения, методы и примеры расчета.

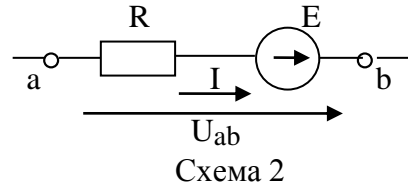
2.1.1. Основные законы и расчетные формулы.

Закон Ома (Схема 1 и 2).



Для пассивного участка цепи ab:

$$I = \frac{U_{ab}}{R}$$



Для активного участка цепи ab:

$$I = \frac{U_{ab} + E}{R},$$

где: R – сопротивление участка цепи; U_{ab} – напряжение на участке цепи; E – э.д.с.источника и ток I, протекающий через участок цепи.

Законы Кирхгофа (Схема 3).

Узел - это место соединения трёх и более проводников.

Ветвь - это часть цепи между двумя узлами.

Контур - это любой замкнутый путь электрического тока.

Рисунок 3 демонстрирует: **A,B,C,D**-узлы; **AB,CD,BC,DA**-ветви; **ABCD**A-контур.

I Закон Кирхгофа

Алгебраическая сумма токов в узле электрической цепи равна нулю

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0.$$

Правило составления уравнений по I закону Кирхгофа

Ток, который втекает в узел, имеет положительный знак, который вытекает, отрицательный.

Пример: узел C $I_2 - I_3 - I_7 - I_8 = 0$

II Закон Кирхгофа

В каком-либо контуре алгебраическая сумма электродвижущих сил, действующих в данном контуре, равна алгебраической сумме падений напряжения, в данном контуре:

$$\sum_{i=1}^n E_i = \sum_{i=1}^n I_i R_i$$

Правила составления уравнений по II закону Кирхгофа

Когда направление обхода контура совпадает с направлением тока в сопротивлении, падение напряжения имеет положительный знак **+IR**, в тоже время имеет отрицательный знак **-IR**, если направления не совпадают.

Когда направление обхода контура совпадает с направлением э.д.с., имеем положительный знак $+E$, однако имеем отрицательный знак $-IR$, если направления не совпадают.

Пример: контур **ABCD** $E_1 + E_2 + E_3 = -I_1R_1 + I_2R_2 + I_3R_3 - I_4R_4$

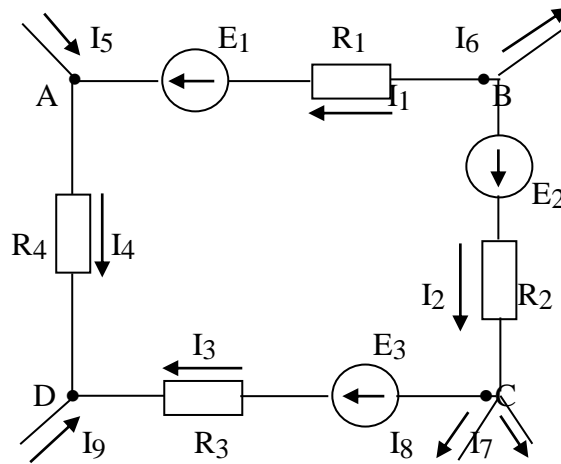


Схема 3

Уравнение баланса мощностей.

Баланс мощностей – заключается в том, что в любом замкнутом электрическом контуре мощность, выделяемая источниками э.д.с. $P_{И}$ равна мощности, преобразуемой в другие виды энергии потребителями $P_{П}$, т.е.

$$P_{П} = P_{И},$$

где: $P_{И} = \sum_{i=1}^k E_i I_i$ и $P_{П} = \sum_{i=1}^k I_i^2 R_i$.

При этом в генераторном режиме источника направления э.д.с. E_i и тока I_i совпадают по знаку, а в режиме потребителя они противоположны.

Пример: контур **ABCD**

$$E_1 I_1 + E_2 I_2 + E_3 I_3 = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4$$

Последовательное соединение резисторов (Схема 4).

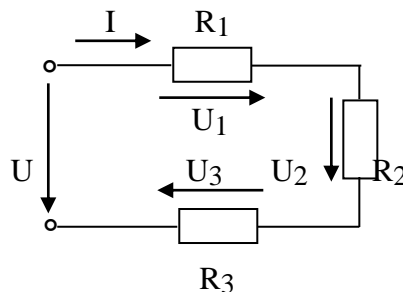


Схема 4

В этом случае единственный ток I протекает через все резисторы R_1, R_2, R_3 .

Согласно второму закону Кирхгофа имеем:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = I \cdot R_1 + I \cdot R_2 + I \cdot R_3,$$

откуда

$$U/I = R_1 + R_2 + R_3$$

и наконец

$$R_{\text{экв}} = R_1 + R_2 + R_3 \text{ (эквивалентное сопротивление).}$$

Для n последовательно включенных сопротивлений будет:

$$R_{\text{экв}} = \sum_{i=1}^n R_i.$$

Параллельное соединение резисторов (Схема 5).

Единственное напряжение U приложено ко всем сопротивлениям R_1, R_2, R_3 .

Согласно первому закону Кирхгофа имеем:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = U/R_1 + U/R_2 + U/R_3,$$

откуда

$$1/R_{\text{экв}} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3.$$

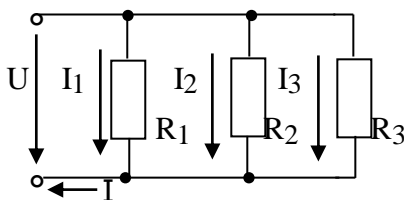


Схема 5

Введём понятие проводимости, величины обратной сопротивлению

$$G = 1/\text{Ом}.$$

Тогда для n включённых параллельно сопротивлений будет:

$$G_{\text{экв}} = \sum_{i=1}^n G_i.$$

Частный случай:

Если имеем только два включённых параллельно сопротивления R_1 и R_2 , то расчет эквивалентного сопротивления ведем исходя из

$$1/R_{\text{экв}} = 1/R_1 + 1/R_2,$$

откуда

$$R_{\text{экв}} = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2).$$

2.2. Методика решения задач.

2.2.1. ЗАДАЧА №1.

В изображенной схеме электрической цепи э.д.с. и сопротивления резисторов - известны. Определить токи в ветвях. (Задачу решить в общем виде).

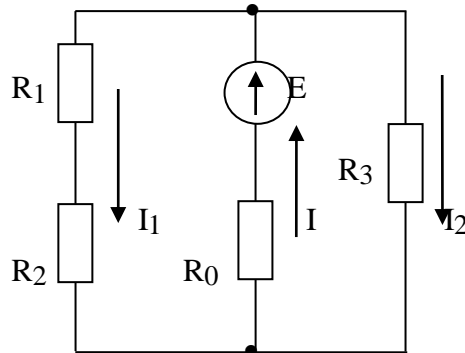


Схема электрической цепи

Решаем задачу методом эквивалентного сопротивления.

1) Расчет эквивалентного сопротивления.

Сопротивления R_1 и R_2 включены последовательно и по известной формуле находим их эквивалентное сопротивление

$$R_{12} = R_1 + R_2.$$

При параллельном включении пассивных ветвей их эквивалентное сопротивление находим как

$$R_{123} = \frac{R_{12} \cdot R_3}{R_{12} + R_3}.$$

И тогда эквивалентное сопротивление всей цепи будет

$$R_э = R_0 + R_{123}.$$

2) Расчет токов.

Ток в неразветвленной части цепи находим согласно закону Ома

$$I = \frac{E}{R_э}.$$

Для расчета токов в ветвях целесообразно найти напряжение на разветвлении

$$U = I \cdot R_{123}.$$

И наконец находим токи в пассивных ветвях:

$$I_1 = \frac{U}{R_{12}},$$

$$I_2 = \frac{U}{R_3}.$$

2.2.2. ЗАДАЧА №2.

В изображенной схеме электрической цепи известны:

$$E_1 = 72 \text{ В}, E_2 = 48 \text{ В}, R_1 = 3 \text{ Ом}, \quad R_2 = 4 \text{ Ом}, R_3 = 12 \text{ Ом}.$$

Определить: токи в ветвях, используя различные методы расчета.

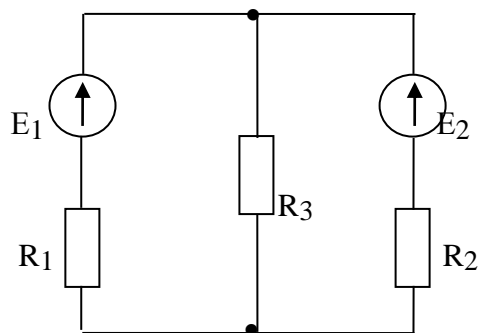


Схема электрической цепи

2.2.2.1. Метод непосредственного применения законов Кирхгофа.

Примем направление токов в ветвях такими, как указано на схеме А.

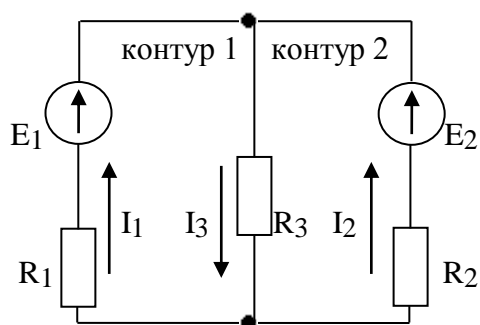


Схема А

Число ветвей $m = 3$; число узлов $n = 2$.

Число уравнений по I-му закону Кирхгофа $n-1 = 2-1 = 1$.

Число уравнений по 2-му закону Кирхгофа $m-(n-1) = 3-(2-1) = 2$.

$$\text{Для одного из узлов: } I_1 + I_2 - I_3 = 0.$$

$$\text{Для 1-го контура} \quad : I_1 \cdot R_1 + I_3 \cdot R_3 = E_1.$$

$$\text{Для 2 го контура} \quad : -I_2 \cdot R_2 - I_3 \cdot R_3 = -E_2.$$

Перепишем эту систему так:

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad (1),$$

$$I_1 \cdot 3 + I_3 \cdot 12 = 72 \quad (2),$$

$$I_2 \cdot 4 + I_3 \cdot 12 = 48 \quad (3).$$

Уравнения 1-3 решаем методом подстановки:

из (2) получим

$$I_1 = \frac{72 - 12 \cdot I_3}{3} = 24 - 4 \cdot I_3,$$

а из (3)
$$I_2 = \frac{48 - 12 \cdot I_3}{4} = 12 - 3 \cdot I_3.$$

Подставляя полученные формулы в (1), имеем:

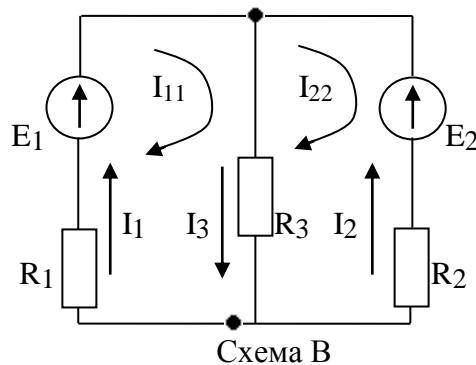
$$24 - 4 \cdot I_3 + 12 - 3 \cdot I_3 - I_3 = 0, \quad I_3 = \frac{36}{8} = 4.5 \text{ А},$$

$$I_1 = 24 - 4 \cdot 4.5 = 6 \text{ А}, \quad I_2 = 12 - 3 \cdot 4.5 = -1.5 \text{ А}.$$

Знак минус указывает на то, что действительное направление тока противоположно выбранному.

2.2.2.2. Метод контурных токов.

Примем направление контурных токов такими, как указано на схеме В.



Используя II закон Кирхгофа, получаем уравнения для двух контуров в общем виде:

$$R_{11} \cdot I_{11} - R_{12} \cdot I_{22} = E_{11},$$

$$-R_{21} \cdot I_{11} + R_{22} \cdot I_{22} = E_{22}.$$

При этом

$$R_{11} = R_1 + R_3 = 3 + 12 = 15 \text{ Ом}, \quad E_{11} = E_1 = 72 \text{ В},$$

$$R_{22} = R_2 + R_3 = 4 + 12 = 16 \text{ Ом}, \quad E_{22} = -E_2 = -48 \text{ В},$$

$$R_{12} = R_{21} = R_3 = 12 \text{ Ом}.$$

Подставляя значения R и E в исходные уравнения, получаем:

$$15 \cdot I_{11} - 12 \cdot I_{22} = 72$$

$$-12 \cdot I_{11} + 16 \cdot I_{22} = -48$$

Эти уравнения могут быть решены методом подстановки, однако, рассмотрим более общий алгоритм решения системы линейных уравнений.

Найдем определитель системы и его алгебраические дополнения:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 15 & -12 \\ -12 & 16 \end{vmatrix} = 15 \cdot 16 - 12 \cdot 12 = 96 \text{ Ом}^2$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 72 & -12 \\ -48 & 16 \end{vmatrix} = 72 \cdot 16 - 48 \cdot 12 = 576 \text{ Ом В}$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 15 & 72 \\ -12 & -48 \end{vmatrix} = 15 \cdot (-48) + 12 \cdot 72 = 144 \text{ Ом В}$$

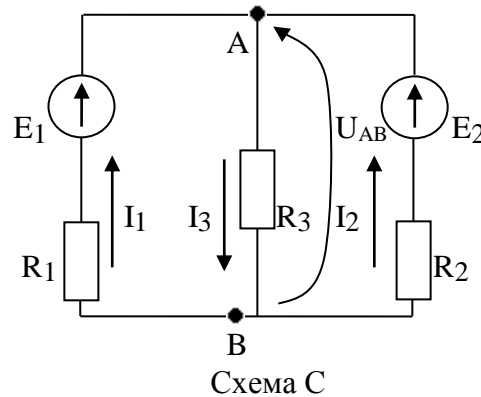
Контурные токи в этом случае будут:

$$I_{11} = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{576}{96} = 6 \text{ А}, \quad I_{22} = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{144}{96} = 1.5 \text{ А}.$$

А искомые токи в ветвях соответственно:

$$I_1 = I_{11} = 6 \text{ А}, \quad I_2 = -I_{22} = -1.5 \text{ А}, \quad I_3 = I_{11} - I_{22} = 6 - 1.5 = 4.5 \text{ А}.$$

2.2.2.3. Метод узлового напряжения.



Примем направление токов в ветвях такими, как указано на схеме С. Напряжение между узлами А и В определяется по формуле:

$$U_{AB} = \frac{E_1 \cdot G_1 + E_2 \cdot G_2}{G_1 + G_2 + G_3},$$

где: $G_1 = \frac{1}{R_1} = \frac{1}{3} \text{ См}, \quad G_2 = \frac{1}{R_2} = \frac{1}{4} \text{ См}, \quad G_3 = \frac{1}{R_3} = \frac{1}{12} \text{ См}.$

Подставляя числа в исходное уравнение, получаем:

$$U_{AB} = \frac{\frac{72}{3} + \frac{48}{4}}{\frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{12}} = \frac{(24 + 12) \cdot 12}{8} = 54 \text{ В}$$

Искомые токи в ветвях:

$$I_1 = (E_1 - U_{AB}) \cdot G_1 = (72 - 54) \cdot \frac{1}{3} = 6 \text{ А},$$

$$I_2 = (E_2 - U_{AB}) \cdot G_2 = (48 - 54) \cdot \frac{1}{4} = -1.5 \text{ А},$$

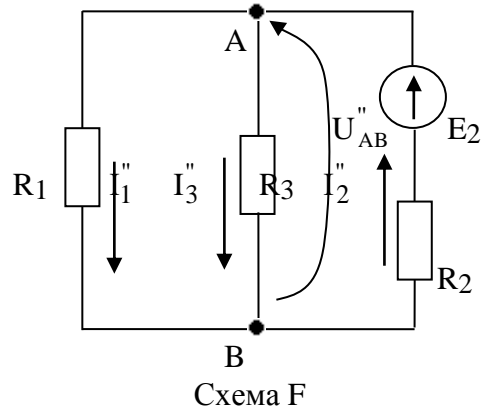
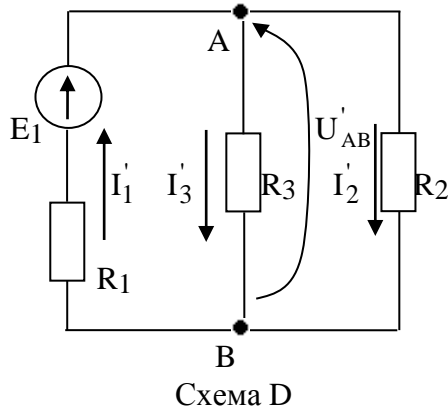
(действительное направление тока I_2 противоположно выбранному)

$$I_3 = -U_{AB} \cdot G_3 = -54 \cdot \frac{1}{12} = -4.5 \text{ А}$$

(ток противоположен по направлению напряжению U_{AB}).

2.2.2.4. Метод наложения.

Вспомогательные схемы D и F при $E_2 = 0$ и при $E_1 = 0$ предназначены для расчета частичных токов.



Рассчитаем частичные токи во вспомогательных схемах методом эквивалентного сопротивления.

Для схемы D получаем:

$$I_1' = \frac{E_1}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}} = \frac{72}{3 + \frac{4 \cdot 12}{4 + 12}} = 12 \text{ A},$$

$$U_{AB}' = I_1' \cdot R_{23} = 12 \cdot \frac{4 \cdot 12}{4 + 12} = 36 \text{ В},$$

$$I_2' = \frac{U_{AB}'}{R_2} = \frac{36}{4} = 9 \text{ A},$$

$$I_3' = \frac{U_{AB}'}{R_3} = \frac{36}{12} = 3 \text{ A}.$$

Для схемы F получаем:

$$I_2'' = \frac{E_2}{R_2 + \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3}} = \frac{48}{4 + \frac{3 \cdot 12}{3 + 12}} = 7.5 \text{ A},$$

$$U_{AB}'' = I_2'' \cdot R_{13} = 7.5 \cdot \frac{3 \cdot 12}{3 + 12} = 18 \text{ В},$$

$$I_1'' = \frac{U_{AB}''}{R_1} = \frac{18}{3} = 6 \text{ A},$$

$$I_3'' = \frac{U_{AB}''}{R_3} = \frac{18}{12} = 1.5 \text{ A}.$$

И наконец, найдем искомые токи в исходной схеме:

$$I_1 = I_1' - I_1'' = 12 - 6 = 6 \text{ A},$$

$$I_2 = -I_2' + I_2'' = -9 + 7.5 = -1.5 \text{ A}$$

(знак минус указывает на то, что действительное направление тока I_2 не совпадает с направлением тока I_2' , показанным на схеме),

$$I_3 = I_3' + I_3'' = 3 + 1.5 = 4.5 \text{ A}.$$

2.3. Задания по контрольно-графической работе №1 «Электрические цепи постоянного тока».

В электрической цепи постоянного тока, схема, метод анализа и параметры элементов которой заданы для каждого варианта в таблице, определить:

- 1) токи в ветвях (их значения и фактическое положительное направление);
- 2) показания вольтметра и ваттметра;
- 3) режимы работы источников ЭДС. Составить баланс мощностей.

№ вар.	№ схем.	Полож. выкл.	Метод анализа	Параметры элементов электрической схемы											
				E ₁ В	E ₂ В	E ₃ В	R ₀₁ Ом	R ₀₂ Ом	R ₀₃ Ом	R ₁ Ом	R ₂ Ом	R ₃ Ом	R ₄ Ом	R ₅ Ом	R ₆ Ом
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
00	1.1	Разом	Зак.Кир.	80	24	30	0,1	0,2	0,2	1,9	2,8	3,8	6	8	-
01	1.1	Замкн	Конт.ток	36	24	28	0,1	0,2	0,1	1,9	3,8	2,9	3	5	10
02	1.1	Замкн	Налож.	30	60	24	0,2	0,1	0,1	2,8	3,9	4,9	4	2	5
03	1.1	Разом	Узл.нап.	50	40	30	0,1	0,1	0,2	2,9	1,9	3,8	5	3	-
04	1.2	Разом	Зак.Кир.	36	24	-	0,2	0,1	-	2,8	3,9	-	3	4	5
05	1.2	Замкн	Конт.ток	40	36	24	0,1	0,1	0,2	2,9	4,9	3,8	1	2	3
06	1.2	Замкн	Зак.Кир.	50	40	36	0,1	0,2	0,1	0,9	1,8	4,9	2	4	5
07	1.2	Разом	Налож.	36	24	-	0,1	0,2	-	1,9	3,8	-	5	4	3
08	1.3	Разом	Зак.Кир.	36	40	-	0,1	0,2	-	2,9	3,8	-	6	7	4
09	1.3	Замкн	Конт.ток	36	50	24	0,1	0,2	0,1	3,9	1,8	5,9	3	2	1
10	1.3	Замкн	Налож.	50	36	30	0,1	0,2	0,3	2,9	2,8	3,7	4	5	6
11	1.3	Разом	Узл.нап.	36	24	-	0,2	0,1	-	3,8	2,9	-	2	3	1
12	1.4	разом	Зак.Кир.	-	40	24	-	0,2	0,1	-	3,8	3,9	5	2	3
13	1.4	замкн	Конт.ток	50	36	40	0,2	0,1	0,2	2,8	3,9	4,8	6	1	3
14	1.4	замкн	Налож.	60	30	20	0,1	0,1	0,1	3,9	4,9	2,9	5	4	1
15	1.4	разом	Узл.нап.	-	36	50	-	0,2	0,1	-	3,8	4,9	4	3	2
16	1.5	разом	Зак.Кир.	36	24	-	0,1	0,2	-	1,9	2,3	-	3	5	1,5
17	1.5	замкн	Конт.ток	50	24	20	0,1	0,2	0,3	4,9	3,8	2,7	6	7	3
18	1.5	замкн	Налож.	60	28	42	0,1	0,2	0,2	3,9	4,8	2,8	5	6	2
19	1.5	разом	Узл.нап.	30	48	-	0,1	0,1	-	4,9	3,9	-	4	5	3
20	1.6	замкн	Конт.ток	30	50	20	0,2	0,1	0,1	2,8	3,9	1,9	5	4	2
21	1.6	разом	Зак.Кир.	40	24	50	0,2	0,1	0,1	3,8	3,9	4,9	4	-	-
22	1.6	замкн	Налож.	50	36	48	0,1	0,2	0,3	3,9	2,8	3,7	7	5	2
23	1.6	разом	Узл.нап.	60	42	36	0,2	0,1	0,2	2,8	4,9	4,8	8	-	-
24	1.7	разом	Зак.Кир.	-	48	24	-	0,2	0,1	-	3,8	2,9	4	7	4
25	1.7	замкн	Конт.ток	52	38	22	0,3	0,1	0,2	2,7	4,9	3,8	3	8	5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
26	1.7	замкн	Налож.	60	42	38	0,2	0,3	0,1	4,8	3,7	1,9	5	6	7
27	1.7	разом	Узл.нап.	-	42	36	-	0,1	0,1	-	2,9	4,9	3	8	9
28	1.8	разом	Зак.Кир.	50	38	22	0,1	0,1	0,1	3,9	3,4	2,9	5	4,5	-
29	1.8	замкн	Конт.ток	60	40	30	0,1	0,2	0,2	4,9	3,8	3,8	2	5	3
30	1.8	замкн	Налож.	60	40	50	0,1	0,2	0,1	3,9	3,8	2,9	3	7	4
31	1.8	разом	Узл.нап.	50	30	36	0,2	0,1	0,2	3,8	4,9	2,9	4	3	-
32	1.9	разом	Зак.Кир.	40	-	28	0,1	-	0,1	3,9	-	3,9	5	6	3
33	1.9	замкн	Конт.ток	40	50	30	0,1	0,2	0,2	3,9	3,8	2,9	4	5	4
34	1.9	разом	Узл.нап.	40	-	24	0,1	-	0,2	2,9	-	4,8	3	4	5
35	1.9	разом	Налож.	50	-	36	0,1	-	0,2	3,9	-	2,8	7	5	6
36	1.10	разом	Зак.Кир.	70	50	40	0,2	0,1	0,3	3,8	4,9	4,3	3,4	-	-
37	1.10	замкн	Конт.ток	50	36	24	0,1	0,1	0,3	2,9	3,9	5,3	4,4	5	6
38	1.10	замкн	Налож.	40	25	50	0,1	0,2	0,3	3,9	4,8	3,7	4	8	4
39	1.10	разом	Узл.нап.	60	50	30	0,1	0,3	0,2	4,9	3,7	2,8	5	-	-
40	1.11	разом	Зак.Кир.	30	45	26	0,1	0,2	0,1	3,4	3,8	3,5	4,5	-	4,4
41	1.11	замкн	Конт.ток	70	40	36	0,2	0,1	0,3	2,5	3,9	3,4	3,3	4,3	5
42	1.11	разом	Узл.нап.	50	36	40	0,2	0,2	0,2	2,5	3,8	4,8	5,3	-	4,6
43	1.11	разом	Налож.	40	50	24	0,1	0,2	0,1	4,9	4,8	2,9	5	-	8
44	1.12	разом	Зак.Кир.	40	25	-	0,1	0,1	-	2,9	3,9	-	4	5	8
45	1.12	замкн	Конт.ток	60	70	36	0,1	0,2	0,3	4,9	4,8	3,7	5	8	7
46	1.12	разом	Узл.нап.	50	24	-	0,1	0,2	-	5,9	3,8	-	3	2	6
47	1.12	разом	Налож.	60	40	-	0,2	0,1	-	3,8	4,9	-	4	8	7
48	1.13	разом	Зак.Кир.	50	-	42	0,1	-	0,2	4,9	-	4,5	3,3	5	5
49	1.13	замкн	Конт.ток	60	36	24	0,1	0,2	0,1	4,9	5,8	3,9	6	10	2
50	1.13	замкн	Налож.	70	50	36	0,1	0,2	0,3	3,9	6,8	3,7	8	9	1
51	1.13	разом	Узл.нап.	36	-	56	0,1	-	0,2	4,9	-	3,6	2,8	9	5
52	1.14	разом	Зак.Кир.	40	50	60	0,1	0,3	0,2	4,4	4,7	4,6	5,2	7,6	-
53	1.14	замкн	Конт.ток	70	36	24	0,1	0,2	0,1	4,9	5,8	3,9	2	4	6
54	1.14	замкн	Налож.	70	50	60	0,2	0,3	0,1	4,8	4,7	4,4	5,5	4	6
55	1.14	разом	Узл.нап.	60	24	50	0,1	0,1	0,1	4,7	4,9	4,3	5,6	5,2	-
56	1.15	разом	Зак.Кир.	50	36	70	0,1	0,1	0,2	4,9	3,9	3,8	6	5	-
57	1.15	замкн	Конт.ток	50	60	36	0,1	0,2	0,3	3,9	5,8	5,7	4	3	2
58	1.15	разом	Налож.	70	36	24	0,2	0,1	0,1	4,8	7,9	6,9	5	8	-
59	1.15	разом	Узл.нап.	40	70	36	0,1	0,2	0,3	4,9	7,8	6,7	4	8	-
60	1.16	разом	Зак.Кир.	36	20	50	0,1	0,2	0,1	3,9	4,8	5,9	7	-	4
61	1.16	замкн	Конт.ток	70	24	40	0,2	0,3	0,1	4,8	4,4	4,9	5,3	8	4
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
62	1.16	разом	Налож.	50	30	24	0,2	0,1	0,1	3,8	3,9	5,9	4	-	6
63	1.16	разом	Узл.нап.	60	50	30	0,1	0,3	0,2	4,9	5,7	4,8	4	-	8
64	1.17	разом	Зак.Кир.	70	36	50	0,1	0,2	0,1	3,9	4,8	5,9	-	6	8
65	1.17	замкн	Конт.ток	60	50	40	0,2	0,1	0,1	4,8	2,9	3,9	4	4	12
66	1.17	разом	Узл.нап.	36	24	50	0,1	0,1	0,1	7,9	6,9	5,9	-	3	9
67	1.17	разом	Налож.	60	40	24	0,1	0,2	0,1	4,9	5,8	7,9	-	4	10
68	1.18	разом	Зак.Кир.	-	60	40	-	0,2	0,3	-	5,8	7,7	3	8	4
69	1.18	замкн	Конт.ток	36	40	60	0,1	0,1	0,1	5,9	6,9	6,8	3	5	6
70	1.18	разом	Узл.нап.	-	70	24	-	0,2	0,1	-	4,8	5,9	8	2	4
71	1.18	разом	Налож.	-	70	36	-	0,1	0,2	-	5,9	6,8	7	5	4
72	1.19	разом	Зак.Кир.	60	40	36	0,1	0,2	0,2	4,9	5,8	5,6	4,2	-	6
73	1.19	замкн	Конт.ток	70	30	24	0,1	0,2	0,1	5,9	6,8	7,9	8	2	4
74	1.19	замкн	Налож.	36	40	60	0,1	0,3	0,2	6,9	4,7	5,2	5,5	8	6
75	1.19	разом	Узл.нап.	70	40	24	0,1	0,2	0,2	3,9	4,8	5,8	6	-	5
76	1.20	разом	Зак.Кир.	50	24	40	0,2	0,1	0,2	4,8	5,9	6,8	3	3	-
77	1.20	замкн	Конт.ток	60	36	70	0,1	0,2	0,3	5,9	6,8	6,4	7,3	4	6
78	1.20	замкн	Налож.	40	60	36	0,1	0,1	0,2	4,9	7,9	4,6	5,2	8	3
79	1.20	разом	Узл.нап.	36	50	70	0,1	0,1	0,1	6,9	8,9	7,7	6,2	12	-
80	1.21	разом	Зак.Кир.	-	40	24	-	0,2	0,1	-	4,8	5,9	7	3	6
81	1.21	замкн	Конт.ток	70	50	40	0,1	0,2	0,1	4,9	5,8	7,9	3	9	2
82	1.21	замкн	Налож.	60	36	48	0,2	0,1	0,3	3,8	4,9	4,7	8	1	3
83	1.21	разом	Узл.нап.	-	48	24	-	0,1	0,2	-	5,9	6,8	10	1	1
84	1.22	разом	Зак.Кир.	50	36	24	0,1	0,1	0,3	4,8	3,9	5,4	5,1	6,3	-
85	1.22	замкн	Конт.ток	70	48	24	0,1	0,2	0,1	3,8	4,8	5,9	6,1	7	8
86	1.22	замкн	Налож.	50	60	40	0,1	0,2	0,1	5,9	6,8	7,9	2	4	3
87	1.22	разом	Узл.нап.	70	24	50	0,2	0,1	0,2	4,8	6,9	4,8	3	5	-
88	1.23	разом	Зак.Кир.	80	36	-	0,1	0,2	-	3,7	4,8	-	4,2	5	5
89	1.23	замкн	Конт.ток	36	50	40	0,1	0,2	0,3	4,7	4,8	5,7	5,2	6	6
90	1.23	замкн	Налож.	70	36	24	0,1	0,1	0,2	4,6	5,9	4,8	5,3	8	2
91	1.23	разом	Узл.нап.	40	24	-	0,1	0,2	-	5,4	6,8	-	4,5	11	1
92	1.24	разом	Зак.Кир.	50	60	40	0,1	0,2	0,1	5,9	6,8	4,2	5,7	9	-
93	1.24	замкн	Конт.ток	70	24	40	0,1	0,2	0,2	4,9	8,8	4,3	3,6	8	9
94	1.24	разом	Узл.нап.	50	60	30	0,2	0,1	0,1	3,8	5,9	5,6	4,3	6	-
95	1.24	замкн	Налож.	36	44	24	0,1	0,2	0,3	6,9	6,8	4,7	5	1	7
96	1.25	разом	Зак.Кир.	-	48	24	-	0,1	0,3	-	4,9	4,4	5,3	8	10
97	1.25	замкн	Конт.ток	60	30	40	0,1	0,2	0,2	4,9	4,8	4,3	6,5	7	9
98	1.25	замкн	Налож.	80	50	30	0,1	0,3	0,1	5,9	4,7	5,5	7,4	9	3

99	1.25	разом	Узл.нап.	-	80	60	-	0,2	0,1	-	5,8	4,2	7,7	8	6
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

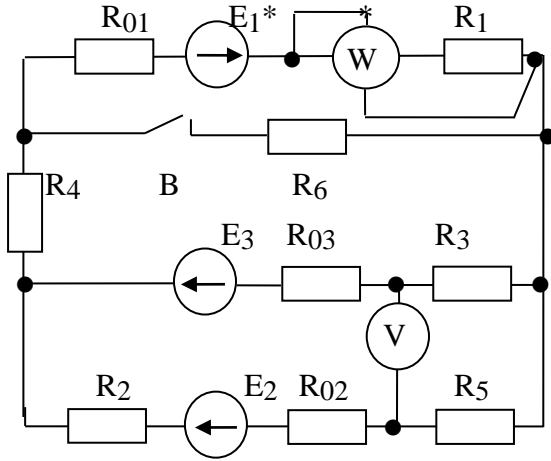


Рис.1.1

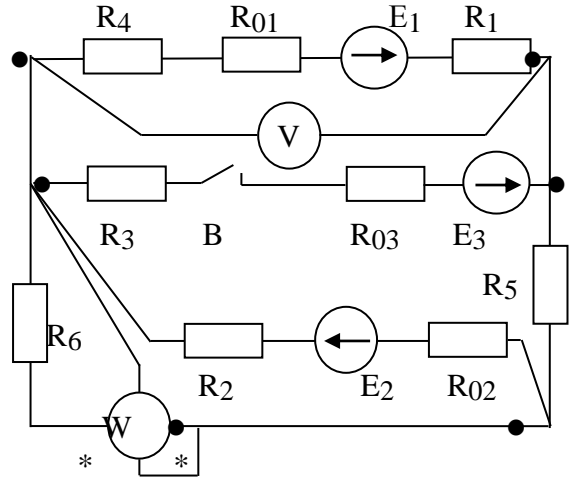


Рис.1.2

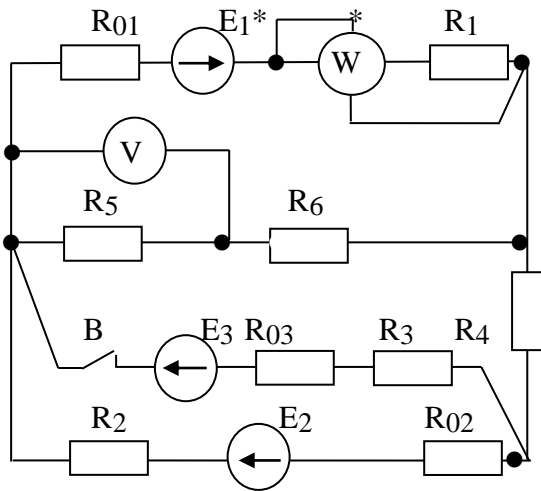


Рис.1.3

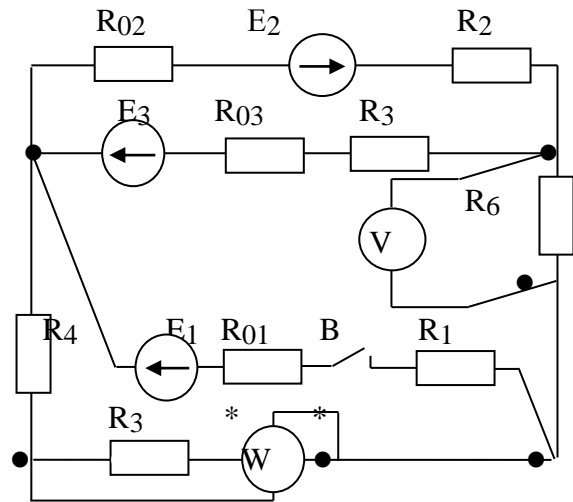


Рис.1.4

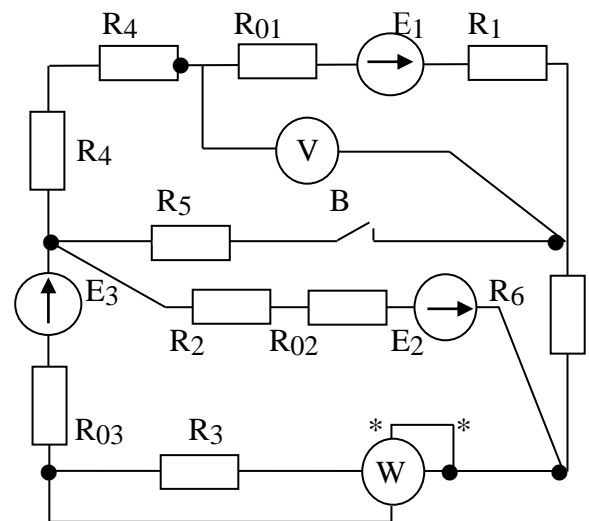
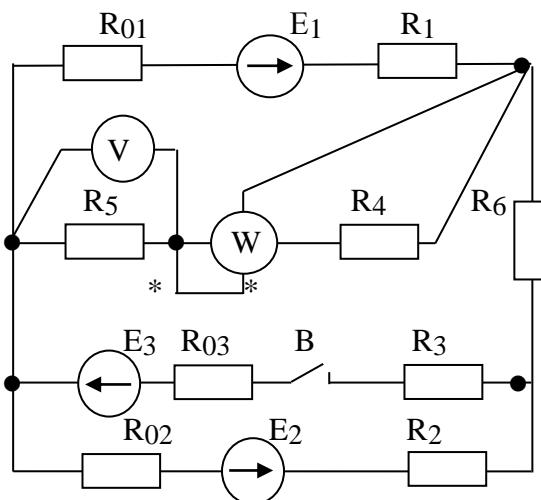


Рис.1.5

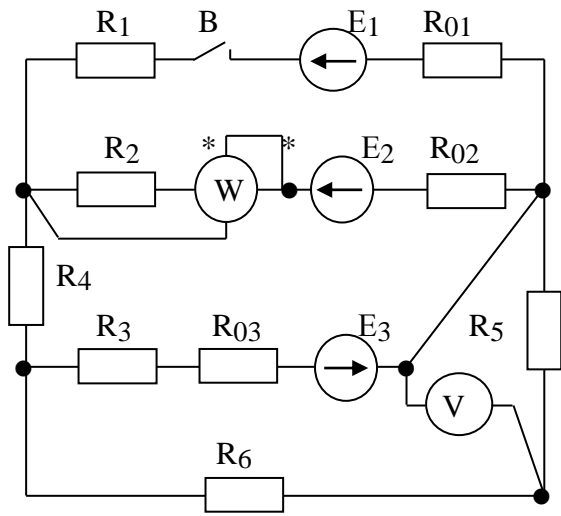


Рис.1.7

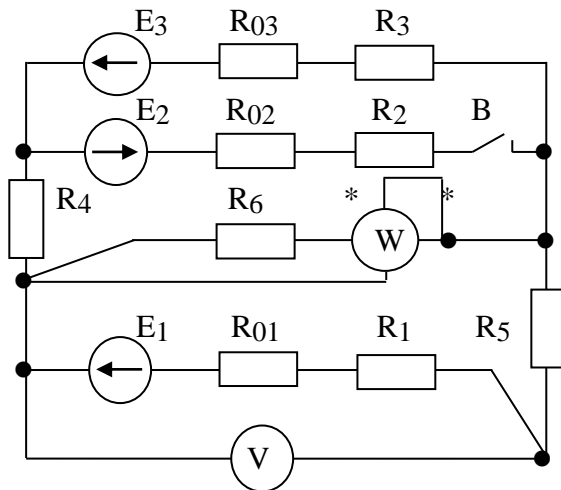


Рис1.9

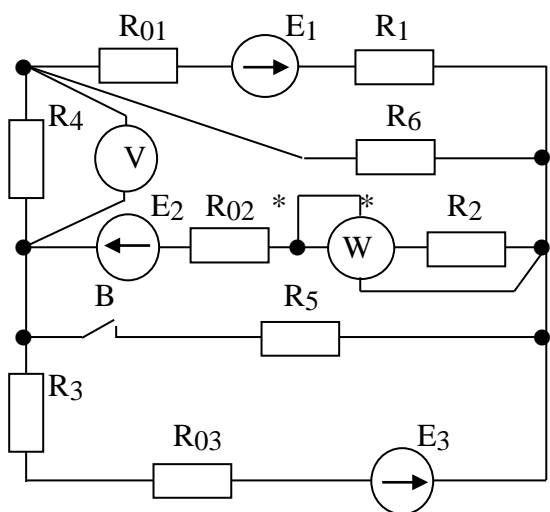


Рис.1.6

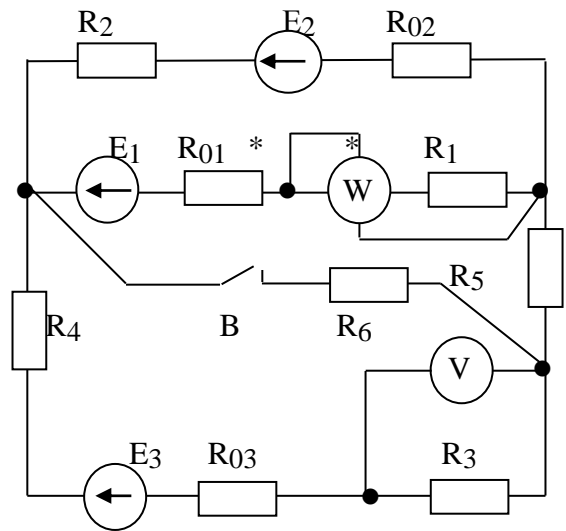


Рис.1.8

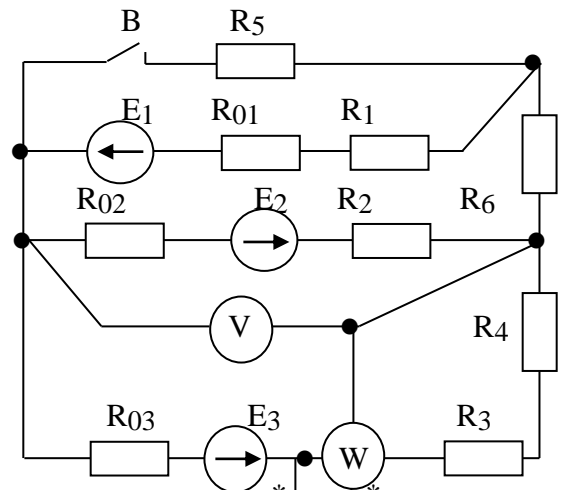


Рис.1.10

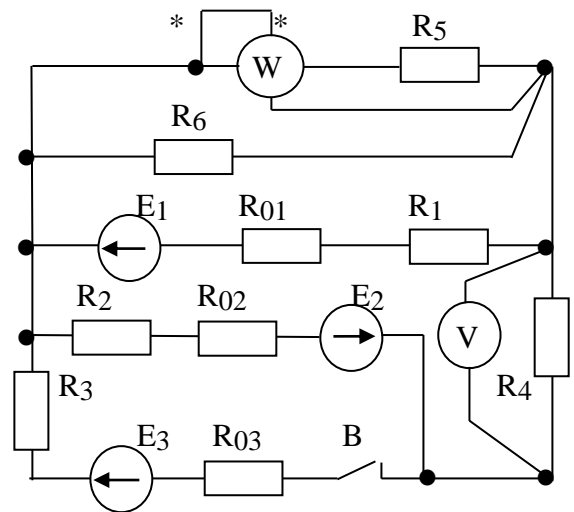


Рис.1.11

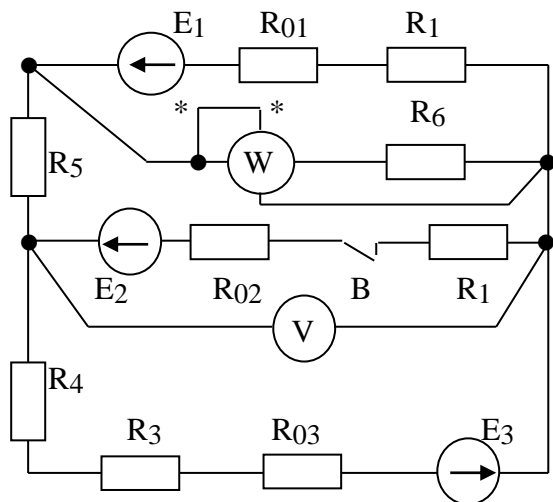


Рис.1.13

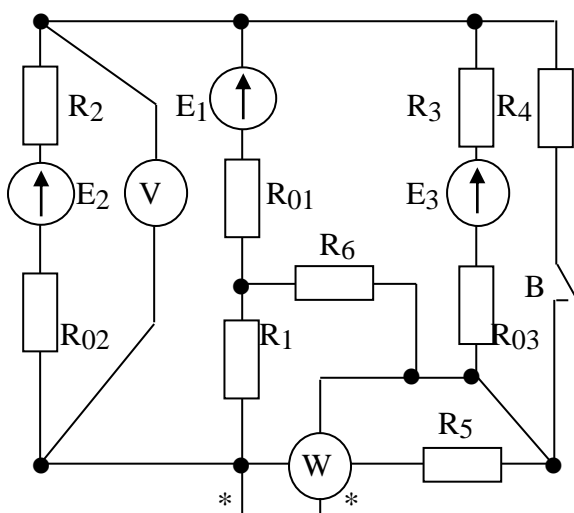


Рис.1.15

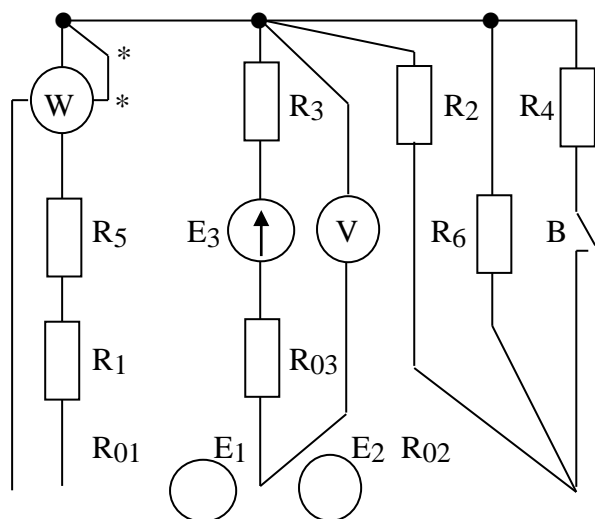


Рис.1.12

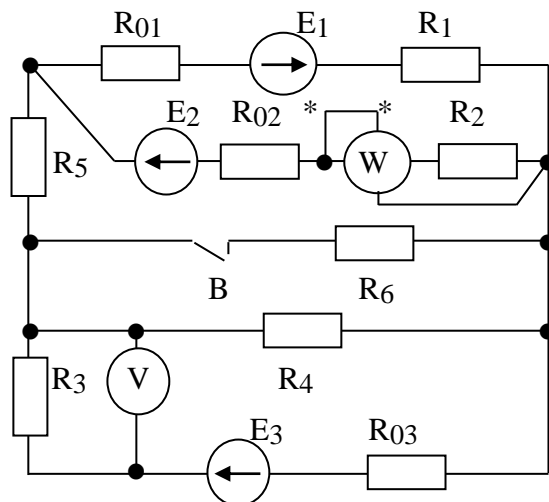


Рис.1.14

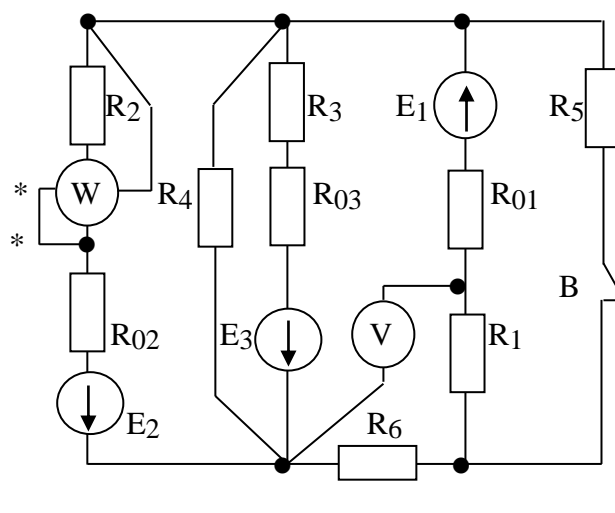


Рис.1.16



Рис.1.17

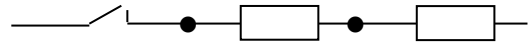


Рис.1.18

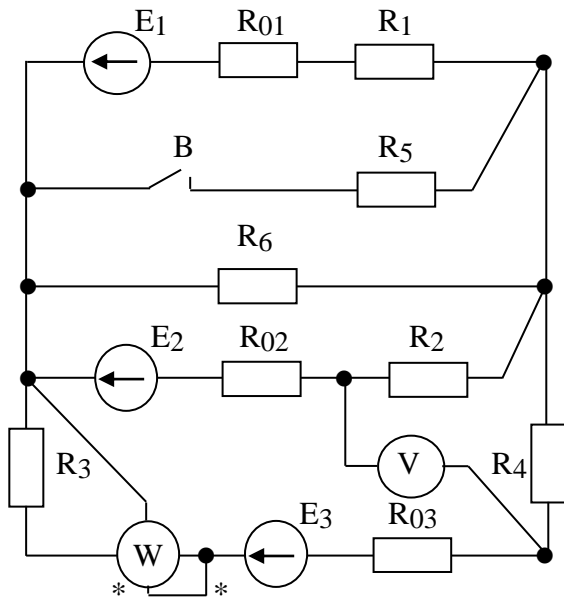


Рис.1.19

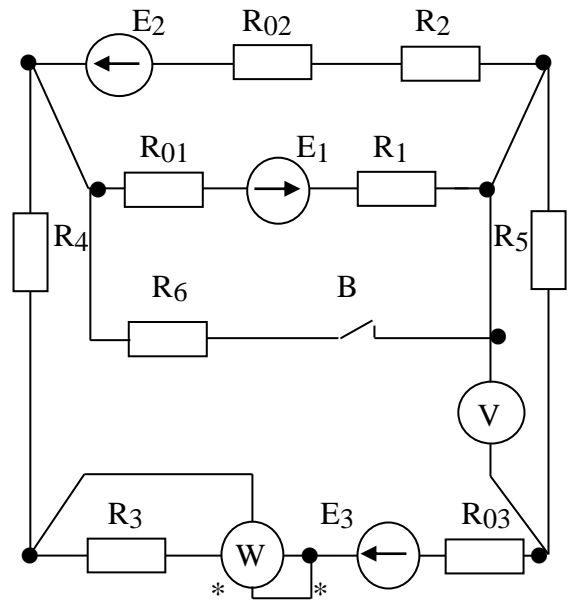


Рис.1.20

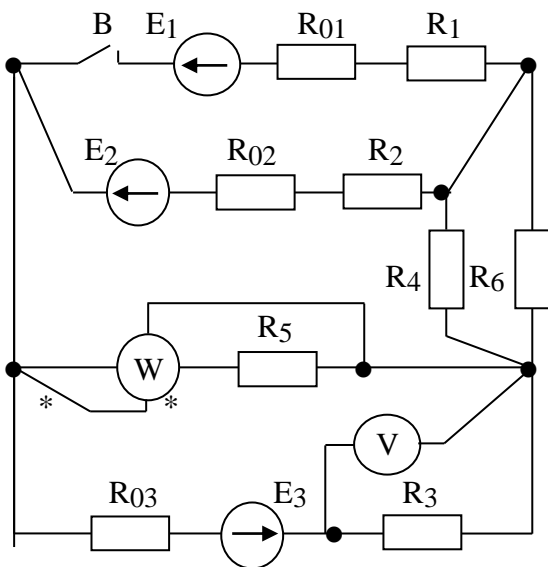


Рис.1.21

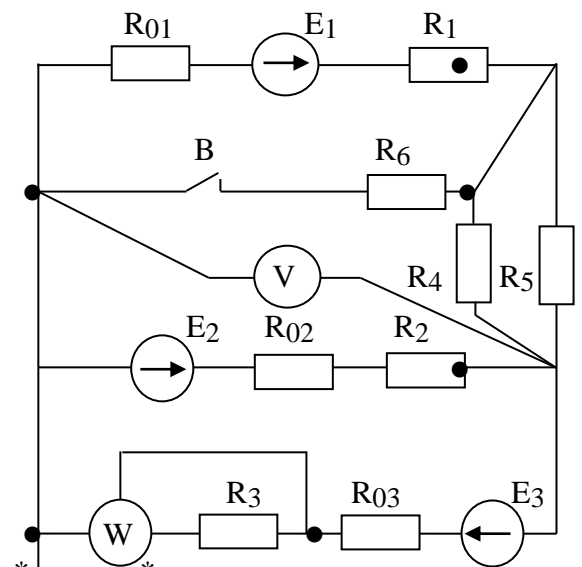
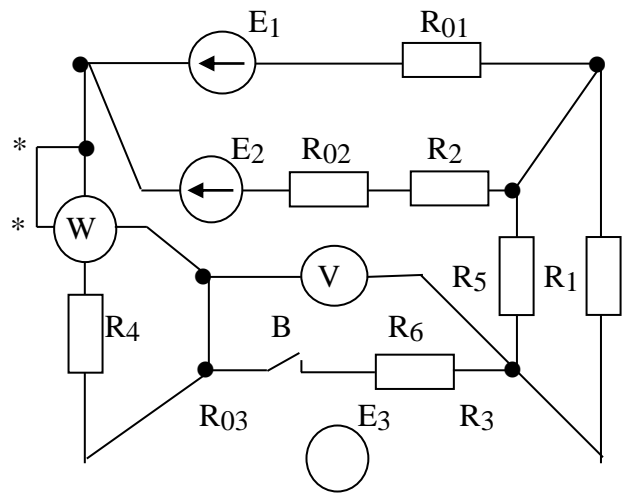
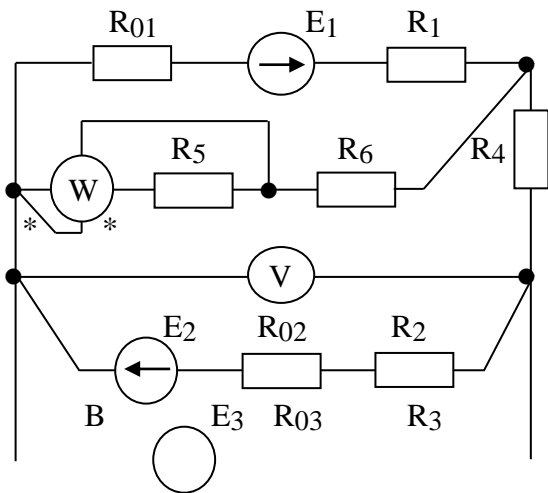


Рис.1.22



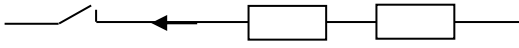


Рис.1.23

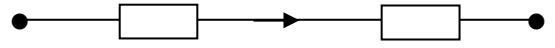


Рис.1.24

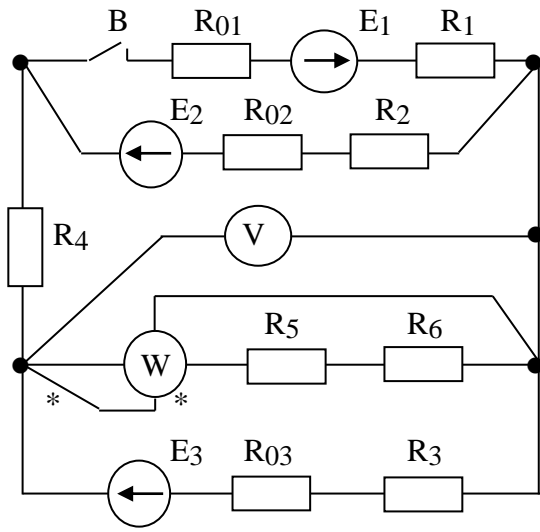


Рис.1.25

III. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ОДНОФАЗНОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА.

3.1. Краткие теоретические сведения, методы и примеры расчета.

3.1.1. Аналитическое и графическое представление синусоидальных функций напряжения и тока

Мгновенные значения напряжения и тока записываются в виде функций:

$$u = U_m \cdot \sin(\omega t + \psi_u) \quad i = I_m \cdot \sin(\omega t - \psi_i),$$

где: u, i - мгновенные значения напряжения и тока;
 U_m, I_m - амплитудные значения напряжения и тока;
 ψ_u, ψ_i - начальные фазы напряжения и тока;
 ω - угловая частота.

Комплексные выражения для действующих значений синусоидального напряжения и тока записываются в трех формах:

$$\dot{U} = U \cdot e^{j\psi_u} = U \cdot \cos\psi_u + jU \cdot \sin\psi_u = U_a + jU_p,$$

$$\dot{I} = \underbrace{I \cdot e^{j\psi_i}}_{\text{показательная форма}} = \underbrace{I \cdot \cos\psi_i + jI \cdot \sin\psi_i}_{\text{тригонометрическая форма}} = \underbrace{I_a + jI_p}_{\text{алгебраическая форма}},$$

где: U_a, I_a – активные составляющие комплексов;

U_p, I_p – реактивные составляющие комплексов.

Формулы переходов из алгебраической формы комплексного числа в показательную и обратно дают возможность легко проводить расчеты в комплексных выражениях, например:

$$\dot{U} = U_a + jU_p = \sqrt{U_a^2 + U_p^2} \cdot e^{j \arctg \frac{U_p}{U_a}} = U \cdot e^{j\psi_u}$$

3.1.2 Мощность в цепях однофазного тока

Формула полной мощности определяет соотношение всех мощностей:

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2},$$

где: S - полная мощность цепи;
 P - активная мощность цепи;
 Q - реактивная мощность цепи.

В комплексной форме формула приобретает вид:

$$\tilde{S} = \dot{U} \dot{I}^* = P + jQ, \quad \text{где: } \dot{I}^* \text{ - сопряженный комплекс тока.}$$

Например, если ток в комплексной форме представлен формулой $\dot{I} = I \cdot e^{j\psi_i}$, то сопряженный комплекс будет $\dot{I}^* = I \cdot e^{-j\psi_i}$.

3.1.3 Построение векторных диаграмм

В основном векторные диаграммы строятся на комплексной плоскости и бывают двух типов: - *векторные диаграммы токов и напряжений*;

Все векторные диаграммы строятся в масштабе, как для токов, так и для напряжений. На комплексной плоскости обозначаются оси координат $+1$ и $+j$. Методика построения диаграмм зависит от схемы соединения электрической цепи. Если элементы цепи R, L, C соединены последовательно, то «опорным» в диаграмме является вектор тока, как общий для всех элементов. Далее строятся векторы напряжений с учетом сдвига фаз между током и напряжениями на элементах (см. диаграмму А). Геометрическая сумма векторов напряжений должна быть равна вектору напряжения, приложенному к электрической цепи.

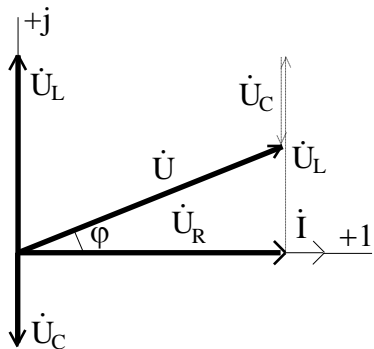


Диаграмма А

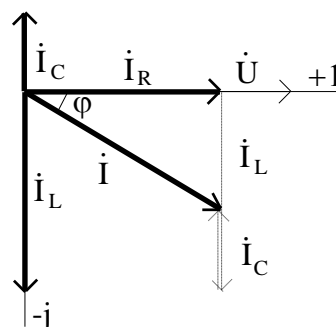


Диаграмма Б

Если элементы цепи R, L, C соединены параллельно, то «опорным» в диаграмме является вектор напряжения, как общий для всех элементов. Далее строятся векторы токов с учетом сдвига фаз между напряжением и токами в ветвях цепи (см. диаграмму Б). Геометрическая сумма векторов токов в ветвях должна быть равна общему току в электрической цепи.

Топографическая диаграмма напряжений представляет собой диаграмму комплексных потенциалов точек электрической цепи, отложенных в определенном порядке. Потенциал одной из точек принимается равным нулю и далее возможны два варианта построения: первый-относительно этого потенциала рассчитываются потенциалы остальных точек; второй-от этой точки откладываются модули напряжений на элементах с соответствующими углами сдвига фаз. Порядок построения топографической диаграммы виден на простом примере (см. схему В и диаграмму В).

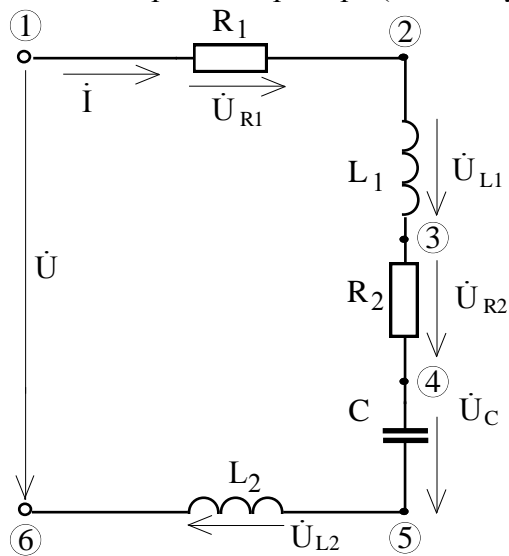


Схема В

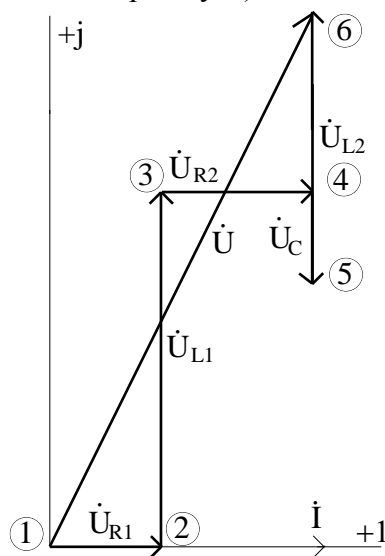


Диаграмма В

В электрических цепях со смешанным соединением элементов топографическая диаграмма напряжений обычно строится в несколько этапов. При этом сначала строятся диаграммы для отдельных ветвей цепи, что предполагает наличие векторной диаграммы токов для всей цепи, а потом объединяются в общую топографическую диаграмму.

3.1.4 Расчет сопротивлений

Обычно сопротивления задаются, как в явной форме $R = 50 \text{ Ом}$, так и в виде индуктивностей и емкостей $L = 19,1 \text{ мГн}$ или $C = 99,5 \text{ мкФ}$. В случае индуктивных и емкостных сопротивлений расчет ведется следующим образом:

$$X_L = \omega \cdot L = 2\pi f \cdot L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 19,1 \cdot 10^{-3} \approx 60 \text{ Ом},$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 99,5 \cdot 10^{-6}} \approx 32 \text{ Ом}, \quad \text{где } f = 50 \text{ Гц}.$$

3.2. Методика решения задач

3.2.1. ЗАДАЧА №1.

Последовательное соединение элементов R , L , C .

Дана электрическая цепь переменного тока (см. схему). Используя данные:

$$U = 100 \text{ [В]}, \quad f = 50 \text{ [Гц]},$$

$$R_1 = 3 \text{ [Ом]}, \quad C_1 = 177 \text{ [мкФ]}, \quad L_1 = 37,2 \text{ [мГн]}, \quad \text{необходимо определить:}$$

- 1) ток в цепи;
- 2) показания ваттметра W ;

Построить векторную диаграмму напряжений.

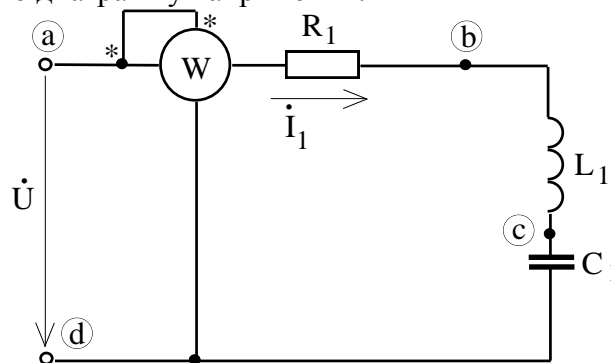


Схема электрической цепи.

1) Расчет тока.

В начале рассчитываем реактивные сопротивления цепи:

$$X_{C1} = \frac{1}{2fC_1} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 177 \cdot 10^{-6}} = 18 \text{ Ом};$$

$$X_{L1} = 2fL_1 = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 37,2 \cdot 10^{-3} = 14 \text{ Ом},$$

а затем полное комплексное сопротивление цепи:

$$\begin{aligned} \dot{Z}_1 &= R_1 - j(X_{L1} - X_{C1}) = 3 + j(14 - 18) = \\ &= \sqrt{R_1^2 + (X_{L1} - X_{C1})^2} \cdot e^{j \arctg \frac{X_{L1} - X_{C1}}{R_1}} = \sqrt{3^2 + 4^2} \cdot e^{-j \arctg \frac{4}{3}}. \\ \dot{Z}_1 &= 5 \cdot e^{-j53^\circ 08'} \text{ Ом}. \end{aligned}$$

Далее рассчитываем ток и падения напряжения на элементах цепи:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}}{\dot{Z}_1} = \frac{100}{5 \cdot e^{-j53^\circ 08'}} = 20 \cdot e^{j53^\circ 08'} \text{ А.}$$

$$\dot{U}_{R1} = \dot{I}_1 R_1 = 20 \cdot e^{j53^\circ 08'} \cdot 3 = 60 \cdot e^{j53^\circ 08'} \text{ В;}$$

$$\dot{U}_{L1} = \dot{I}_1 \cdot jX_{L1} = 20 \cdot e^{j53^\circ 08'} \cdot 14 \cdot e^{j90^\circ} = 280 \cdot e^{j143^\circ 08'} \text{ В;}$$

$$\dot{U}_{C1} = \dot{I}_1 \cdot (-jX_{C1}) = 20 \cdot e^{j53^\circ 08'} \cdot 18 \cdot e^{-j90^\circ} = 360 \cdot e^{-j36^\circ 52'} \text{ В.}$$

2) *Определение показаний ваттметра.*

Ваттметр измеряет активную мощность, которую можно определить как:

$$P = I_1^2 \cdot R_1 = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ Вт.}$$

Построение топографической диаграммы напряжений.

Определим основное уравнение цепи, данные, расчеты и правила построения диаграммы:

- *уравнение* $\dot{U} = \dot{U}_{R1} + \dot{U}_{L1} + \dot{U}_{C1};$

- *данные* $\dot{U} = 100 \cdot e^{j0^\circ} \text{ В}$

- *расчеты* $\dot{I}_1 = 20 \cdot e^{j53^\circ 08'} \text{ А;}$ $\dot{U}_{R1} = 60 \cdot e^{j53^\circ 08'} \text{ В;}$

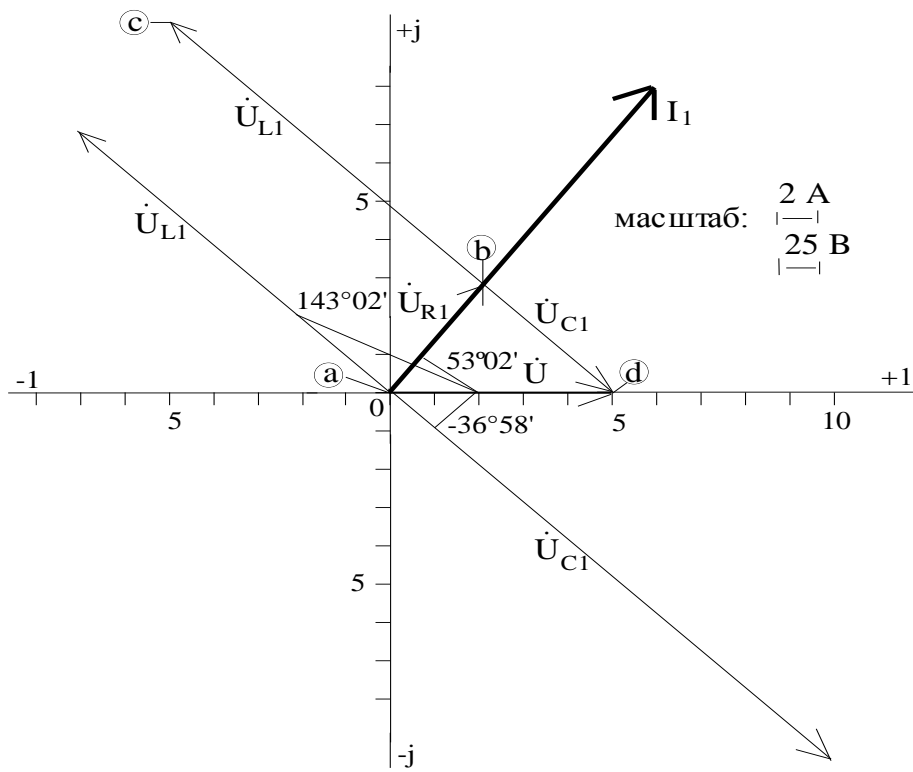
$\dot{U}_{L1} = 280 \cdot e^{j143^\circ 08'} \text{ В;}$ $\dot{U}_{C1} = 360 \cdot e^{-j36^\circ 52'} \text{ В.}$

- *правила* первое: выбираем масштаб **2А/дел** и **25В/дел**;

второе: чертим вектор тока в качестве опорного;

третье: чертим векторы всех напряжений;

четвертое: геометрическая сумма напряжений должна быть равна приложенному напряжению питания или э.д.с.



Топографическая диаграмма напряжений

3.2.2. ЗАДАЧА №2.

Параллельное соединение элементов RC, RL, R.

Дана электрическая цепь переменного тока (см. схему). Используя данные:

$U = 200$ [В], $f = 50$ [Гц], $R_2 = 10$ [Ом], $R_3 = 8$ [Ом], $R_4 = 4$ [Ом],

$C_2 = 354$ [мкФ], $L_3 = 19,1$ [мГн], необходимо определить:

- 1) токи в цепи;
 - 2) активную, реактивную и полную мощность цепи;
- Построить векторную диаграмму токов и напряжений.

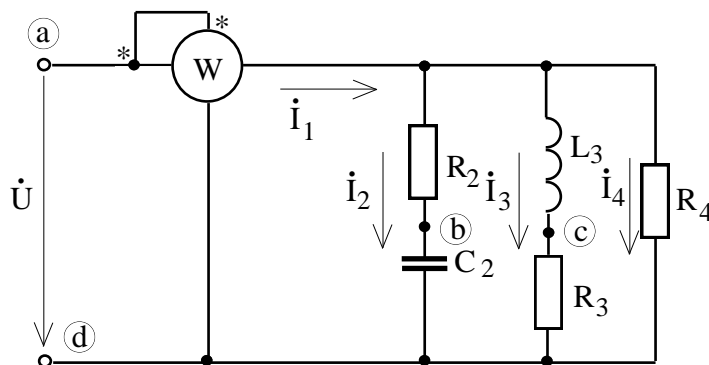


Схема электрической цепи

1) Расчет токов.

Сначала рассчитываем реактивные сопротивления цепи:

$$X_{C2} = \frac{1}{2\pi f C_2} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 354 \cdot 10^{-6}} = 9 \text{ Ом};$$

$$X_{L3} = 2\pi f L_3 = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 19,1 \cdot 10^{-3} = 6 \text{ Ом}.$$

После этого, находим комплексы проводимостей всех параллельных ветвей:

$$\dot{Y}_2 = \frac{1}{\dot{Z}_2} = \frac{1}{R_2 - jX_{C2}} = \frac{R_2 + jX_{C2}}{(R_2 - jX_{C2})(R_2 + jX_{C2})} = \frac{R_2 + jX_{C2}}{Z_2^2} = G_2 + jB_{C2};$$

$$\dot{Y}_2 = 0,0552 + j0,0497 = \sqrt{0,0552^2 + 0,0497^2} \cdot e^{j \arctg \frac{0,0497}{0,0552}} = 0,0743 \cdot e^{j42^\circ} \text{ 1/Ом}.$$

$$\dot{Y}_3 = \frac{1}{\dot{Z}_3} = \frac{1}{R_3 + jX_{L3}} = \frac{R_3 - jX_{L3}}{(R_3 + jX_{L3})(R_3 - jX_{L3})} = \frac{R_3 - jX_{L3}}{Z_3^2} = G_3 - jB_{L3};$$

$$\dot{Y}_3 = 0,08 - j0,06 = \sqrt{0,08^2 + 0,06^2} \cdot e^{-j \arctg \frac{0,06}{0,08}} = 0,1 \cdot e^{-j36^\circ 52'} \text{ 1/Ом}.$$

$$\dot{Y}_4 = \frac{1}{R_4} = \frac{1}{4} = G_4 = 0,25 \text{ 1/Ом}.$$

Используя рассчитанные проводимости, найдем комплекс эквивалентной проводимости всей цепи:

$$\dot{Y}_{\text{ЭКВ}} = \dot{Y}_2 + \dot{Y}_3 + \dot{Y}_4 = G_2 + G_3 + G_4 + j(B_{C2} - B_{L3});$$

$$\dot{Y}_{\text{ЭКВ}} = 0,3852 - j0,0103 = \sqrt{0,3852^2 + 0,0103^2} \cdot e^{-j \arctg \frac{0,0103}{0,3852}} = 0,3853 \cdot e^{-j1^\circ 30'} \text{ 1/Ом}.$$

И, наконец, рассчитаем токи:

$$\dot{I} = \dot{U} \cdot \dot{Y}_{\text{ЭКВ}} = 200 \cdot 0,3853 \cdot e^{-j1^\circ 30'} = 77,06 \cdot e^{-j1^\circ 30'} \text{ А};$$

$$\dot{I}_2 = \dot{U} \cdot \dot{Y}_2 = 200 \cdot 0,0743 \cdot e^{j42^\circ} = 14,86 \cdot e^{j42^\circ} \text{ А};$$

$$\dot{I}_3 = \dot{U} \cdot \dot{Y}_3 = 200 \cdot 0,1 \cdot e^{-j36^\circ 52'} = 20e^{-j36^\circ 52'} \text{ А}.$$

$$\dot{I}_4 = \dot{U} \cdot \dot{Y}_4 = 200 \cdot 0,25 \cdot e^{j0^\circ} = 50e^{j0^\circ} \text{ А}.$$

2) Определение мощностей **P, Q** и **S**

С помощью формулы комплексной, полной мощности можно определить активную и реактивную составляющие:

$$\tilde{S} = \dot{U} \cdot \dot{I}^* = 200 \cdot 77,06 \cdot e^{j1^\circ 30'} = 15412 \cdot e^{j1^\circ 30'} = 15412 \cdot \cos(1^\circ 30') + j15412 \cdot \sin(1^\circ 30');$$

$$\tilde{S} = P + jQ = 15408 + j403 \text{ ВА.}$$

где: активная мощность $P = 15408,00 \text{ Вт}$;
 реактивная мощность $Q = 403 \text{ ВАР}$.

Построение векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений.

Определим основные уравнения цепи, данные, расчеты и правила построения диаграммы:

- уравнения $\dot{U} = \dot{U}_{R2} + \dot{U}_{C2}$; $\dot{U} = \dot{U}_{R3} + \dot{U}_{L3}$ $\dot{U} = \dot{U}_{R4}$

$$\dot{I} = \dot{I}_2 + \dot{I}_3 + \dot{I}_4.$$

- данные $\dot{U} = 150 \cdot e^{j0^\circ} \text{ В}$

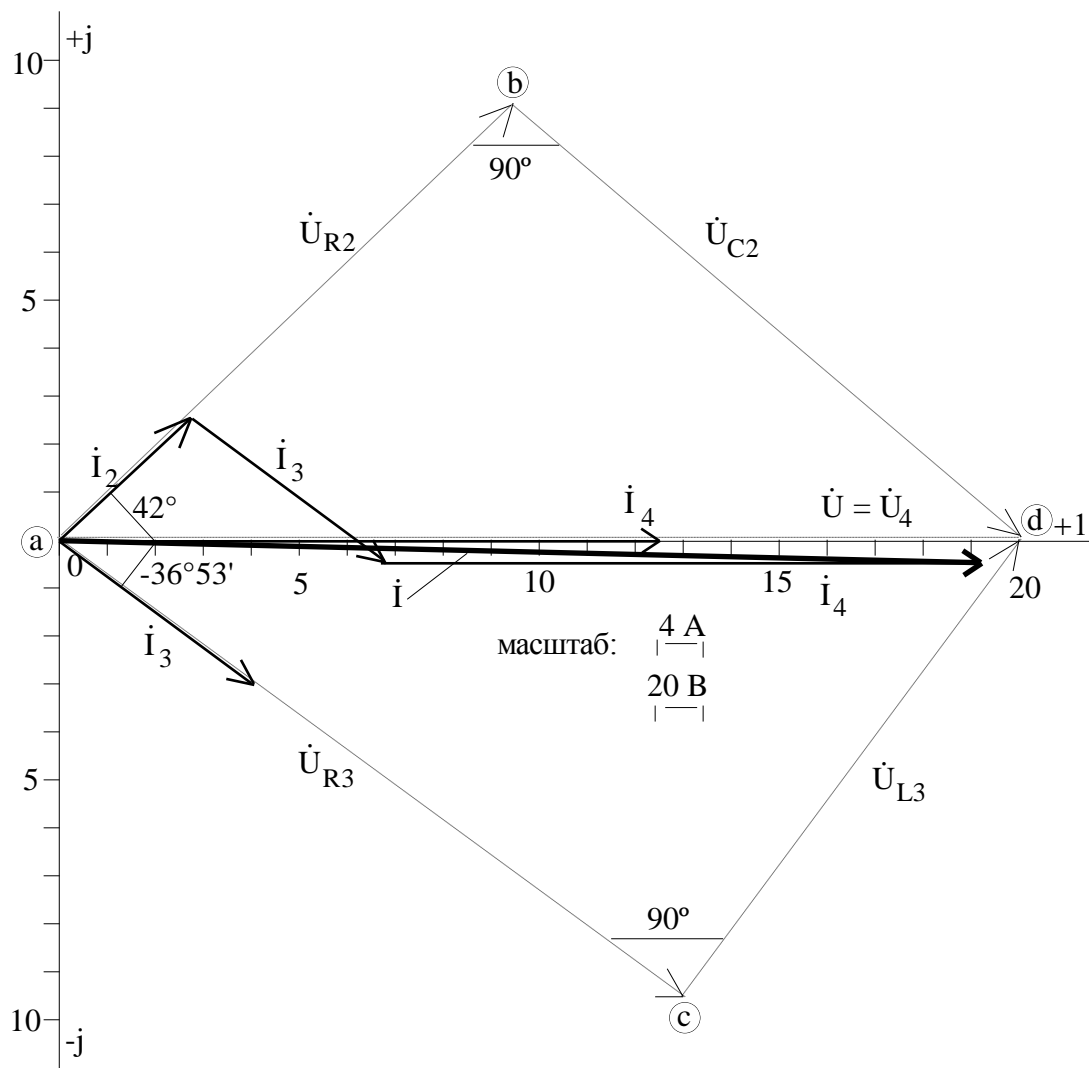
- расчеты $\dot{I} = 77,06 \cdot e^{-j1^\circ 30'}$ А; $\dot{I}_2 = 14,86 \cdot e^{j42^\circ}$ А;

$$\dot{I}_3 = 20e^{-j36^\circ 52'}$$
 А; $\dot{I}_4 = 50e^{j0^\circ}$ А. $\dot{U}_{R2} = 148,6 \cdot e^{j42^\circ}$ В;

$$\dot{U}_{C2} = 133,74 \cdot e^{j48^\circ}$$
 В; $\dot{U}_{R3} = 160 \cdot e^{j36^\circ 52'}$ В;

$$\dot{U}_{L3} = 120 \cdot e^{j53^\circ 08'}$$
 В; $\dot{U}_{R4} = 200 \cdot e^{j0^\circ}$ В.

- *правила*
- первое: выбираем масштаб по току и напряжению **4А/дел** и **20В/дел**;
- второе: начертим векторы токов в ветвях цепи и составим геометрическую сумму этих токов, которая должна быть равна вектору общего тока.
- третье: начертим векторы всех напряжений по точкам на схеме и составим геометрическую сумму этих напряжений в каждой ветви, которая должна быть равна вектору напряжения источника питания.



Векторная диаграмма токов и топографическая диаграмма напряжений

3.2.3. ЗАДАЧА № 3.

Смешанное соединение элементов R, L, C.

Дана электрическая цепь переменного тока (см. схему). Используя данные:

$U = 150$ [В], $f = 50$ [Гц], $R_1 = 2$ [Ом], $R_2 = 3$ [Ом],

$C_2 = 354$ [мкФ], $C_3 = 798$ [мкФ], $L_3 = 19,1$ [мГн], необходимо определить:

- 1) ток в цепи;
- 2) показания ваттметра W;

Построить векторную диаграмму токов и топографическую диаграмму напряжений по внутреннему контуру электрической цепи.

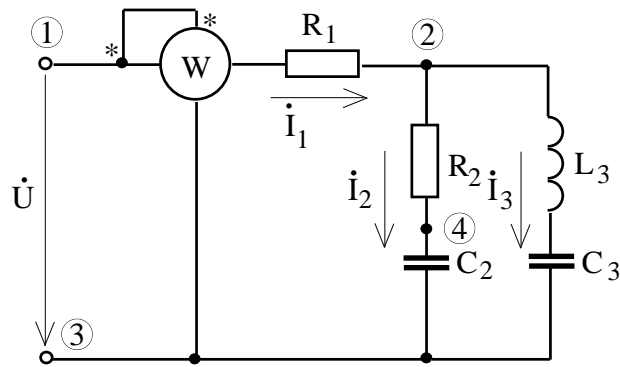


Схема электрической цепи

1) *Расчет токов*

Сначала рассчитаем реактивные сопротивления цепи:

$$X_{C2} = \frac{1}{2\pi f C_2} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 60 \cdot 354 \cdot 10^{-6}} = 9 \text{ Ом};$$

$$X_{C3} = \frac{1}{2\pi f C_3} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 60 \cdot 798 \cdot 10^{-6}} = 4 \text{ Ом};$$

$$X_{L3} = 2\pi f L_3 = 2 \cdot 3,14 \cdot 60 \cdot 19,1 \cdot 10^{-3} = 6 \text{ Ом},$$

а потом комплексы полных сопротивлений всех ветвей:

$$\dot{Z}_1 = R_1 = 2 \cdot e^{j0^\circ} = 2 \text{ Ом};$$

$$\dot{Z}_2 = R_2 - jX_{C2} = \sqrt{R_2^2 + X_{C2}^2} \cdot e^{-j \arctg \frac{X_{C2}}{R_2}} = 3 - j9 = \sqrt{3^2 + 9^2} \cdot e^{-j \arctg \frac{9}{3}};$$

$$\dot{Z}_2 = 9,49 \cdot e^{-j71^\circ 34'} \text{ Ом.}$$

$$\dot{Z}_3 = jX_{L3} - jX_{C3} = j(6 - 4) = 2 \cdot e^{j \arctg \frac{6-4}{0}} = 2 \cdot e^{j90^\circ} \text{ Ом.}$$

Используя рассчитанные величины, найдем комплекс сопротивления между точками 2-3 и комплекс полного эквивалентного сопротивления цепи:

$$\dot{Z}_{23} = \frac{\dot{Z}_2 \cdot \dot{Z}_3}{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_3} = \frac{9,49 \cdot e^{-j71^\circ 34'} \cdot 2 \cdot e^{j90^\circ}}{3 - j9 + j2} = \frac{18,98 \cdot e^{j18^\circ 26'}}{3 - j7} = \frac{18,98 \cdot e^{j18^\circ 26'}}{\sqrt{3^2 + 7^2} \cdot e^{-j \arctg \frac{7}{3}}} =$$

$$= \frac{18,98 \cdot e^{j18^\circ 26'}}{7,62 \cdot e^{-j66^\circ 48'}} = 2,49 \cdot e^{j85^\circ 14'} = 2,49 \cdot \cos(85^\circ 14') + j2,49 \cdot \sin(85^\circ 14') = 0,21 + j2,48 \text{ Ом};$$

$$\dot{Z}_{\text{ЭКВ}} = \dot{Z}_1 + \dot{Z}_{23} = (2 + 0,21) + j2,48 = \sqrt{2,21^2 + 2,48^2} \cdot e^{j \arctg \frac{2,48}{2,21}}$$

$$\dot{Z}_{\text{ЭКВ}} = 3,32 \cdot e^{j48^\circ 18'} \text{ Ом.}$$

И, наконец, рассчитываем токи:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}}{\dot{Z}_{\text{ЭКВ}}} = \frac{150}{3,32 \cdot e^{j48^\circ 18'}} = 45,18 \cdot e^{-j48^\circ 18'} \text{ А};$$

$$\dot{U}_{23} = \dot{I}_1 \dot{Z}_{23} = 45,18 \cdot e^{-j48^\circ 18'} \cdot 2,49 \cdot e^{j85^\circ 14'} = 112,5 \cdot e^{j36^\circ 56'} \text{ В}$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_{23}}{\dot{Z}_2} = \frac{112,5 \cdot e^{j36^\circ 56'}}{9,49 \cdot e^{-j71^\circ 34'}} = 11,85 \cdot e^{j108^\circ 30'} \text{ А};$$

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_{23}}{\dot{Z}_3} = \frac{112,5 \cdot e^{j36^\circ 56'}}{2 \cdot e^{j90^\circ}} = 56,25 e^{-j53^\circ 04'} \text{ А.}$$

2) Определение показаний ваттметра

Зная комплекс полного эквивалентного сопротивления цепи, можно рассчитать полную, активную и реактивную мощности цепи:

$$S = I_1^2 \cdot Z_{\text{ЭКВ}} = 45,18^2 \cdot 3,32 = 6676,89 \text{ В}$$

$$P = I_1^2 \cdot R_{\text{ЭКВ}} = 45,18^2 \cdot 2,21 = 4511,12 \text{ В};$$

$$Q = I_1^2 \cdot X_{\text{ЭКВ}} = 45,18^2 \cdot 2,48 = 5062,26 \text{ ВВА}$$

Таким образом, показания ваттметра будут **4511,12 Вт**.

Построение векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений.

Определим основные уравнения цепи, данные, расчеты и правила построения диаграммы:

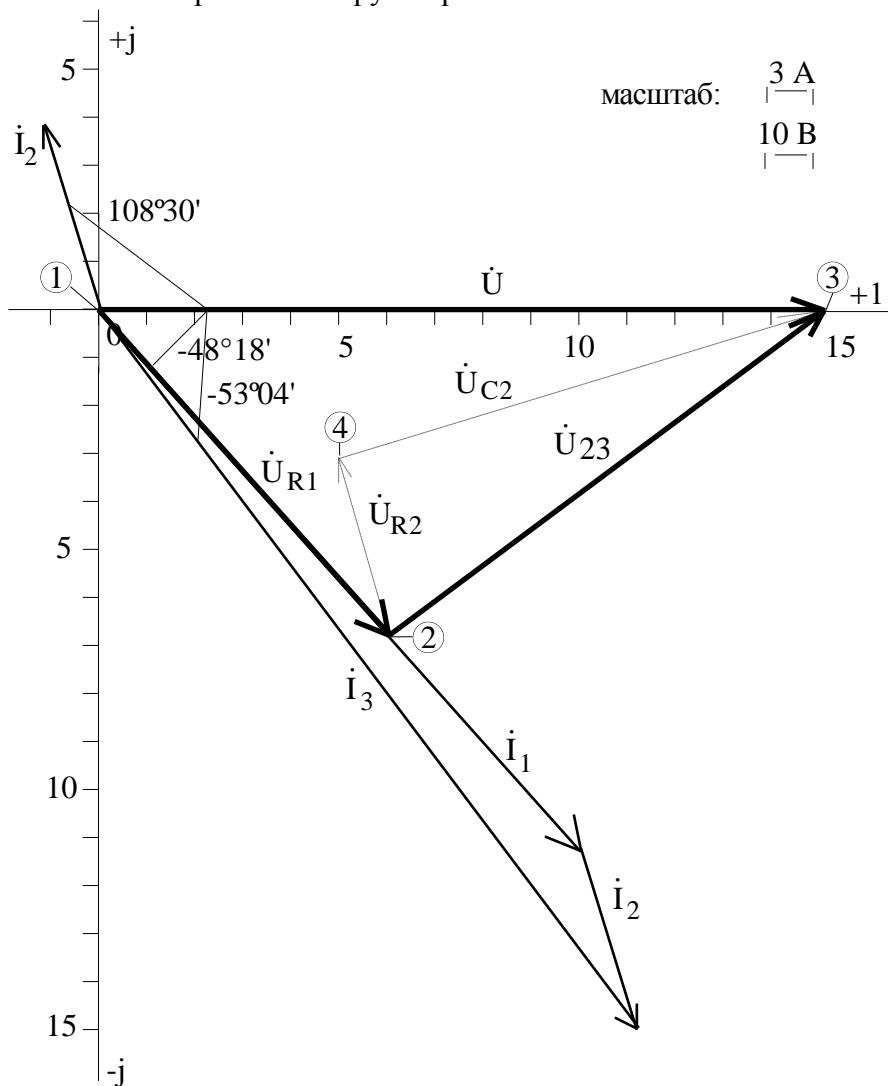
- уравнения $\dot{I}_1 = \dot{I}_2 + \dot{I}_3;$ $\dot{U} = \dot{U}_{R1} + \dot{U}_{23};$

$\dot{U} = \dot{U}_{R1} + \dot{U}_{R2} + \dot{U}_{C2} \quad ;$

- данные $\dot{U} = 150 \cdot e^{j0^\circ} \text{ В};$

- *расчеты* $\dot{I}_1 = 45,18 \cdot e^{-j48^\circ 18'}$ А; $\dot{I}_2 = 11,85 \cdot e^{j108^\circ 30'}$ А;
 $\dot{I}_3 = 56,25 e^{-j53^\circ 04'}$ А;
 $\dot{U}_{R1} = 90,36 \cdot e^{-j48^\circ 18'}$ В; $\dot{U}_{R2} = 35,55 \cdot e^{j108^\circ 30'}$ В;
 $\dot{U}_{C2} = 106,65 \cdot e^{j18^\circ 30'}$ В $\dot{U}_{23} = 112,5 \cdot e^{j36^\circ 56'}$ В.

- *правила* первое: выбираем масштаб по току и напряжению **3А/дел** и **10В/дел**;
второе: начертим векторы токов в ветвях цепи и составим геометрическую сумму этих токов, которая должна быть равна вектору общего тока.
третье: начертим векторы всех напряжений по точкам на схеме и составим геометрическую сумму этих напряжений, которая должна быть равна вектору напряжения источника питания.



Векторная диаграмма токов и топографическая диаграмма напряжений

3.3. Задания по расчетно-графической работе №2
«Электрические цепи однофазного синусоидального тока».

В электрической цепи однофазного синусоидального тока, схема и параметры элементов которой заданы для каждого варианта в таблице, определить:

- 1) полное сопротивление электрической цепи и его характер;
- 2) действующие значения токов в ветвях;
- 3) показания вольтметра и ваттметра;

Построить векторную диаграмму токов и топографическую диаграмму напряжений для всей цепи.

№ вар.	№ схемы	Параметры элементов электрической цепи										
		E В	f Гц	R1 Ом	C1 МкФ	L1 мГн	R2 Ом	C2 мкФ	L2 мГн	R3 Ом	C3 мкФ	L3 мГн
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
00	1.1	150	50	10	200	-	5	300	-	5	-	9,4
01	1.2	100	50	8	-	31,8	10	637	-	10	-	15,9
02	1.3	120	50	4	500	-	8	-	15,9	5	300	-
03	1.4	200	50	-	100	47,7	4	500	-	10	-	9,4
04	1.5	130	50	9	-	15,9	-	318	9,4	8	500	-
05	1.6	125	50	8	-	9,4	10	-	31,8	-	318	47,7
06	1.7	150	50	-	400	9,4	8	-	47,7	7	200	-
07	1.8	120	50	5	300	-	-	300	9,4	10	-	15,9
08	1.9	130	50	6	637	-	10	400	-	-	500	47,7
09	1.10	180	50	8	100	31,8	4	-	15,9	-	-	9,4
10	1.11	170	50	7	-	9,4	4	637	9,4	10	-	-
11	1.12	130	50	10	-	-	5	318	15,9	8	-	15,9
12	1.13	150	50	-	400	-	8	200	31,8	5	637	-
13	1.14	170	50	-	-	31,8	10	500	47,7	6	300	-
14	1.15	160	50	8	637	31,8	12	-	-	-	318	9,4
15	1.16	125	50	10	500	47,7	-	-	95	8	400	-
16	1.17	140	50	-	-	95	8	300	-	6	500	31,8
17	1.18	110	50	12	-	-	10	-	15,9	4	200	15,9
18	1.19	130	50	-	100	-	8	-	47,7	8	300	47,7
19	1.20	100	50	6	-	9,4	12	-	-	10	318	15,9
20	1.21	200	50	10	400	-	-	-	95	8	100	47,7
21	1.22	170	50	8	300	9,4	10	637	-	-	-	31,8
22	1.23	180	50	8	300	15,9	-	-	9,4	10	-	31,8
23	1.24	150	50	6	200	31,8	8	500	-	15	-	-
24	1.25	130	50	9	-	15,9	6	-	9,4	10	637	-
25	1.11	140	50	8	-	15,9	10	637	47,7	12	-	-
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
26	1.12	120	50	20	-	-	6	400	9,4	10	-	31,8
27	1.13	150	50	-	100	-	8	300	31,8	6	500	-
28	1.14	110	50	-	-	31,8	5	318	9,4	8	637	-
29	1.15	120	50	7	400	9,4	20	-	-	-	400	31,8
30	1.16	130	50	6	300	15,9	-	-	95	10	500	-
31	1.17	180	50	-	-	47,7	15	200	-	6	637	9,4
32	1.18	140	50	10	-	-	6	-	9,4	10	318	15,9
33	1.1	130	50	5	637	-	10	318	-	5	-	31,8
34	1.2	125	50	6	-	9,4	8	637	-	10	-	47,7
35	1.3	160	50	4	600	-	8	-	50	6	637	-
36	1.4	135	50	-	100	47,7	10	500	-	8	-	9,4
37	1.5	140	50	8	-	15,9	-	400	31,8	9	200	-
38	1.6	130	50	10	-	31,8	8	-	15,9	-	300	47,7
39	1.7	120	50	-	200	95	9	-	47,7	20	318	-
40	1.8	180	50	10	637	-	-	637	47,7	10	-	15,9
41	1.9	200	50	6	500	-	10	500	-	-	500	47,7
42	1.10	140	50	6	637	31,8	8	-	9,4	-	-	95
43	1.25	125	50	8	-	15,9	6	-	9,4	10	637	-
44	1.24	130	50	10	200	31,8	8	500	-	20	-	-
45	1.23	150	50	8	300	15,9	-	-	9,4	10	-	31,8
46	1.22	170	50	6	400	47,7	8	637	-	-	-	95
47	1.21	160	50	7	637	-	-	-	31,8	6	637	31,8
48	1.20	140	50	10	-	15,9	20	-	-	8	318	15,9
49	1.19	200	50	-	100	-	10	-	15,9	8	400	9,4
50	1.1	170	50	8	500	-	6	637	-	10	-	15,9
51	1.2	130	50	10	-	31,8	8	500	-	6	-	9,4
52	1.3	100	50	8	300	-	6	-	15,9	8	637	-
53	1.4	110	50	-	100	47,7	8	637	-	6	-	9,4
54	1.5	120	50	10	-	15,9	-	200	95	10	500	-
55	1.6	130	50	8	-	25,5	6	-	15,9	-	200	95
56	1.7	140	50	-	200	38,2	8	-	25,5	6	400	-
57	1.8	150	50	10	400	-	-	318	25,5	12	-	38,2
58	1.9	160	50	8	500	-	10	400	-	-	300	25,5
59	1.10	170	50	6	318	38,2	8	-	15,9	-	-	31,8
60	1.11	180	50	10	-	25,5	6	318	38,2	10	-	-
61	1.12	190	50	4	-	-	8	500	25,5	10	-	15,9
62	1.13	200	50	-	637	-	10	400	15,9	8	500	-
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
63	1.14	220	50	-	-	38,2	6	318	47,7	10	300	-
64	1.15	150	50	6	318	38,2	8	-	-	-	400	15,9
65	1.16	140	50	8	500	47,7	-	-	38,2	6	400	-
66	1.17	130	50	-	-	25,5	10	637	-	8	318	47,7
67	1.18	160	50	10	-	-	8	-	25,5	10	637	15,9
68	1.19	170	50	-	300	-	6	-	15,9	8	400	31,8
69	1.20	120	50	8	-	9,4	10	-	-	6	200	38,2
70	1.21	180	50	6	500	-	-	-	25,5	10	637	9,4
71	1.22	200	50	10	318	25,5	6	637	-	-	-	31,8
72	1.23	100	50	8	200	31,8	-	-	15,9	6	-	31,8
73	1.24	125	50	6	637	9,4	8	400	-	20	-	-
74	1.25	130	50	7	-	9,4	6	-	31,8	10	500	-
75	1.18	150	50	8	-	-	12	-	47,7	10	200	38,2
76	1.17	140	50	-	-	25,5	10	637	-	6	300	15,9
77	1.16	180	50	10	318	31,8	-	-	9,4	8	637	-
78	1.15	200	50	8	637	31,8	10	-	-	-	500	31,8
79	1.14	220	50	-	-	15,9	6	300	15,9	8	400	-
80	1.13	125	50	-	318	-	8	500	31,8	6	300	-
81	1.12	130	50	10	-	-	6	637	9,4	8	-	25,5
82	1.11	150	50	8	-	47,7	10	200	31,8	10	-	-
83	1.10	160	50	6	500	25,5	6	-	15,9	-	-	31,8
84	1.19	200	50	-	400	-	8	-	15,9	6	500	9,4
85	1.20	190	50	6	-	9,4	10	-	-	8	318	15,9
86	1.21	170	50	8	500	-	-	-	31,8	10	318	47,7
87	1.22	150	50	10	200	31,8	6	500	-	-	-	9,4
88	1.23	130	50	6	637	9,4	-	-	15,9	8	-	25,5
89	1.24	140	50	8	200	9,4	6	637	-	10	-	-
90	1.25	150	50	6	-	9,4	8	-	15,9	10	637	-
91	1.9	120	50	8	637	-	10	318	-	-	318	47,7
92	1.8	110	50	6	500	-	-	637	9,4	8	-	25,5
93	1.7	100	50	-	400	9,4	10	-	15,9	8	300	-
94	1.6	80	50	8	-	15,9	10	-	31,8	-	637	9,4
95	1.5	130	50	10	-	31,8	-	318	15,9	8	400	-
96	1.4	180	50	-	300	15,9	6	500	-	8	-	25,5
97	1.3	200	50	6	637	-	8	-	25,5	6	500	-
98	1.2	125	50	8	-	25,5	6	637	-	10	-	31,8
99	1.1	220	50	10	500	-	8	318	-	6	-	47,7
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

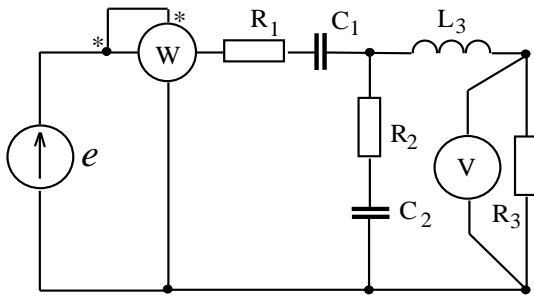


Рис.1.1

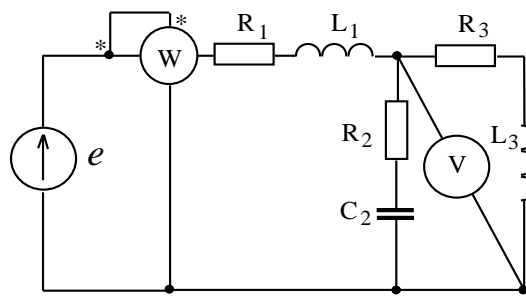


Рис.1.2

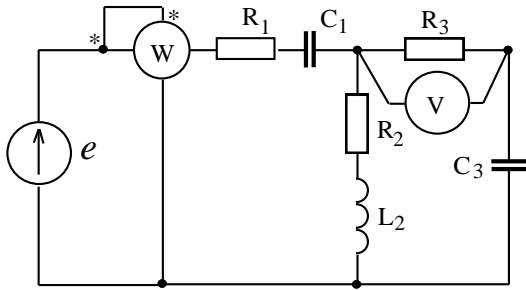


Рис.1.3

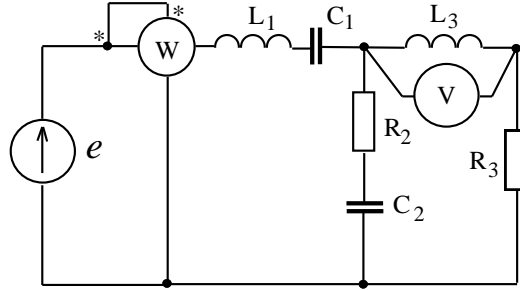


Рис.1.4

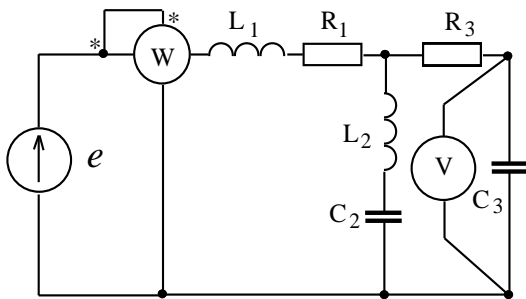


Рис.1.5

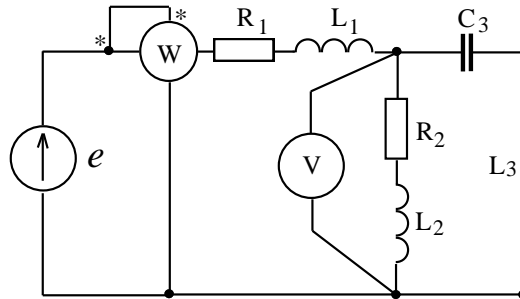


Рис.1.6

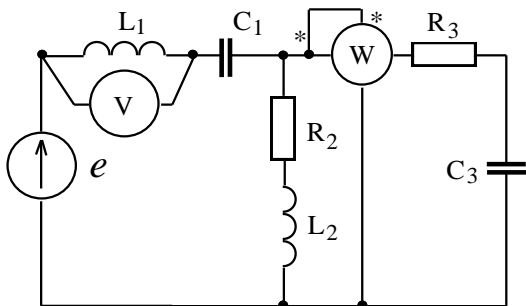


Рис.1.7

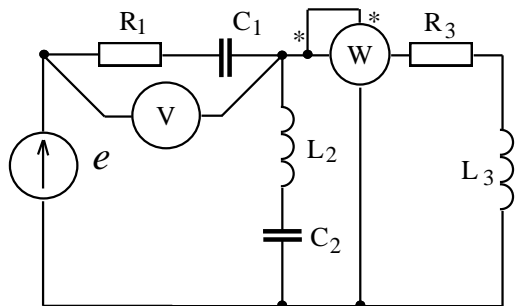


Рис.1.8

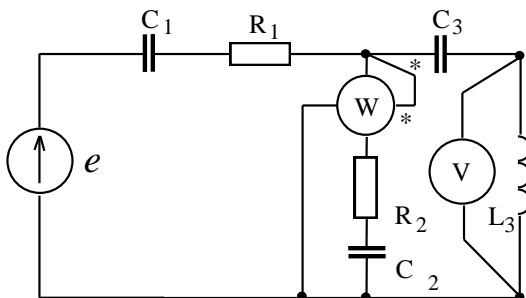


Рис.1.9

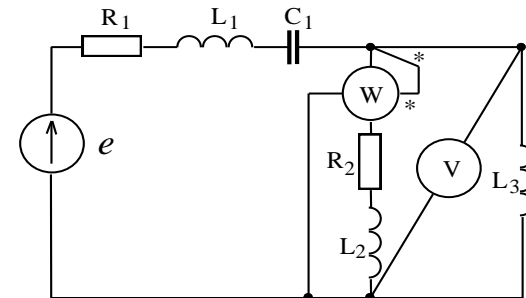


Рис.1.10

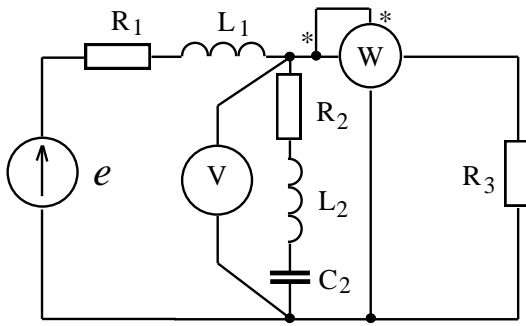


Рис.1.11

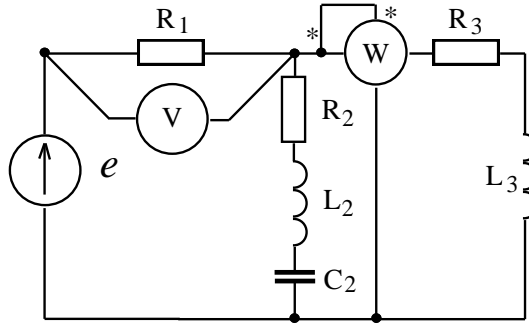


Рис.1.12

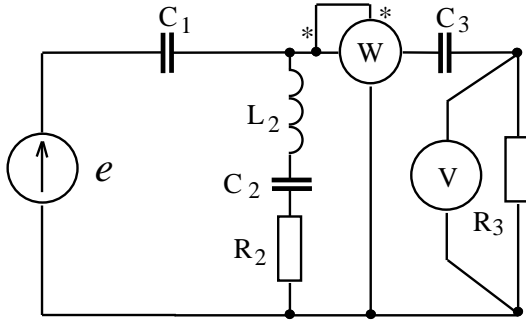


Рис.1.13

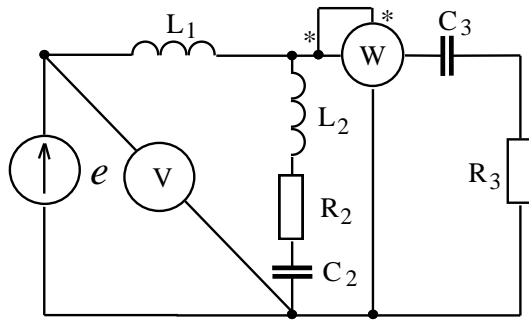


Рис.1.14

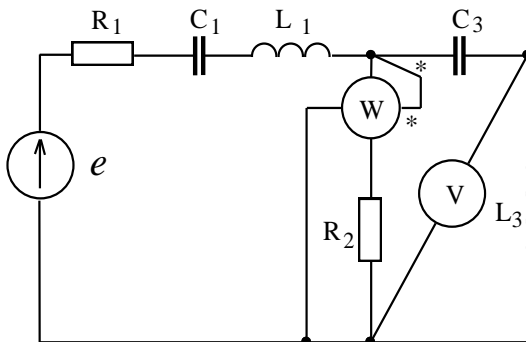


Рис.1.15

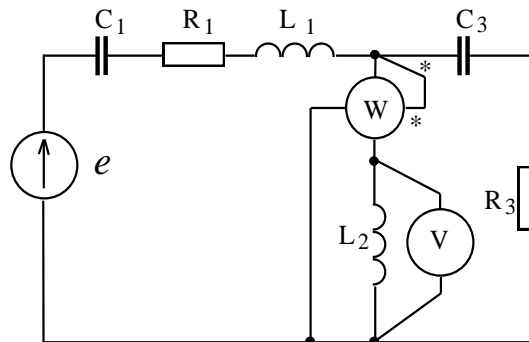


Рис.1.16

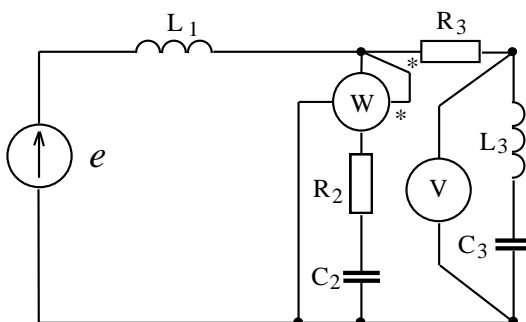


Рис.1.17

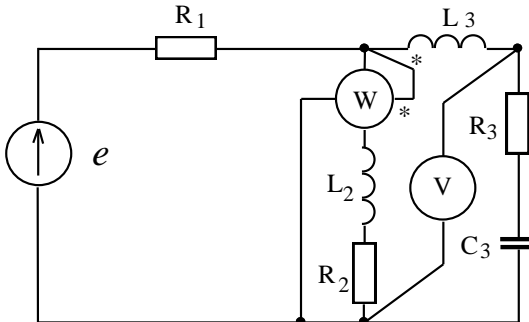


Рис.1.18

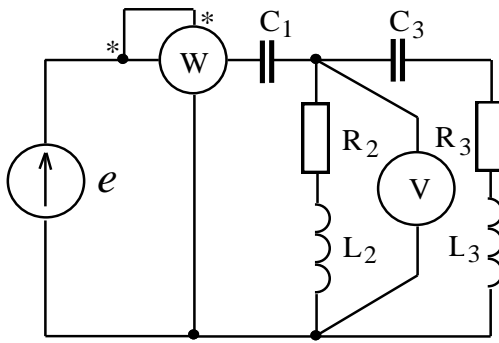


Рис.1.19

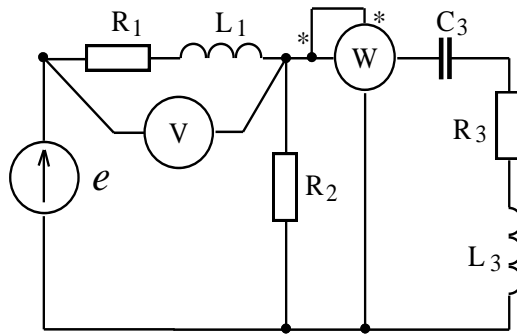


Рис.1.20

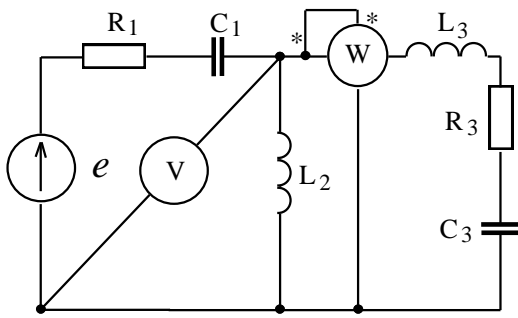


Рис.1.21

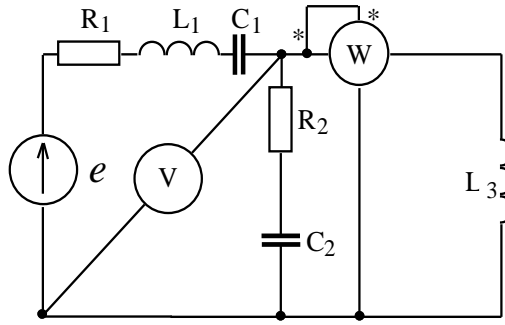


Рис.1.22

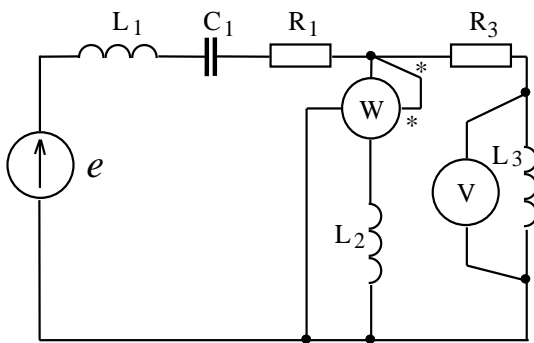


Рис.1.23

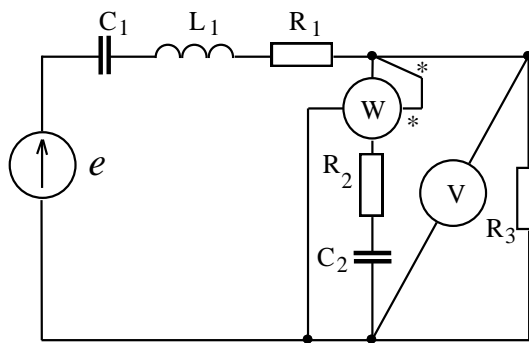


Рис.1.24

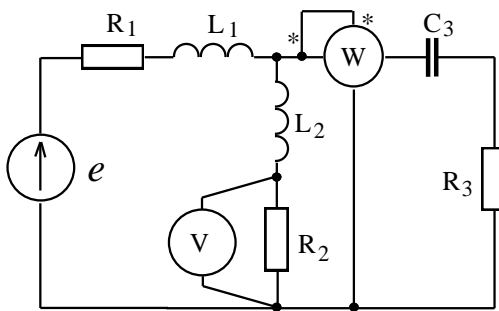


Рис.1.25

..