

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
Южно-Уральский государственный университет
Филиал в г. Златоусте
Кафедра «Электрооборудование и автоматизация производственных процессов»

621.3(07)
ШЗ41

Е.В. Шведова, Т.В. Павлова

ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Учебное пособие к выполнению семестровых заданий

Под редакцией А.М. Рафикова

Челябинск
Издательство ЮУрГУ
2007

УДК 621.3.01(075.8)+658.516(075.8)
ШЗ41

Одобрено
учебно-методической комиссией филиала ЮУрГУ в г. Златоусте

Рецензенты:
А.Б. Святых, О.А. Щепина

Шведова, Е.В.
ШЗ41 Общая электротехника: учебное пособие к выполнению семестровых заданий / Е.В. Шведова, Т.В. Павлова; под ред. А.М. Рафикова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – 42 с.

Учебное пособие предназначено для студентов технических специальностей дневной и вечерней форм обучения. В пособие включены семестровые задания, контрольные вопросы, а также наиболее типичные задачи по вопросам теории и практики расчета по общей электротехнике.

УДК 621.3.01(075.8)+658.516(075.8)

© Издательство ЮУрГУ, 2007

ИСТОЧНИКИ ЭДС И ИСТОЧНИКИ ТОКА

Источник ЭДС это активный элемент цепи электродвижущая сила, которого не зависит от тока, проходящего через источник. Внутреннее сопротивление идеального источника равно нулю. У реальных источников R_{BH} не равно 0, и напряжение на зажимах $U_{AB}=E-IR_{BH}$.

Внешние характеристики у реального и идеального источника имеют вид, показанный на рис. 1.

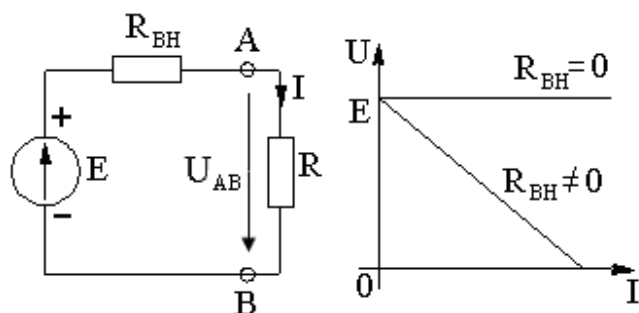


Рис. 1

Источник тока – это активный элемент электрической цепи, ток которого не зависит от напряжения на его зажимах. Внутреннее сопротивление идеального источника равно ∞ , следовательно, внутренняя проводимость $g_{BH} = 0$ (рис. 2).

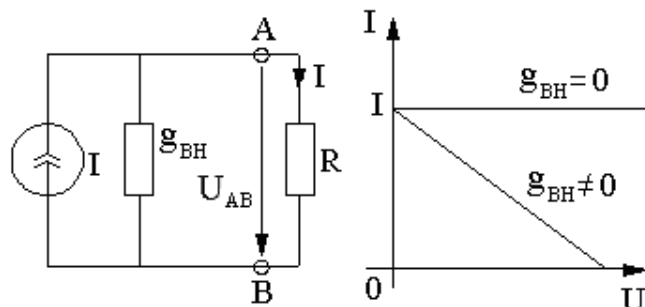


Рис. 2

НАПРЯЖЕНИЕ НА УЧАСТКЕ ЦЕПИ

Под напряжением на участке цепи понимают разность потенциалов между крайними точками участка (рис. 3). На участке цепи, не содержащей источников, ток течет от более высокого потенциала к более низкому:

$$\varphi_A = \varphi_B + RI;$$

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = RI;$$

$$U_{AB} = RI.$$

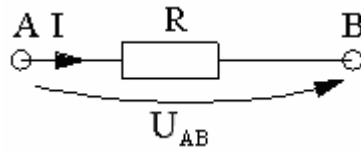


Рис. 3

Участок цепи, содержащий источник ЭДС и сопротивление:

$$U_{AC} = \varphi_A - \varphi_C;$$

$$\varphi_A = \varphi_B + RI;$$

$$\varphi_B = \varphi_C - E;$$

$$U_{AC} = \varphi_C - E + RI - \varphi_C;$$

$$U_{AC} = RI - E \text{ (рис. 4а);}$$

$$U_{AC} = \varphi_A - \varphi_C;$$

$$\varphi_A = \varphi_B + RI;$$

$$\varphi_B = \varphi_C + E;$$

$$U_{AC} = \varphi_C + E + RI - \varphi_C;$$

$$U_{AC} = RI + E \text{ (рис. 4б).}$$

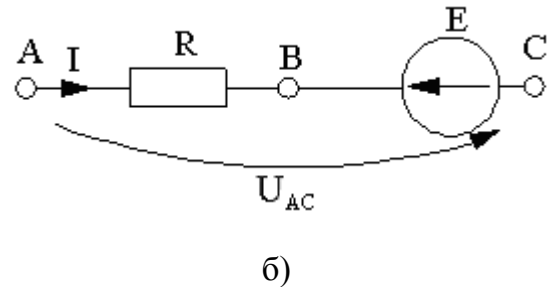
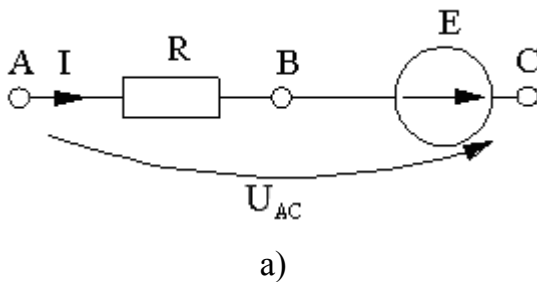


Рис. 4

ЗАКОН ОМА ДЛЯ УЧАСТКА ЦЕПИ

Закон Ома для участка цепи, не содержащего источники ЭДС, устанавливает связь между током и напряжением на участке цепи:

$$1) I = \frac{U_{AB}}{R}; \quad 2) I = \frac{U_{AC} + E}{R}; \quad 3) I = \frac{U_{AC} - E}{R}.$$

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ

При протекании тока через сопротивление в нем выделяется энергия в виде тепла. На основании закона сохранения энергии, количество тепла, выделившееся за единицу времени в сопротивлении схемы, должно равняться количеству энергии, доставленной за то же время источником питания:

$$\sum_{K=1}^n R_K (I_K)^2 = \sum_{K=1}^n E_K I_K.$$

В правой части выражения слагаемые берутся со знаком «+», если направление тока совпадает с направлением ЭДС в К-й ветви, и со знаком «-», если направление тока не совпадает с направлением ЭДС в К-й ветви.

При наличии в схеме источников тока баланс мощностей будет иметь вид

$$\sum_{K=1}^n R_K (I_K)^2 = \sum_{K=1}^n E_K I_K + \sum_{K=1}^n I_K U_{ABK}.$$

где U_{ABK} – напряжение на зажимах источника тока в К-й ветви.

ЗАКОНЫ КИРХГОФА

Первый закон Кирхгофа. Алгебраическая сумма токов, расходящихся от узла электрической цепи, равна нулю.

Второй закон Кирхгофа. Алгебраическая сумма падений напряжения во всех ветвях любого замкнутого контура электрической цепи равна сумме ЭДС источников энергии, действующих в этом контуре:

$$\sum_{K=1}^n I_K = 0; \quad \sum_{K=1}^n (I_K R_K) = \sum_{K=1}^n E_K.$$

В каждую из сумм соответствующее слагаемое входит со знаком «+», если оно совпадает с направлением обхода контура, и со знаком «-», если не совпадает.

РЕЖИМЫ РАБОТЫ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ

Пусть к внешним зажимам приемника подключен источник, приемник изменяет свое сопротивление. При изменении сопротивления R_H ток I и напряжение U_{AB} будут меняться (рис. 5). Из всех режимов работы источника наиболее важны 4 режима:

1) номинальный режим. Характеризуется тем, что напряжение U_H , ток I_H , мощность P_H соответствуют тем значениям, на которые он рассчитан заводом изготовителем;

2) режим холостого хода. Режим, при котором ток в цепи равен нулю, один из зажимов отключен, на внешних зажимах источника при холостом ходе напряжение равно ЭДС источника: $R_H = \infty$; $I = 0$; $U_{AB} = U_{xx} = E$;

3) режим короткого замыкания. Характеризуется тем, что напряжение на внешних зажимах источника равно нулю. Ток короткого замыкания будет наибольшим и опасным для источника: $R_H = 0$; $U_{AB} = U_{кз} = 0$; $I = I_{кз} = E/R_{вн}$;

4) режим согласованной нагрузки. Это режим, при котором источник во внешнюю цепь отдает наибольшую мощность. Условием передачи максимальной мощности в нагрузку является равенство $R_{ВН} = R_{Н}$.

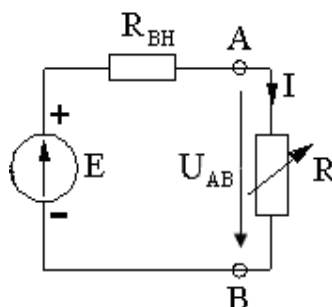
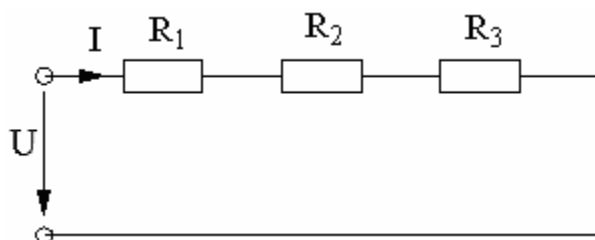


Рис. 5

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА. МЕТОД ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

1. Последовательное соединение приемников – это такое соединение, при котором через все приемники протекает один и тот же ток (рис. 6):



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

$$U = R_3 I;$$

$$R_3 = R_1 + R_2 + R_3 .$$

Рис. 6

При последовательном соединении приемников эквивалентное сопротивление равно сумме сопротивлений всех приемников.

2. Параллельное соединение приемников – это такое соединение, при котором все приемники присоединяются к одной паре узлов и к ним приложено одинаковое напряжение (рис. 7).

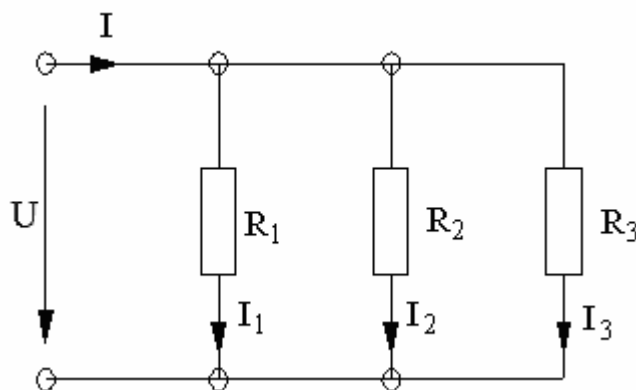


Рис. 7

Согласно первому закону Кирхгофа $I = I_1 + I_2 + I_3$;

$$I = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3};$$

$$I = U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) = U(g_1 + g_2 + g_3);$$

$$I = U g_{\ominus} = \frac{U}{R_{\ominus}};$$

$$g_{\ominus} = g_1 + g_2 + g_3.$$

При параллельном соединении приемников эквивалентная проводимость равна сумме проводимостей отдельных приемников.

Для двух приемников
$$R_{\ominus} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Для трех приемников
$$R_{\ominus} = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}.$$

3. Смешанное соединение приемников это сочетание последовательного и параллельного соединений.

Пример. Дано: U, R_1, R_2, R_3 .

Найти: I_1, I_2, I_3 (рис. 8).

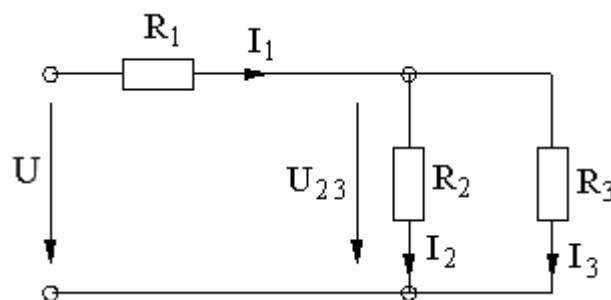
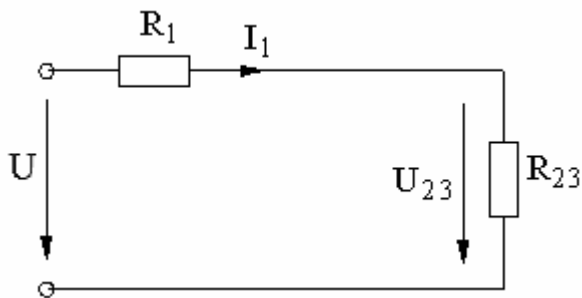


Рис. 8

Преобразуем параллельное соединение R_2 и R_3 в эквивалентное сопротивление R_{23} (рис. 9).

Преобразуем последовательное соединение R_1 и R_{23} в эквивалентное сопротивление R_{\ominus} :



$$R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3};$$

$$R_{\Sigma} = R_1 + R_{23}.$$

Рис. 9

Ток в неразветвленной части цепи

$$I_1 = \frac{U}{R_{\Sigma}}.$$

Напряжение на параллельном соединении

$$U_{23} = I_1 R_{23}.$$

Токи через параллельное соединение:

$$I_2 = \frac{U_{23}}{R_2}; \quad I_3 = \frac{U_{23}}{R_3}.$$

4. Взаимное преобразование схем соединений треугольником и звездой пассивных элементов. Преобразованием треугольника в эквивалентную звезду называется такая замена части цепи, соединенная по схеме треугольника, цепью, соединенной по схеме звезда, при которой токи и напряжения в остальной части цепи сохраняются неизменными (рис. 10).

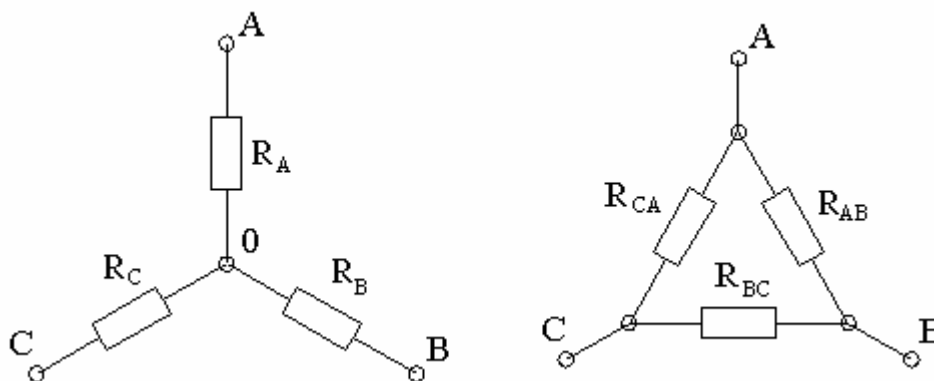


Рис. 10

Преобразованием звезды в эквивалентный треугольник называется такая замена части цепи, соединенная по схеме звезда, цепью, соединенной по схеме треугольника, при которой токи и напряжения в остальной части цепи сохраняются неизменными.

Из условия равнозначности между двумя любыми точками можно записать:

для АВ
$$R_A + R_B = \frac{R_{AB}(R_{BC} + R_{CA})}{R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}}; \quad (1)$$

для ВС
$$R_B + R_C = \frac{R_{BC}(R_{AB} + R_{CA})}{R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}}; \quad (2)$$

для СА
$$R_C + R_A = \frac{R_{CA}(R_{AB} + R_{BC})}{R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}}. \quad (3)$$

Решая совместно уравнения (1)–(3) находим искомые сопротивления при известных других.

Преобразование треугольника в эквивалентную звезду:

$$R_A = \frac{R_{AB}R_{CA}}{R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}};$$

$$R_B = \frac{R_{BC}R_{AB}}{R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}};$$

$$R_C = \frac{R_{CA}R_{BC}}{R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}}.$$

Преобразование звезды в эквивалентный треугольник:

$$R_{AB} = R_A + R_B + \frac{R_A R_B}{R_C};$$

$$R_{BC} = R_B + R_C + \frac{R_B R_C}{R_A};$$

$$R_{CA} = R_C + R_A + \frac{R_C R_A}{R_B}.$$

Пример. Дано: $E=12$ В; $R_0=0,1$ Ом; $R_1=10$ Ом; $R_2=R_3=R_4=R_5=5$ Ом (рис. 11).
Найти: I .

Преобразуем треугольник R_1, R_3, R_5 в эквивалентную звезду R_A, R_B, R_C :

$$R_A = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3 + R_5} = 2,5 \text{ Ом};$$

$$R_B = \frac{R_1 R_5}{R_1 + R_3 + R_5} = 2,5 \text{ Ом};$$

$$R_C = \frac{R_3 R_5}{R_1 + R_3 + R_5} = 1,25 \text{ Ом}.$$

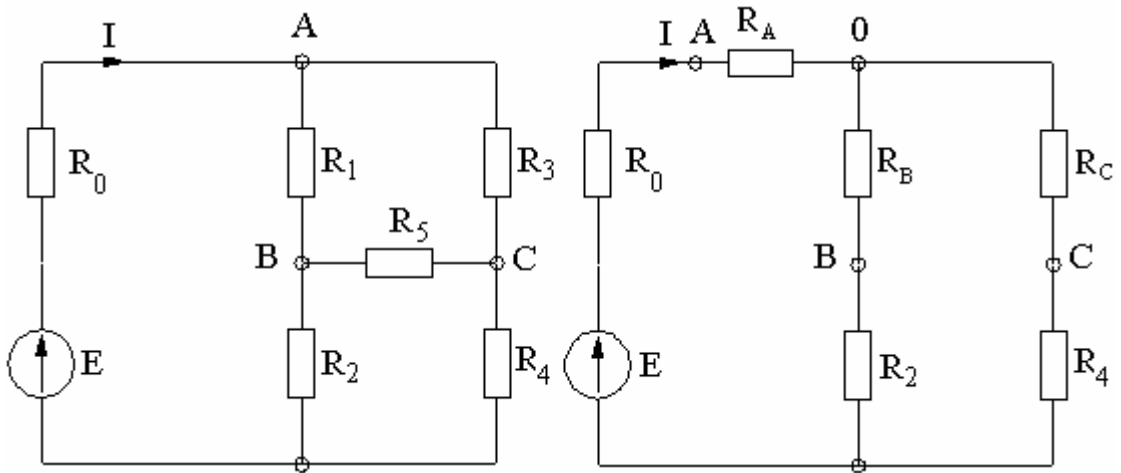


Рис. 11

Находим эквивалентное сопротивление цепи:

$$R_k = \frac{(R_B + R_2)(R_C + R_4)}{R_B + R_2 + R_C + R_4} = 3,4 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{э}} = R_0 + R_A + R_k = 6 \text{ Ом}.$$

Ток в неразветвленной части цепи

$$I = \frac{E}{R_{\text{э}}} = 2 \text{ А}.$$

5. Преобразование нескольких параллельно соединенных ветвей с источниками ЭДС в одну эквивалентную ветвь.

Пусть две ветви содержат источники ЭДС E_1 и E_2 , и сопротивления R_1 и R_2 (рис. 12).

Любой источник ЭДС со своим внутренним сопротивлением может быть заменен источником тока со своей внутренней проводимостью, которые могут быть определены следующим образом:

$$I = \frac{E}{R_{\text{вн}}}, \quad g_{\text{вн}} = \frac{1}{R_{\text{вн}}}.$$

Следовательно, можно записать:

$$I_1 = \frac{E_1}{R_1}, \quad g_1 = \frac{1}{R_1};$$

$$I_2 = \frac{E_2}{R_2}, \quad g_2 = \frac{1}{R_2}.$$

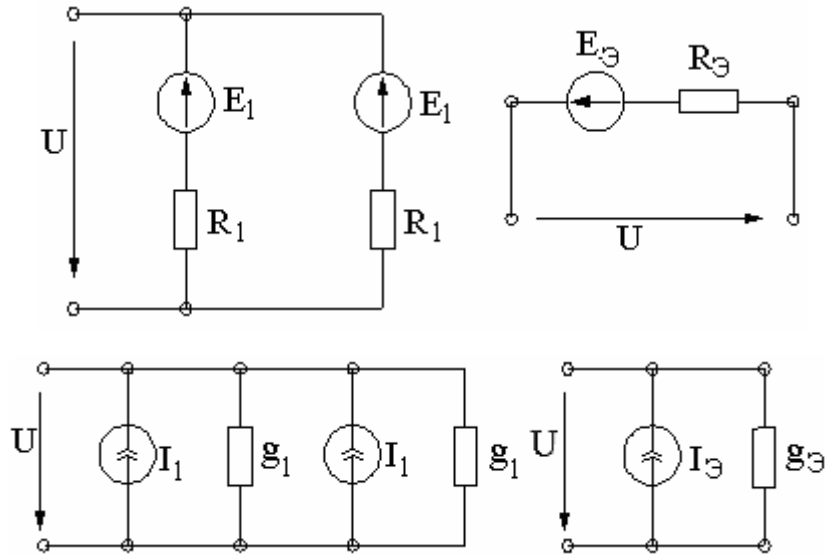


Рис. 12

По первому закону Кирхгофа:

$$I_Э = I_1 + I_2; \quad g_Э = g_1 + g_2;$$

$$E_Э = \frac{I_Э}{g_Э}; \quad E_Э = \frac{I_1 + I_2}{g_1 + g_2}; \quad R_Э = \frac{1}{g_1 + g_2}.$$

При параллельном соединении нескольких ветвей с источниками ЭДС:

$$E_Э = \frac{E_1 \cdot g_1 + E_2 \cdot g_2 + E_3 \cdot g_3 \dots E_n \cdot g_n}{g_1 + g_2 + g_3 \dots g_n},$$

$$R_Э = \frac{1}{g_1 + g_2 + g_3 \dots g_n}.$$

МЕТОД УРАВНЕНИЙ КИРХГОФА ДЛЯ РАСЧЕТА СЛОЖНЫХ ЦЕПЕЙ

Сущность данного метода заключается в решении системы уравнений, составленных по первому и второму законам Кирхгофа.

1. По первому закону Кирхгофа составляют уравнения для независимых узлов. Количество которых $N-1$.

По второму закону Кирхгофа составляют уравнения для независимых контуров.

Решая совместно систему уравнений, находят неизвестные токи. Пример (рис. 13):

$$I_1 + I_5 + I_6 = 0; \quad I_2 - I_4 - I_5 = 0; \quad -I_3 + I_4 - I_6 = 0;$$

$$R_1 I_1 - R_2 I_2 - R_5 I_5 = E_1 - E_2; \quad R_2 I_2 + R_3 I_3 + R_4 I_4 = E_2;$$

$$-E_4 I_4 + R_5 I_5 - R_6 I_6 = 0.$$

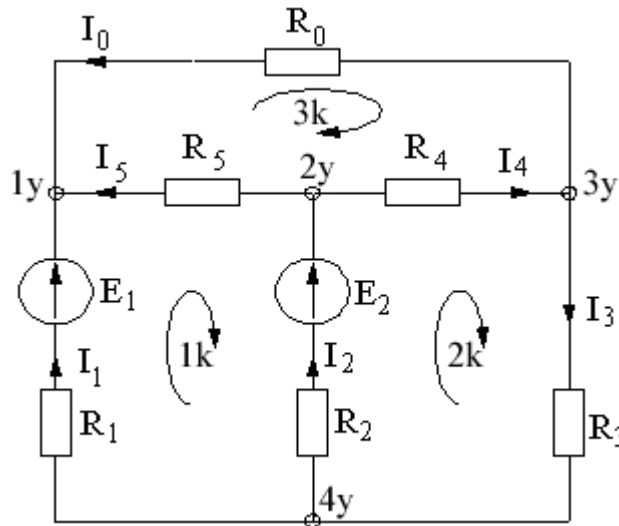


Рис. 13

Примечания

1. Если при решении уравнений ток в какой-либо ветви получится отрицательный, то действительный ток ветви направлен в противоположную сторону.

2. Если ток в ветви с ЭДС получается направленным противоположно направлению ЭДС, то данный источник работает в режиме потребления (баланс мощностей).

3. Если в схеме присутствуют источники тока, то

а) при составлении уравнений по первому закону Кирхгофа токи этих источников учитываются как обычные;

б) при составлении уравнений по второму закону Кирхгофа контуры, проходящие через источники тока, не учитываются.

Задание 1. РАСЧЁТ ЛИНЕЙНОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Для заданной электрической цепи рассчитать величины токов и найти их направления, составить и решить уравнение баланса мощностей цепи. Расчёт произвести по следующим этапам.

1. Заданную сложную цепь упростить путём преобразования последовательных, параллельных типа звезды и треугольника соединений так, чтобы получилась цепь с двумя контурами.

2. Рассчитать токи полученной цепи, используя законы Кирхгофа.

3. Используя промежуточные схемы, преобразования и законы Кирхгофа, рассчитать токи и определить их направления в заданной цепи.

4. Составить и решить уравнения баланса мощностей.

Варианты задания 1 приведены в табл. 1.

Таблица 1

№ варианта	$E_1, В$	$E_2, В$	$r_1, Ом$	$r_2, Ом$	$r_3, Ом$	$r_4, Ом$	$r_5, Ом$	$r_6, Ом$	$r_7, Ом$	Схема
1	100	150	10	16	10	8	10	8	10	Рис. 14
2	150	100	5	20	5	15	15	8	10	Рис. 14
3	150	200	8	10	12	16	20	6	15	Рис. 14
4	200	150	8	10	2	6	10	6	8	Рис. 14
5	50	100	8	12	8	8	12	6	20	Рис. 15
6	100	50	5	15	10	10	8	4	15	Рис. 15
7	250	100	5	10	8	12	6	18	4	Рис. 15
8	100	250	10	5	12	9	8	6	15	Рис. 16
9	200	100	8	10	6	5	12	10	20	Рис. 16
10	100	200	20	6	10	8	5	6	8	Рис. 16
11	400	200	15	25	15	10	30	15	15	Рис. 16
12	200	100	12	20	10	25	15	10	30	Рис. 17
13	400	300	20	25	6	15	30	8	25	Рис. 17
14	300	400	35	10	20	40	15	10	25	Рис. 17
15	250	300	15	25	25	16	30	20	8	Рис. 18
16	300	250	20	15	20	30	10	15	5	Рис. 18
17	250	150	10	10	20	15	30	10	20	Рис. 18
18	150	250	15	25	15	5	30	20	5	Рис. 18
19	150	100	5	15	10	12	20	8	8	Рис. 19
20	200	100	10	15	8	4	15	5	20	Рис. 19
21	100	50	5	2	8	10	10	4	6	Рис. 19
22	400	200	16	10	6	30	12	5	8	Рис. 19
23	300	100	20	15	7	15	20	10	18	Рис. 20
24	80	240	16	7	10	25	8	15	18	Рис. 20
25	240	120	10	70	5	20	4	15	8	Рис. 20
26	350	100	5	20	15	18	6	20	28	Рис. 20
27	100	280	8	4	12	20	10	16	30	Рис. 20
28	50	200	14	8	20	16	8	30	10	Рис. 20
29	100	150	10	16	10	8	10	8	10	Рис. 21
30	150	100	5	20	5	15	15	8	10	Рис. 21
31	150	200	8	10	12	16	20	6	15	Рис. 21

№ варианта	$E_1, В$	$E_2, В$	$r_1, Ом$	$r_2, Ом$	$r_3, Ом$	$r_4, Ом$	$r_5, Ом$	$r_6, Ом$	$r_7, Ом$	Схема
32	200	150	8	10	2	6	10	6	8	Рис. 22
33	50	100	8	12	8	8	12	6	20	Рис. 22
34	100	50	5	15	10	10	8	4	15	Рис. 22
35	250	100	5	10	8	12	6	18	4	Рис. 23
36	100	250	10	5	12	9	8	6	15	Рис. 23
37	200	100	8	10	6	5	12	10	20	Рис. 23
38	100	200	20	6	10	8	15	6	8	Рис. 24
39	400	200	15	25	15	10	30	15	15	Рис. 24
40	200	400	12	20	10	25	15	10	30	Рис. 24
41	100	300	20	25	6	15	30	8	25	Рис. 21*
42	300	400	35	40	20	40	15	10	25	Рис. 21*
43	250	300	15	25	25	16	30	20	8	Рис. 22*
44	300	250	20	15	20	30	10	15	5	Рис. 22*
45	250	150	10	10	20	15	30	10	20	Рис. 23*
46	150	250	15	25	15	5	30	20	5	Рис. 23*
47	150	100	5	15	10	12	20	8	8	Рис. 24*
48	200	100	10	15	8	4	15	5	20	Рис. 24*

*В данных вариантах изменено направление ЭДС – E_2 .

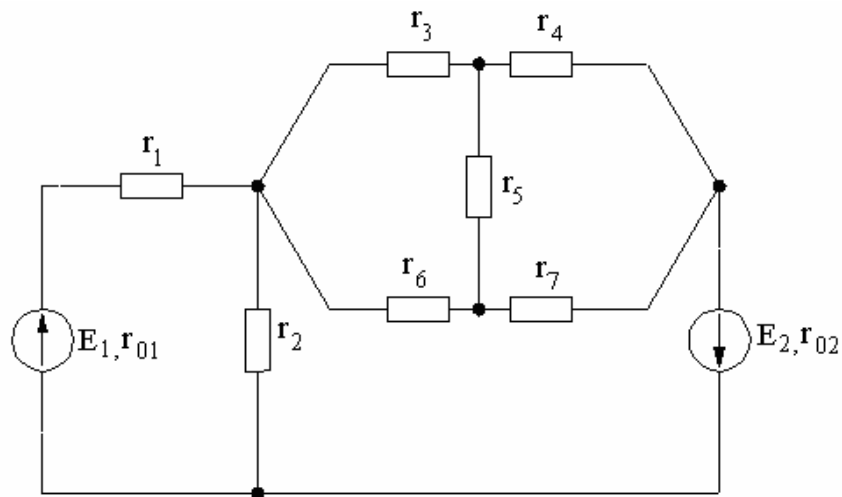


Рис. 14

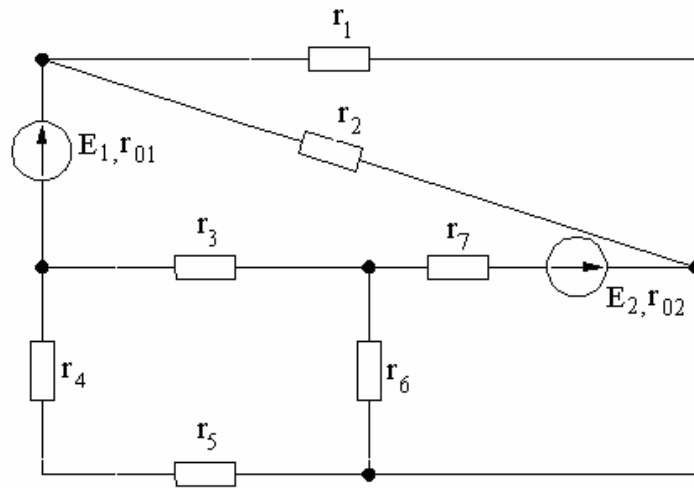


Рис. 15

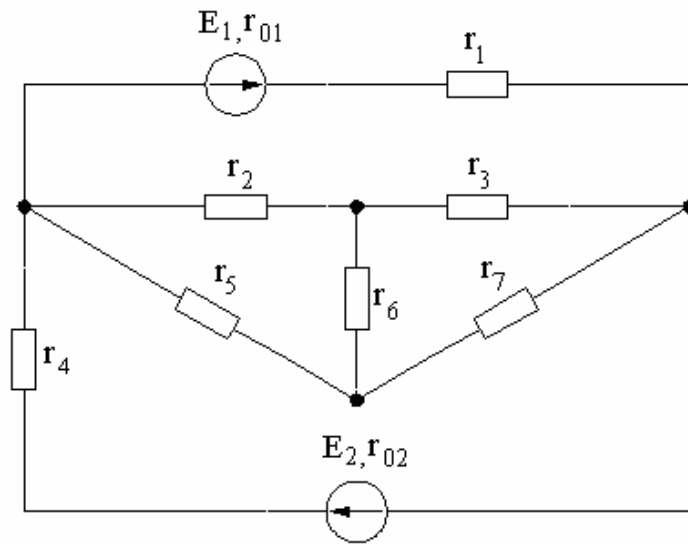


Рис. 16

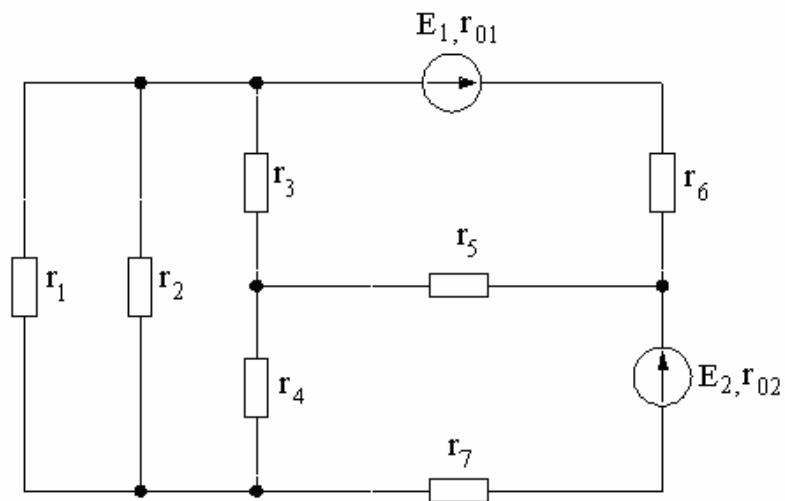


Рис. 17

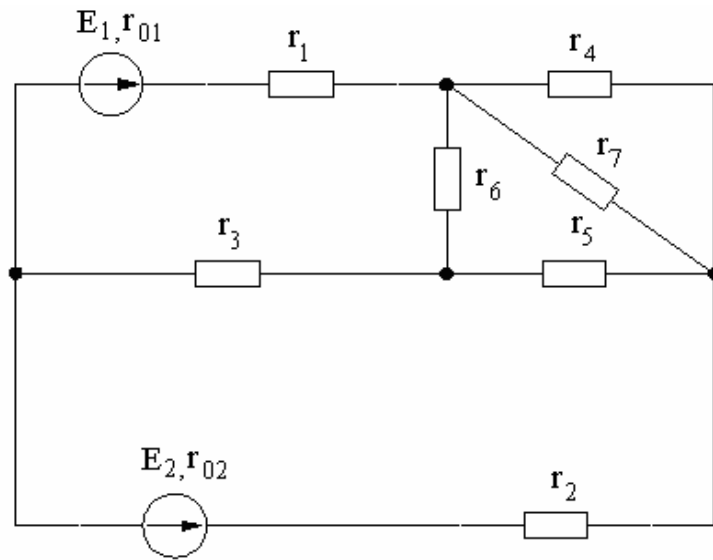


Рис. 18

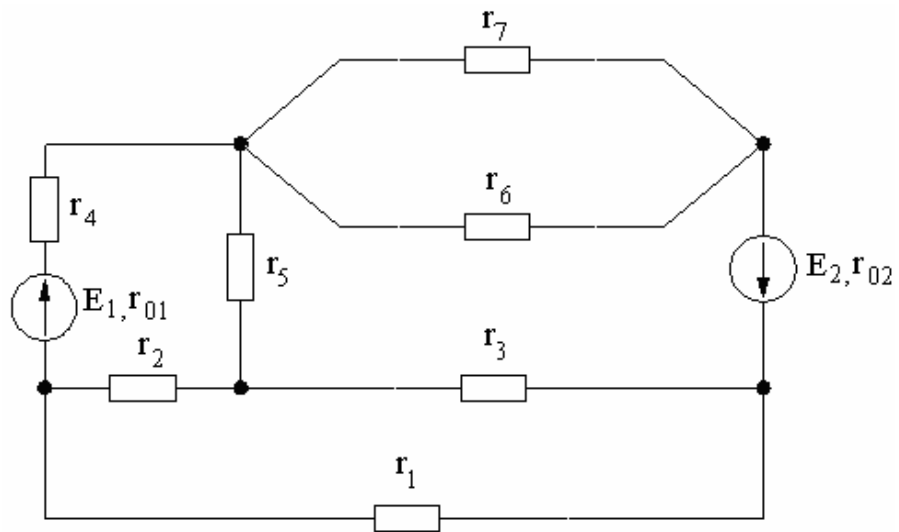


Рис. 19

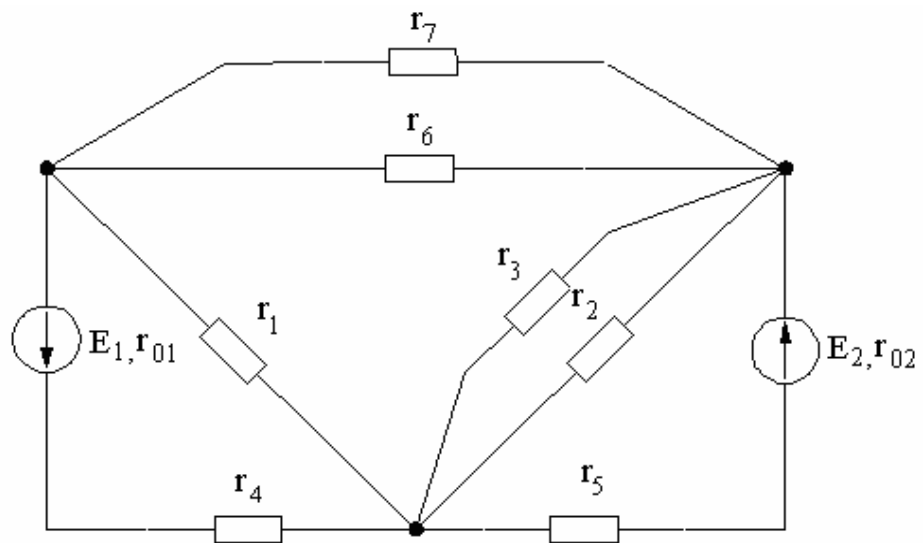


Рис. 20

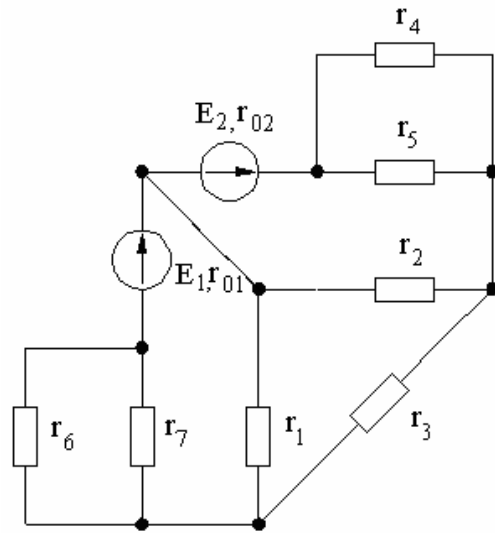


Рис. 21

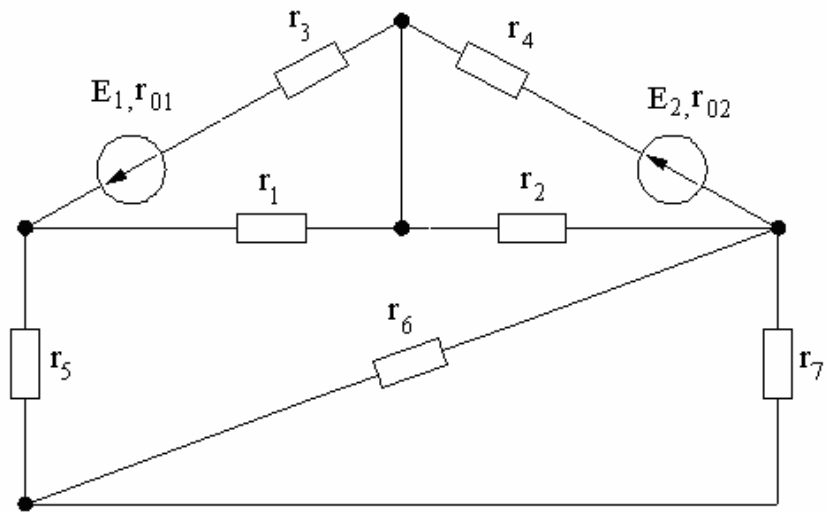


Рис. 22

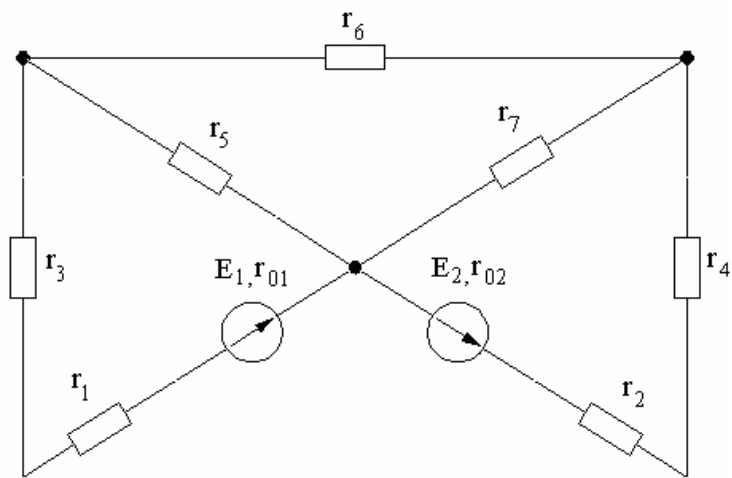


Рис. 23

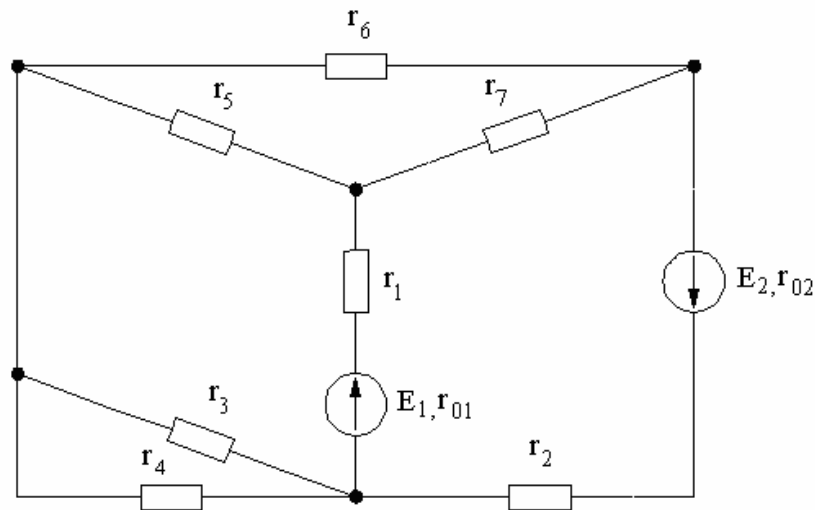


Рис. 24

ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ 1

Для заданной электрической цепи (рис. 25) рассчитать величины токов и найти их направления, составить и решить уравнение баланса мощностей цепи.

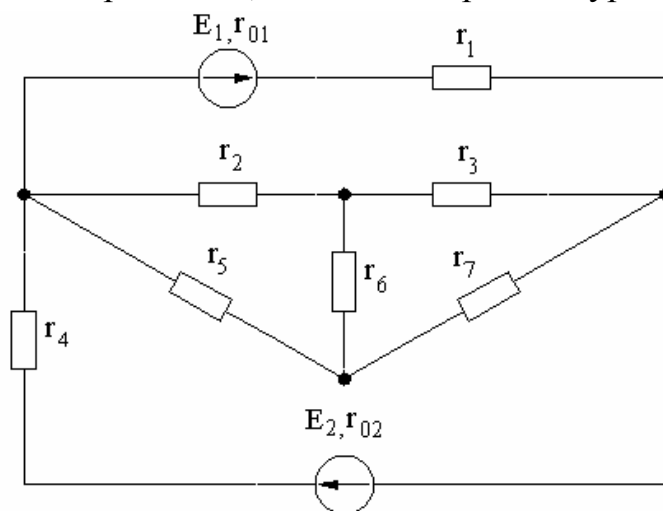


Рис. 25

Дано:

$$E_1 = 100 \text{ В};$$

$$E_2 = 250 \text{ В};$$

$$r_1 = 10 \text{ Ом};$$

$$r_2 = 5 \text{ Ом};$$

$$r_3 = 12 \text{ Ом};$$

$$r_4 = 9 \text{ Ом};$$

$$r_5 = 8 \text{ Ом};$$

$$r_6 = 6 \text{ Ом};$$

$$r_7 = 15 \text{ Ом};$$

$$r_{01} = r_{02} = 1 \text{ Ом}.$$

Преобразуем треугольник ABC в звезду (рис. 26):

$$\sum R_{\Delta} = r_2 + r_5 + r_6 = 5 + 8 + 6 = 19 \text{ Ом};$$

$$R_A = \frac{r_2 \cdot r_5}{\sum R_{\Delta}} = \frac{5 \cdot 8}{19} = 2,1 \text{ Ом}; \quad R_B = \frac{r_2 \cdot r_6}{\sum R_{\Delta}} = \frac{5 \cdot 6}{19} = 1,58 \text{ Ом};$$

$$R_C = \frac{r_5 \cdot r_6}{\sum R_{\Delta}} = \frac{8 \cdot 6}{19} = 2,53 \text{ Ом}.$$

Так как R_B и r_3 , R_C и r_7 соединены последовательно (рис. 27), то

$$R_{B3} = R_B + r_3 = 1,58 + 12 = 13,58 \text{ Ом}; \quad R_{C7} = R_C + r_7 = 2,53 + 15 = 17,53 \text{ Ом}.$$

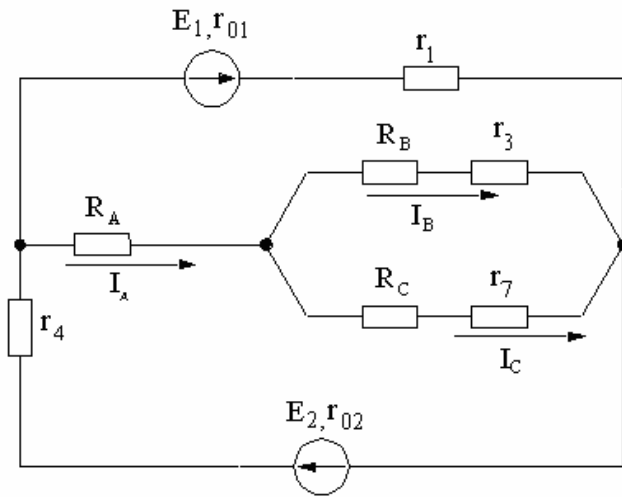


Рис. 26

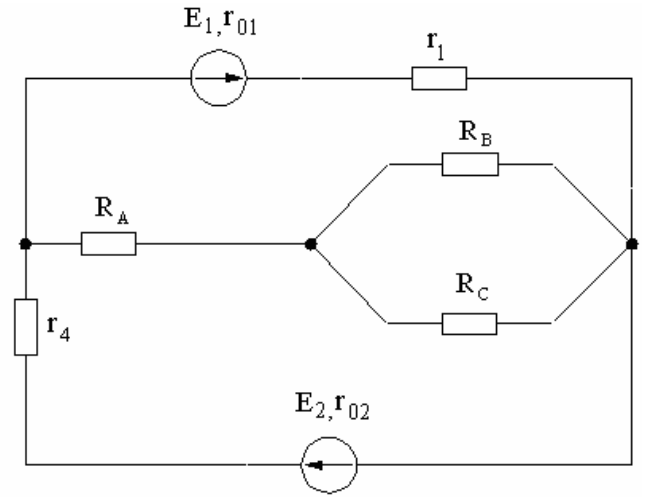


Рис. 27

Так как R_{B3} и R_{C7} соединены параллельно (рис. 28), то

$$R_{B3C7} = \frac{R_{B3} \cdot R_{C7}}{R_{B3} + R_{C7}} = \frac{13,58 \cdot 17,53}{113,58 + 17,53} = 7,65 \text{ Ом.}$$

Так как R_A и R_{B3C7} соединены последовательно (рис. 29), то

$$R_{AB3C7} = R_A + R_{B3C7} = 2,1 + 7,65 = 9,75 \text{ Ом.}$$

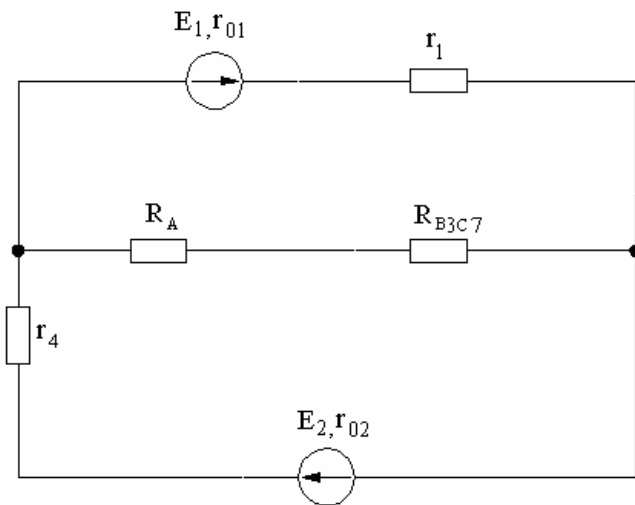


Рис. 28

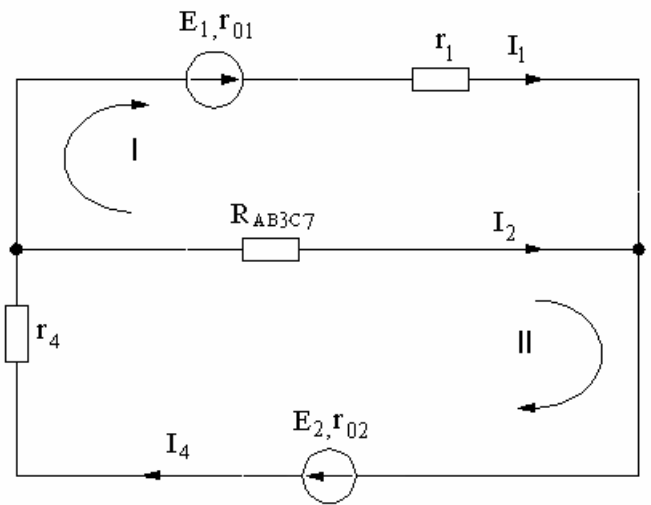


Рис. 29

Составляем систему уравнений по I и II законам Кирхгофа:

$$I_1 + I_2 - I_4 = 0;$$

$$E_1 = I_1(r_{01} + r_1) + I_2 R_{AB3C7};$$

$$E_2 = I_4(r_{01} + r_4) + I_2 R_{AB3C7};$$

$$I_4 = I_1 + I_2;$$

$$E_1 = I_1 \cdot 11 - I_2 \cdot 9,75;$$

$$E_2 = (I_1 + I_2) \cdot 10 + I_2 \cdot 9;$$

$$I_1 = \frac{E_1 + I_2 \cdot 9,75}{11};$$

$$E_2 = 10 \cdot I_1 + 19,75 \cdot I_2 = 10 \cdot \left(\frac{E_1 + I_2 \cdot 9,75}{11} \right) + 19,75 \cdot I_2;$$

$$250 = 90,9 + 8,86 \cdot I_2 + 19,75 \cdot I_2;$$

$$250 = 90,9 + 28,61 \cdot I_2;$$

$$I_2 = \frac{250 - 90,9}{28,61} = 5,56 \text{ A};$$

$$I_1 = \frac{100 + 5,56 \cdot 9,75}{11} = 14,02 \text{ A};$$

$$I_4 = 14,02 + 5,56 = 19,58 \text{ A}.$$

Баланс мощностей:

$$\sum E_k I_k = \sum (I_k)^2 R_k;$$

$$E_1 I_1 + E_2 I_2 = (I_1)^2 (r_{01} + r_1) + (I_2)^2 R_{AB3C7} + (I_4)^2 (r_{02} + r_4);$$

$$100 \cdot 14,02 + 250 \cdot 19,58 = 14,02^2 (1 + 10) + 5,56^2 \cdot 9,57 + 19,58^2 (1 + 9);$$

$$6297 = 6297,32;$$

$$\delta = \frac{6297,32 - 6297}{6297,32} \cdot 100\% = 0,005\% < 2\%;$$

$$I_{AB3C7} = I_2 = 5,56 \text{ A};$$

$$I_A = I_{B3C7} = I_{AB3C7} = 5,56 \text{ A};$$

$$U_{B3C7} = I_{B3C7} \cdot R_{B3C7} = 5,56 \cdot 7,65 = 42,53 \text{ B};$$

$$U_{B3C7} = U_{B3} = U_{C7} = 42,53 \text{ B};$$

$$I_{B3} = \frac{U_{B3}}{R_{B3}} = \frac{42,53}{13,58} = 3,13 \text{ A};$$

$$I_{C7} = \frac{U_{C7}}{R_{C7}} = \frac{42,53}{17,53} = 2,43 \text{ A};$$

$$I_B = I_3 = I_{B3} = 3,13 \text{ A};$$

$$I_C = I_7 = I_{C7} = 2,43 \text{ A}.$$

Напряжения на сопротивлениях:

$$U_{AO} = I_A R_A = 5,56 \cdot 2,1 = 11,68 \text{ B};$$

$$U_{BO} = I_B R_B = 3,13 \cdot 1,58 = 4,96 \text{ В};$$

$$U_{CO} = I_C R_C = 2,43 \cdot 2,53 = 6,15 \text{ В}.$$

Так как напряжения U_{AO} и U_{BO} направлены согласно, то

$$U_{AB} = U_{AO} + U_{BO} = 11,68 + 4,96 = 16,64 \text{ В}.$$

Так как напряжения U_{BO} и U_{CO} направлены встречно, то

$$U_{BC} = U_{CO} - U_{BO} = 6,15 - 4,96 = 1,19 \text{ В}.$$

Так как напряжения U_{AO} и U_{CO} направлены согласно, то

$$U_{AC} = U_{AO} + U_{CO} = 11,68 + 6,15 = 17,83 \text{ В}.$$

Найдём сопротивления:

$$R_{AB} = r_2 = 5 \text{ Ом}; \quad R_{BC} = r_6 = 6 \text{ Ом}; \quad R_{AC} = r_5 = 8 \text{ Ом}.$$

Вычисляем токи по закону Ома:

$$I_{AB} = \frac{U_{AB}}{R_{AB}} = \frac{16,67}{5} = 3,33 \text{ А}; \quad I_{AB} = I_2 = 3,33 \text{ А};$$

$$I_{BC} = \frac{U_{BC}}{R_{BC}} = \frac{1,19}{6} = 0,2 \text{ А}; \quad I_{BC} = I_6 = 0,2 \text{ А};$$

$$I_{AC} = \frac{U_{AC}}{R_{AC}} = \frac{17,83}{8} = 2,23 \text{ А}; \quad I_{AC} = I_5 = 2,23 \text{ А}.$$

Для проверки правильности расчётов составляем последний полный баланс мощностей

$$\begin{aligned} \sum E_k I_k &= \sum (I_k)^2 R_k; \\ E_1 I_1 + E_2 I_2 &= (I_1)^2 (r_{01} + r_1) + (I_2)^2 r_2 + (I_3)^2 r_3 + (I_4)^2 (r_{02} + r_4) + (I_5)^2 r_5 + (I_6)^2 r_6 + (I_7)^2 r_7; \\ 100 \cdot 14,02 + 250 \cdot 19,58 &= 14,02^2 \cdot 11 + 3,33^2 \cdot 5 + 3,13^2 \cdot 12 + 19,58^2 \cdot 10 + \\ &+ 2,23^2 \cdot 8 + 0,2^2 \cdot 6 + 2,43^2 \cdot 15 \\ 6297 &= 6297,5; \\ \delta &= \frac{6297,5 - 6297}{6297,5} \cdot 100\% = 0,008\% < 2\%. \end{aligned}$$

Ответ: $I_1 = 14,02 \text{ А}; \quad I_2 = 3,33 \text{ А}; \quad I_3 = 3,13 \text{ А}; \quad I_4 = 19,58 \text{ А}; \quad I_5 = 2,23 \text{ А};$
 $I_6 = 0,2 \text{ А}; \quad I_7 = 2,43 \text{ А}.$

Задание 2. РАСЧЕТ ГЕНЕРАТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

Генератор (рис. 30) имеет параметры: номинальную мощность P_H , номинальное напряжение U_H , число оборотов n_H , сопротивление обмотки якоря $r_я$, обмотки возбуждения $r_в$. Определить ток нагрузки I_H , возбуждения $I_в$, КПД, ЭДС.

Варианты задания 2 приведены в табл. 2

Таблица 2

№ варианта	P_H , кВт	U_H , В	n_H , об/мин	$r_я$, Ом	$r_в$, Ом	$P_{пот}$, %
1	16	220	1000	0,45	110	4,2
2	14	220	1000	0,7	105	4,1
3	24	220	1000	0,66	110	4,9
4	14	230	1000	0,5	115	5,1
5	20	230	1000	0,7	120	5
6	21	230	1500	0,74	110	4
7	18	220	1500	0,62	100	4,3
8	22	230	1500	0,59	105	4,4
9	15	220	1500	0,48	120	5
10	21	210	1500	0,45	110	5
11	18	230	2000	0,4	115	4,3
12	20	220	2000	0,5	100	5
13	16	230	2000	0,44	110	5
14	25	230	2000	0,6	100	4,1
15	22	220	2000	0,7	110	4
16	14	210	2500	0,69	100	3,9
17	20	210	2500	0,55	115	4
18	22	230	2500	0,4	105	4,5
19	21	220	2500	0,7	105	5,1
20	15	220	2500	0,49	115	4,9
21	14	230	3000	0,45	110	4,1
22	14	210	3000	0,61	115	4,8
23	15	220	3000	0,55	115	4,7
24	14	230	3000	0,48	110	3,9
25	21	220	3000	0,62	100	4
26	20	220	3500	0,71	105	4
27	18	230	3500	0,57	100	4,2
28	14	220	3500	0,45	105	5
29	20	210	3500	0,69	110	5
30	16	210	3500	0,73	110	4,9
31	17	210	4000	0,7	110	3,9
32	21	230	4000	0,42	115	4
33	15	230	4000	0,58	120	5

№ варианта	P_{H1} , кВт	U_H , В	n_H , об/мин	$r_{я}$, Ом	r_B , Ом	$P_{пот}$, %
34	22	210	4000	0,6	115	5,1
35	16	220	4000	0,53	120	4,2
36	23	220	4500	0,7	105	4,1
37	18	210	4500	0,4	110	4
38	20	210	4500	0,46	115	5
39	22	230	4500	0,55	120	5,1
40	20	230	4500	0,6	120	4,6

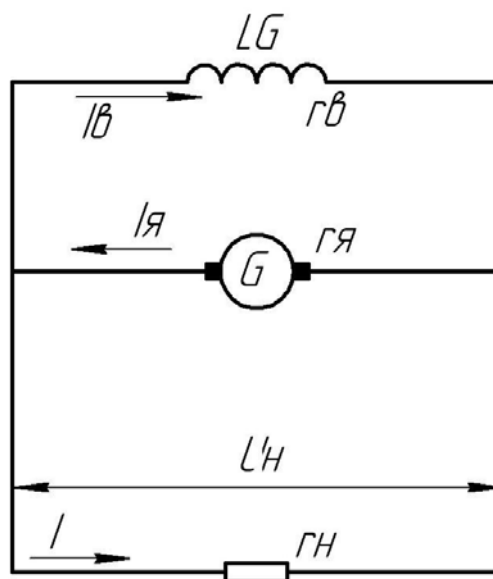


Рис. 30

ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ 2

Исходные данные приведены в табл. 3.

Таблица 3

P_H , кВт	U_H , В	n_H , об/мин	$r_{я}$, Ом	r_B , Ом	$P_{пот}$, %
25	230	2000	0,6	1000	4

Определить: ток нагрузки I_H , ток возбуждения I_B , КПД, ЭДС.

1. Найдём ток возбуждения:

$$I_B = U_H / r_B = 230 / 1000 = 0,23 \text{ А.}$$

2. Найдём КПД генератора:

$$\eta = (100 - P_{пот}) / 100 = (100 - 4) / 100 = 0,96.$$

3. Найдём ток нагрузки:

$$I_H = P_H / (\eta \cdot U_H) = 25 \cdot 10^3 / (0,96 \cdot 230) = 113,22 \text{ A}$$

4. Найдём ток якоря:

$$I_{\text{я}} = I_H + I_B \text{ (по первому закону Киргофа);}$$

$$I_{\text{я}} = 113,22 + 0,23 = 113,45 \text{ A}$$

5. Найдём ЭДС:

$$E = U_H + I_{\text{я}} \cdot r_{\text{я}}$$

$$E = 230 + 113,45 \cdot 0,6 = 298,07 \text{ В}$$

Таким образом, получается: $I_H=113,22\text{A}$, $I_B= 0,23\text{A}$, КПД (η)=0,96, $E=298,07 \text{ В}$.

Задание 3. РАСЧЕТ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

1. Привести паспортные данные двигателя (рис. 31).
2. Определить схему включения двигателя.
3. Определить число пар полюсов и частоту вращения магнитного поля.
4. Вычислить мощность, потребляемую из сети в номинальном режиме, номинальный I_H и $I_{\text{пуск}}$ пусковой токи двигателя
5. По паспортным данным построить естественную механическую характеристику двигателя
6. Построить искусственную механическую характеристику для пониженного на 10% напряжения источника питания.
7. Привести принципиальную схему автоматического пуска и остановки двигателя с использованием любого из способов торможения.

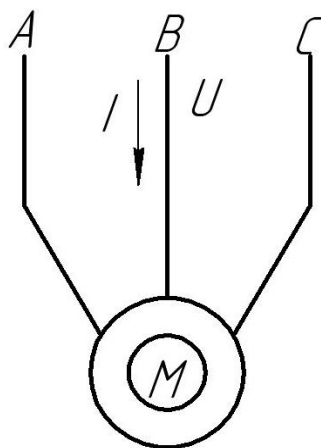


Рис. 31

Варианты задания 3 приведены в табл. 4.

Линейное напряжение сети $U_H=220$ В для нечётных, $U_H=380$ для четных вариантов.

Таблица 4

№ вар.	Тип двигателя	P_H , кВт	n_H , об/мин	η_H , %	$\cos\varphi_H$	$M_{\text{пуск}}/M_H$	$\lambda=M_{\text{MAX}}/M_H$	$I_{\text{пуск}}/I_H$
1	A2-62-2	17	2900	88	0,88	1,2	2,2	7
2	A2-62-2	22	2900	89	0,88	1,1	2,2	7
3	A2-71-2	30	2900	90	0,9	1,1	2,2	7
4	A2-72-2	40	2900	90,5	0,9	1,0	2,2	7
5	A2-81-2	55	2900	91	0,9	1,0	2,2	7
6	A2-82-2	72	2900	92	0,9	1,0	2,2	7
7	A2-91-2	100	2900	93	0,9	1,0	2,2	7
8	A2-92-2	125	2900	94	0,9	1,0	2,2	7
9	A2-61-4	13	1450	88,05	0,88	1,5	2,0	7
10	A2-62-4	17	1450	89,5	0,88	1,2	2,0	7
11	A2-71-4	22	1455	90	0,88	1,1	2,0	7
12	A2-72-4	30	1455	90,5	0,88	1,1	2,0	7
13	A2-81-4	40	1460	91	0,89	1,0	2,0	7
14	A2-82-4	55	1460	92	0,89	1,0	2,0	7
15	A2-91-4	72	1470	93	0,89	1,0	2,0	7
16	A2-92-4	100	1470	93,5	0,9	1,2	2,0	7
17	A2-61-6	10	965	87	0,86	1,2	1,8	7
18	A2-62-6	13	965	88	0,86	1,2	1,8	7
19	A2-71-6	17	965	89	0,87	1,2	1,8	7
20	A2-72-6	22	965	89,5	0,87	1,1	1,8	7
21	A2-81-6	30	970	90	0,88	1,1	1,8	7
22	A2-82-6	40	970	91	0,89	1,1	1,8	7
23	A2-91-6	55	980	92	0,89	1,1	1,8	7
24	A2-92-6	75	980	92,5	0,89	1,2	1,8	6
25	A2-61-8	7,5	725	85	0,78	1,2	1,7	7
26	A2-62-8	10	725	87	0,81	1,1	1,7	7
27	A2-71-8	13	725	87,5	0,82	1,1	1,7	7
28	A2-72-8	17	725	88,5	0,82	1,1	1,7	7
29	A2-81-8	22	725	89	0,82	1,1	1,7	7
30	A2-82-8	30	725	90	0,84	1,1	1,7	7
31	A2-92-8	40	730	91,5	0,84	1,1	1,7	7
32	A2-92-8	55	2900	92	0,87	1,1	1,7	7
33	A02-11-2	0,8	2900	78	0,86	1,9	2,2	7
34	A02-12-2	1,1	2900	79,5	0,87	1,9	2,2	7
35	A02-21-2	1,5	2900	80,5	0,88	1,8	2,2	7

№ вар.	Тип двигателя	P_H , кВт	n_H , об/мин	η_H , %	$\cos\varphi_H$	$M_{\text{ПУСК}}/M_H$	$\lambda=M_{\text{MAX}}/M_H$	$I_{\text{ПУСК}}/I_H$
36	A02-22-2	2,2	2900	83	0,89	1,7	2,2	7
37	A02-31-2	3,0	2900	84,5	0,89	1,7	2,2	7
38	A02-32-2	4,0	2900	85,5	0,89	1,6	2,2	7
39	A02-41-2	5,5	2900	87	0,90	1,6	2,2	7
40	A02-42-2	7,5	2900	88	0,91	1,5	2,2	7
41	A02-51-2	10	2900	88	0,89	1,5	2,2	7
42	A02-52-2	13	2900	88,5	0,9	1,2	2,2	7
43	A02-62-2	27	2900	87	0,9	1,2	2,2	7
44	A02-71-2	22	2900	88	0,9	1,1	2,2	7
45	A02-72-2	30	2900	89	0,9	1,1	2,2	7
46	A02-81-2	40	2900	89	0,91	1,0	2,2	7
47	A02-82-2	55	2900	90	0,92	1,0	2,2	7
48	A02-92-2	100	2900	91,5	0,92	1,0	2,2	7

ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ 3

Исходные данные приведены в табл. 5.

Таблица 5

Тип	P_H	n_H	η_H	$\cos\varphi_H$	$M_{\text{ПУСК}}/M_H$	$\lambda=M_{\text{max}}/M_H$	$I_{\text{ПУСК}}/I_H$
A2-72-2	40 кВт	2900 об/мин	90,5%	0,9	1,0	2,2	7

Линейное напряжение сети $U_H = 380$ В.

1. Найдем потребляемую мощность двигателя:

$$P_{\text{пот}} = P_H / \eta_H = 40 / 0,905 = 44,20 \text{ кВт.}$$

2. Найдем число пар полюсов:

При $n_H = 2900$ об/мин $n_0 = 3000$ об/мин;

$$n_H = 60 \cdot f / P \Rightarrow P = 60 \cdot f / n_0 = 60 \cdot 50 / 3000 = 1 \text{ пара.}$$

3. Найдем ток номинальный:

$$I_H = \frac{P_{\text{пот}}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi} = \frac{44,20 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,9} = 74,62 \text{ А.}$$

4. Найдем ток пусковой:

$$I_{\text{пуск}} = 7 \cdot I_{\text{н}} = 7 \cdot 74,62 = 522,32 \text{ А.}$$

5. Найдем номинальную мощность:

$$P_{\text{н}} = M_{\text{н}} \cdot n_{\text{н}} / 9550 \Rightarrow M_{\text{н}} = 9550 \cdot 40 / 2900 = 131,72 \text{ Нм};$$

$$M_{\text{max}} = 2,2 \cdot 131,72 = 289,79 \text{ Нм.}$$

6. Найдем скольжение номинальное:

$$S_{\text{н}} = (n_0 - n_{\text{н}}) / n_0 = (3000 - 2900) / 3000 = 0,033;$$

$$S_{\text{кр}} = S_{\text{н}} \cdot (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0,033(2,2 + \sqrt{2,2^2 - 1}) = 0,137.$$

7. Найдем скольжение:

$$S = (n_0 - n_{\text{н}}) / n_0 \Rightarrow n_{\text{н}} = n_0 \cdot (1 - S); \quad (1)$$

8. Найдем момент номинальный:

$$M_{\text{н}} = 9550 P_{\text{н}} / n_{\text{н}}; \quad (2)$$

9. Найдем кратность пускового момента:

$$\frac{M}{M_{\text{н}}} = \frac{2M_{\text{max}} / M_{\text{н}}}{S / S_{\text{кр}} + S_{\text{кр}} / S} \text{ — формула Киосса}; \quad (3)$$

$$\frac{M}{M_{\text{н}}} = KU_{\text{н}}^2; \quad U = 0,9 \cdot U_{\text{н}}. \quad (4)$$

На основании (1) – (4) из условия $0 < S < S_{\text{кр}}$ получим таблицу естественных и искусственных характеристик $n = f(M/M_{\text{н}})$, $n = f(M'/M_{\text{н}})$ (табл. 6).

Таблица 6

Характеристика	Значения						
	0	0,015	0,033	0,075	0,100	0,137	1,00
S	0	0,015	0,033	0,075	0,100	0,137	1,00
n, об/мин	3000	2955	2900	2775	2700	2589	0
M/M _н	0	0,48	1,00	1,85	2,10	2,2	1,0
M'/M _н	0	0,39	0,81	1,50	1,70	1,78	0,81

ЗАДАЧИ

Линейные электрические цепи постоянного тока

1. Для цепи (рис. 32) найти эквивалентное сопротивление между зажимами а и b, с и d, d и f, если $z_1=6 \text{ Ом}$; $z_2=5 \text{ Ом}$; $z_3=15 \text{ Ом}$; $z_4=30 \text{ Ом}$; $z_5=6 \text{ Ом}$.

2. Определить напряжение между точками а и b (рис. 33), если $E_1=40$ В, $E_2=10$ В, $r_1=5$ Ом, $r_2=5$ Ом.

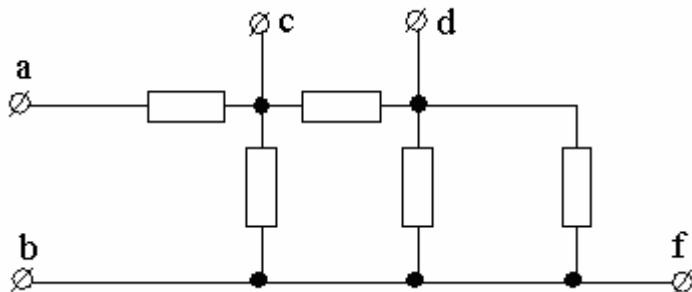


Рис. 32

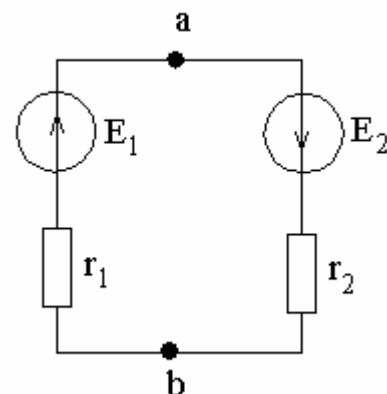


Рис. 33

3. Определить мощность источников (рис. 34), если $E_1=120$ В, $J_2=5$ А, $r_1=12$ Ом, $r_2=8$ Ом.

4. В предыдущей задаче заменить источник тока на источник напряжения и определить его мощность.

5. Определить напряжение U_{ab} , если $E_3=100$ В, $J_1=5$ А, $r_1= r_2=10$ Ом (рис. 35).

6. Определить ток I_{mn} , если $E_1=20$ В, $J_3=10$ А, $r_1= r_2=10$ Ом (рис. 36).

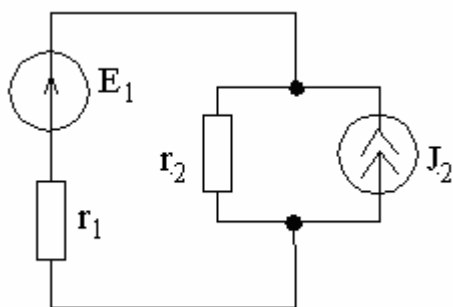


Рис. 34

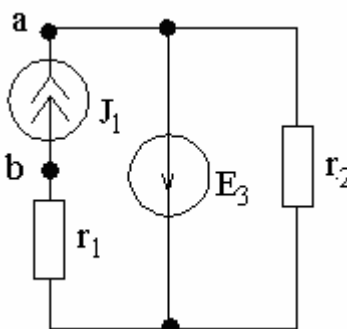


Рис. 35

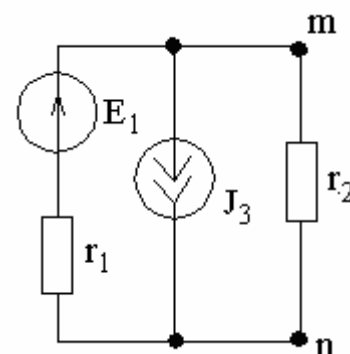


Рис. 36

7. Найти токи в ветвях цепи и напряжение между точками а и b при разомкнутом и замкнутом ключе, если $r_1= r_2=r_4=25$ Ом, $r_3= 50$ Ом, приложенное напряжение $U=120$ В (рис. 37).

8. Найти токи во всех ветвях цепи (рис. 38) и сделать проверку по балансу мощностей, если $r_1 =6$ Ом, $r_2= r_3=r_4=2$ Ом, $r_5=3$ Ом, $r_6=6$ Ом; $J=11$ А.

9. Найти токи в ветвях цепи (рис. 39), если $r_{12} =20$ Ом, $r_{13} =30$ Ом, $r_{23} =50$ Ом, $r_{24} =40$ Ом, $r_{34} =10$ Ом, приложенное напряжение $U=10$ В.

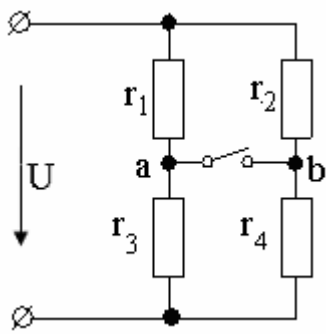


Рис. 37

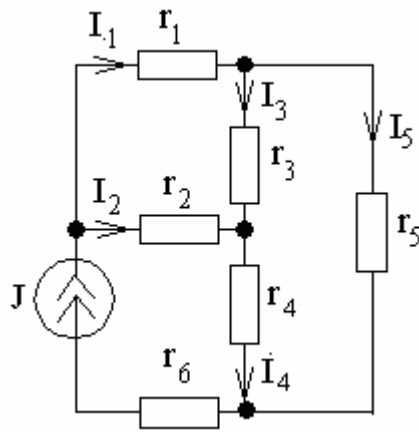


Рис. 38

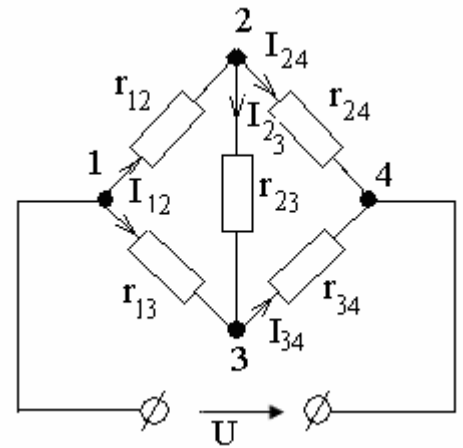


Рис. 39

10. Цепь (рис. 40) содержит идеальный источник тока $J=1$ А и источник ЭДС $E_1=50$ В, $E_2=100$ В, сопротивления $r_1 = r_2 = 10$ Ом. Определить все токи и составить баланс мощностей для цепи.

11. Найти токи во всех ветвях цепи (рис. 41) и сделать проверку по балансу мощностей, если $J_1=10$ А, $J_2=20$ А, $E_3=30$ В, $E_4=40$ В, $r_1 = 2$ Ом, $r_2 = 1$ Ом, $r_3 = 3$ Ом, $r_4 = 4$ Ом, $r_5 = 5$ Ом.

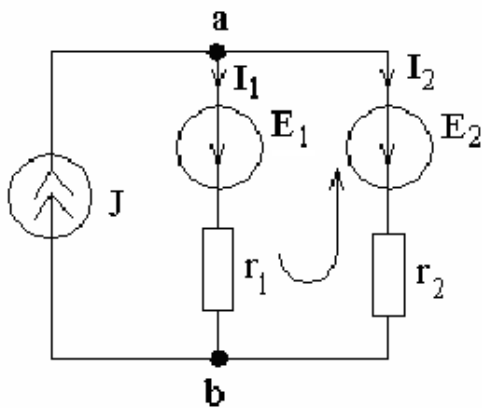


Рис. 40

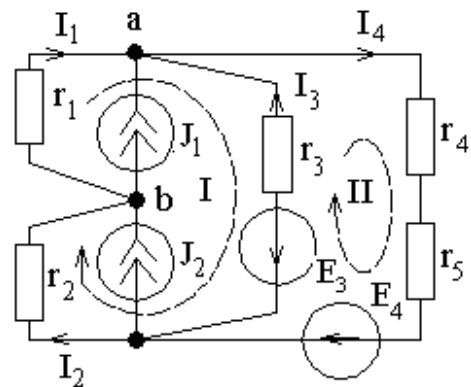


Рис. 41

12. Методом уравнений Кирхгофа найти токи в цепи (рис. 42), если $E_1=20$ В, $E_2=10$ В, $E_3=10$ В, $r_1 = 5$ Ом, $r_2 = 10$ Ом, $r_3 = 20$ Ом, $r_4 = 30$ Ом, $r_5 = 4$ Ом, $r_6 = 25$ Ом.

13. Методом контурных токов найти токи в цепи (рис. 43), если $E_1=24$ В, $E_2=12$ В, $J=2$ А, $r_1 = 6$ Ом, $r_2 = 3$ Ом, $r_3 = 6$ Ом, $r_4 = 12$ Ом, $r_5 = 4$ Ом.

14. Два источника тока $J_1=10$ А, $J_2=20$ А и два источника ЭДС $E_3=30$ В, $E_4=40$ В, включены в схему, содержащую сопротивления $r_1=2$ Ом, $r_2=1$ Ом, $r_3 = 3$ Ом, $r_4 = 4$ Ом, $r_5 = 5$ Ом (рис. 44). Вычислить все токи.

15. Определить мощность источника тока, отдаваемую в цепь, для которой $J_6=10$ А, $E_1=30$ В, $E_2=10$ В, $E_3=6$ В, $r_1=10$ Ом, $r_3=7$ Ом, $r_4=5$ Ом, $r_5=15$ Ом, $r_6=10$ Ом (рис. 45).

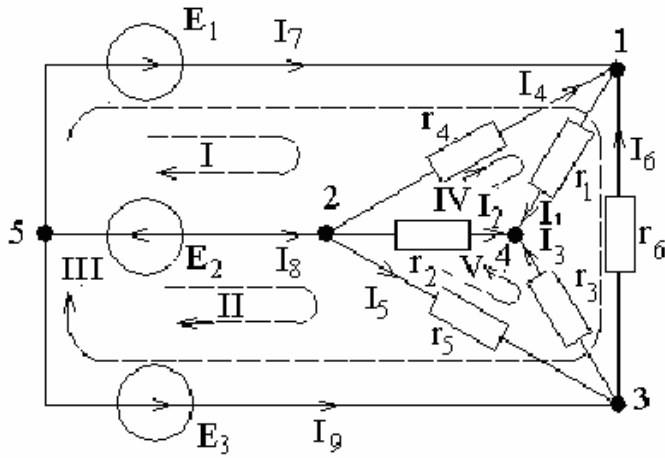


Рис. 42

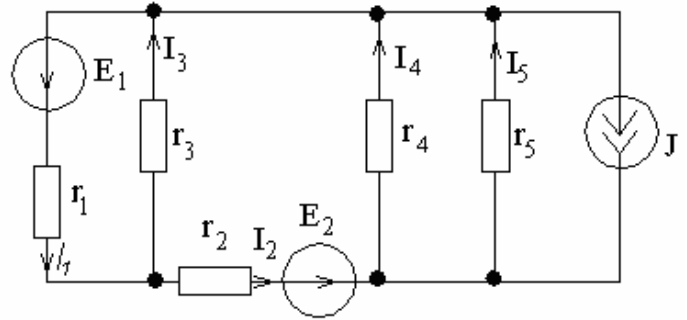


Рис. 43

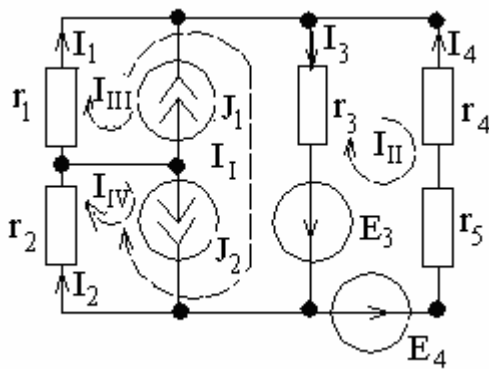
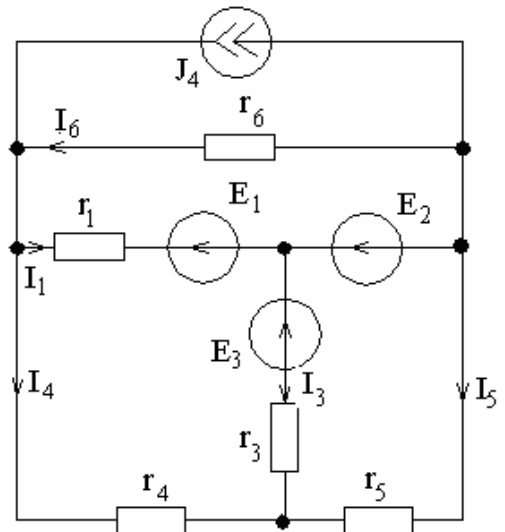


Рис. 44



16. Пользуясь методом узловых потенциалов определить все токи (рис. 46). $E_1=120$ В, $E_2=170$ В, $J_6=1,5$ А, $E_4=80$ В, $r_1=10$ Ом, $r_2=20$ Ом, $r_3=20$ Ом, $r_4=40$ Ом, $r_5=40$ Ом.

17. Найти все токи методом узловых потенциалов (рис. 47), если $J=5$ А, $E_1=100$ В, $E_2=200$ В, $r_1=10$ Ом, $r_2=5$ Ом, $r_3=3$ Ом, $r_4=7$ Ом, $r_5=3$ Ом, $r_6=2$ Ом.

18. Определить все токи в ветвях цепи (рис. 48), если $E_1=E_3=50$ В, $E_2=45$ В, $r_1=20$ Ом, $r_2=10$ Ом, $r_3=5$ Ом, $r_4=2$ Ом.

19. Решить задачу 12 методом узловых потенциалов.

20. Определить все токи в ветвях цепи методом наложения, если $J=5$ А, $E=20$ В, $r_1=2$ Ом, $r_2=3$ Ом (рис. 49). Составить баланс мощностей.

21. Определить все токи в ветвях цепи методом наложения, если $J=12$ А, $E=81$ В, $r_1=6$ Ом, $r_2=10$ Ом, $r_3=3$ Ом, $r_4=6$ Ом, $r_5=5$ Ом (рис. 50).

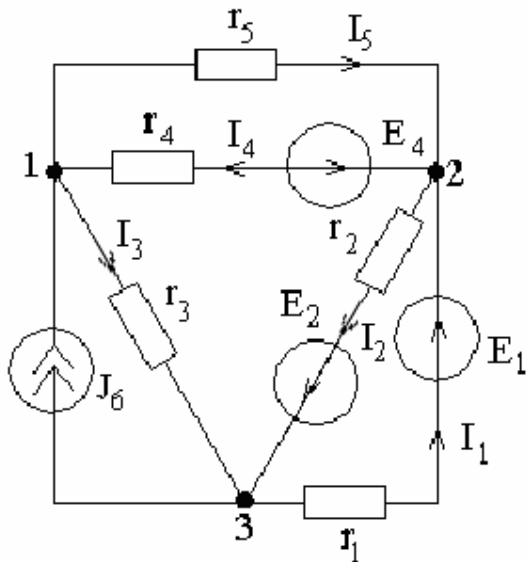


Рис. 46

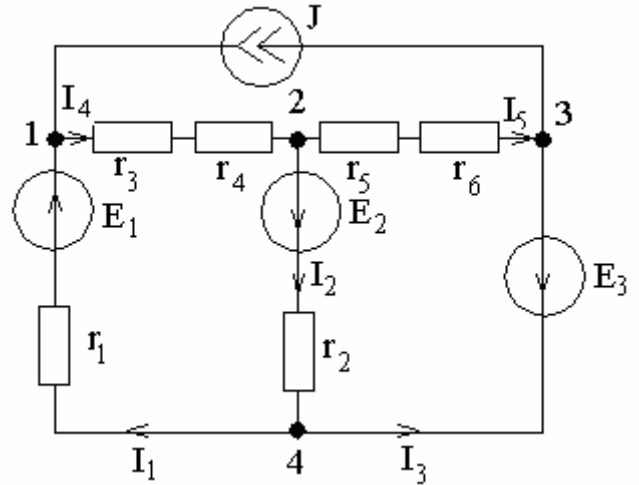


Рис. 47

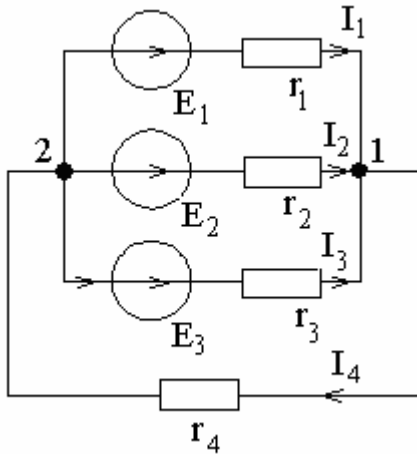


Рис. 48

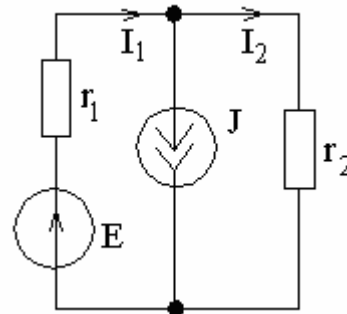


Рис. 49

22. Определить величину приложенного напряжения к цепи (рис. 51), чтобы мощность источника ЭДС была равна 200 Вт при $E=20$ В, $r_1=4$ Ом, $r_2=12$ Ом, $r_3=4$ Ом, $r_4=r_5=r_6=3$ Ом. Воспользоваться принципом наложения.

23. Найти ток в ветви с сопротивлением z_5 , применив принцип взаимности, если $E=30$ В, $r_1=6$ Ом, $r_2=4$ Ом, $r_3=8$ Ом, $r_4=r_5=2$ Ом (рис. 52).

24. Найти ток в ветви с сопротивлением R_H в предыдущей задаче.

25. Определить ток в диагонали моста (рис. 53), если $E=12$ В, $r_1=20$ Ом, $r_2=40$ Ом, $r_3=30$ Ом, $r_4=10$ Ом, $r_5=50$ Ом. Решать методом эквивалентного генератора.

26. В цепи с сопротивлениями $r_1=40$ Ом, $r_2=5$ Ом, $r_3=10$ Ом, $r_4=10$ Ом действуют источник тока $J_1=10$ А и источник ЭДС $E_3=100$ В (рис. 54). Определить мощность источника тока, пользуясь методом эквивалентного генератора.

27. Методом эквивалентного генератора найти ток в ветви с сопротивлением r_5 , если $J_1=10$ А, $J_2=25$ А, $E_3=50$ В, $r_1=8$ Ом, $r_2=2$ Ом, $r_3=4$ Ом, $r_4=6$ Ом, $r_5=1,8$ Ом (рис. 55).

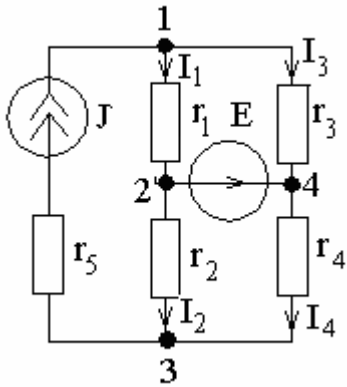


Рис. 50

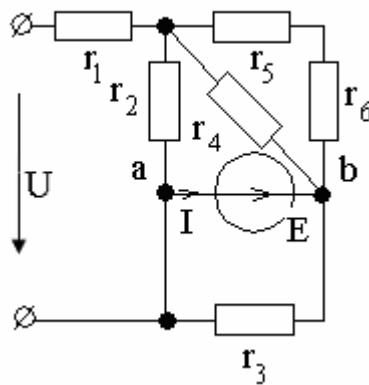


Рис. 51

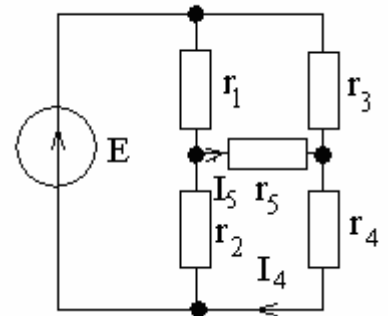


Рис. 52

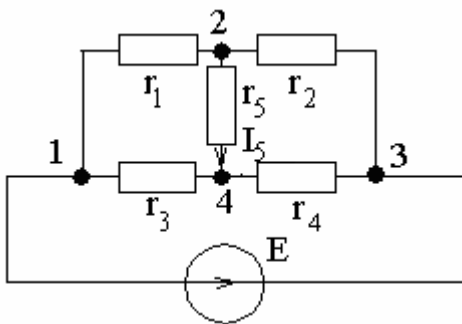


Рис. 53

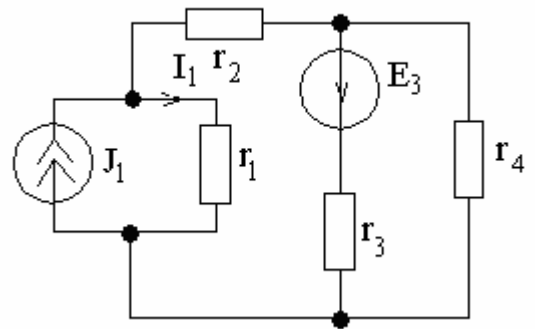


Рис. 54

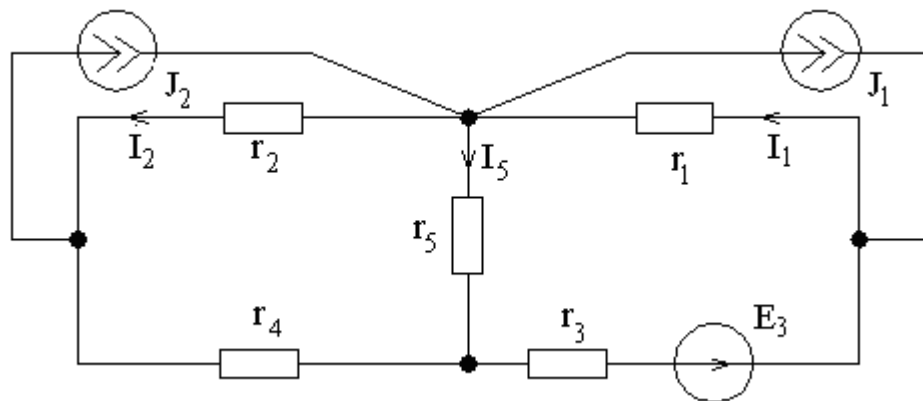


Рис. 55

28. Методом эквивалентного генератора найти ток в ветви с сопротивлением r_1 в задаче 27.

29. Методом эквивалентного генератора найти ток в ветви с сопротивлением r_2 в задаче 27.

Простейшие электрические цепи синусоидального тока

30. В ветви ab (рис. 56) напряжение $U=100\sin(314t+\pi/6)$ В, ток $i=5\sin(314t+\pi/12)$ А. Определить период, частоту и сдвиг фаз напряжения и тока.

31. Для предыдущей задачи построить кривые изменения тока и напряжения во времени и изображающие их векторы.

32. Напряжение в цепи $U=120\sqrt{2}\sin(314t+\pi/8)$ В, $L=0,05$ Г, $r=15,7$ Ом (рис. 57). Определить и построить мгновенные значения тока и напряжения на активном и индуктивном сопротивлениях. Построить векторную диаграмму.

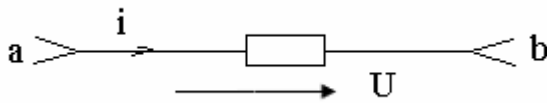


Рис. 56

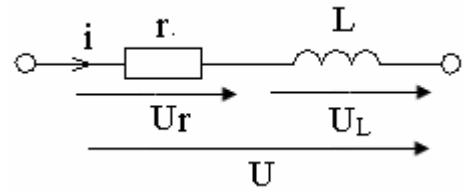


Рис. 57

33. Для предыдущей задачи определить активную, реактивную и полную мощности.

34. Напряжение в цепи $U=120\sqrt{2}\sin(314t)$ В, $r=30$ Ом, $C=106$ мкФ (рис. 58). Определить и построить мгновенные значения тока и напряжений на активном и емкостном сопротивлениях, также построить векторную диаграмму.

35. Для предыдущей задачи определить активную, реактивную и полную мощности.

36. К цепи, состоящей из последовательно соединенных катушки $r=20$ Ом, $L=200$ мГ и конденсатора $C=22$ мкФ, приложено синусоидальное напряжение $u=120\sqrt{2}\sin(\omega t-90^\circ)$ В (рис. 59). Определить действующие значения тока и напряжений на катушке и конденсаторе, построить векторную диаграмму и записать выражения для мгновенных значений напряжения на катушке и конденсаторе, тока и подводимой мощности. Найти потребляемую активную мощность.

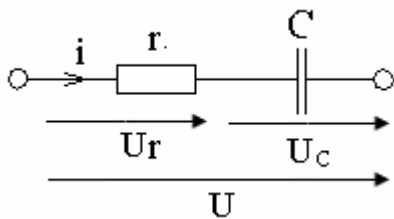


Рис. 58

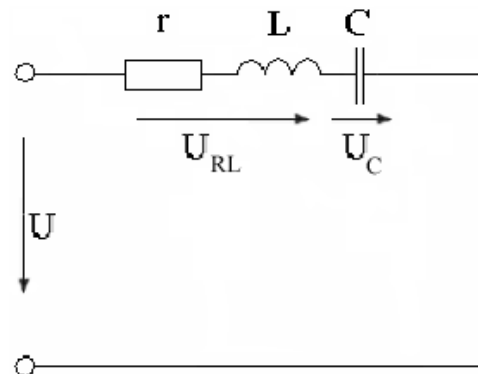


Рис. 59

37. В неразветвленном участке цепи, состоящей из параллельно соединенных активного сопротивления $r=40$ Ом, индуктивности $L=0,054$ Г, емкости $C=53$ мкФ ток $i=5\sqrt{2}\sin(\omega t)$ А (рис. 60). Определить действующие значения приложенного напряжения и токов в ветвях. Построить векторную диаграмму и записать выражения для мгновенных значений всех величин, а также мощности. Определить активную и реактивную мощности.

38. В цепи напряжение на конденсаторе $U_C=192\sqrt{2}\sin(314t)$ В, сопротивления элементов равны $r_1=28$ Ом, $r_2=50$ Ом, $C=33,17$ мкФ (рис. 61). Вычислить все токи и параметры эквивалентной схемы, состоящей из последовательно соединенных элементов. Написать выражения мгновенных значений токов, построить векторную диаграмму.

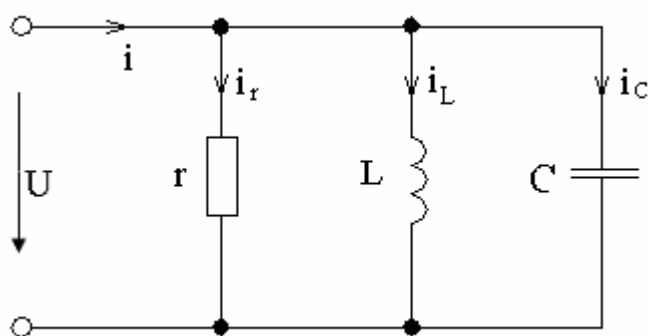


Рис. 60

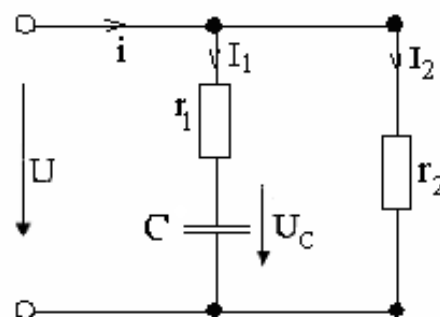


Рис. 61

39. Задана электрическая схема (рис. 62), в которой $r_1=6$ Ом, $r_2=4$ Ом, напряжение на зажимах всей цепи $U=120$ В, $x_L=x_C=40$ Ом. Определить токи I_1, I_2, I_3 . Записать выражения для мгновенных значений токов, построить векторную диаграмму.

40. Определить величину и характер реактивного сопротивления x_1 в цепи (см. рис. 62), если известно, что через него проходит ток $I_1=10$ А при напряжении, приложенном к цепи $U=120$ В и сопротивлениях $r_2=30$ Ом, $x_L=40$ Ом, $x_C=20$ Ом. Построить векторную диаграмму.

41. Две параллельные ветви, сопротивления которых $r_1=8$ Ом, $x_L=6$ Ом, $r_2=12$ Ом, $x_C=5$ Ом, присоединены к источнику напряжения $U=130$ В (рис. 63). Определить активные и реактивные мощности каждой ветви и всей цепи. Построить топографическую векторную диаграмму.

42. В схеме из двух параллельных ветвей (рис. 64) известны токи $I=6,5$ А, $I_1=3,5$ А, $I_2=4$ А, при $r_2=30$ Ом. Определить мощность, расходуемую в первой ветви, и найти ее параметры (r_1, L_1) Построить векторную диаграмму.

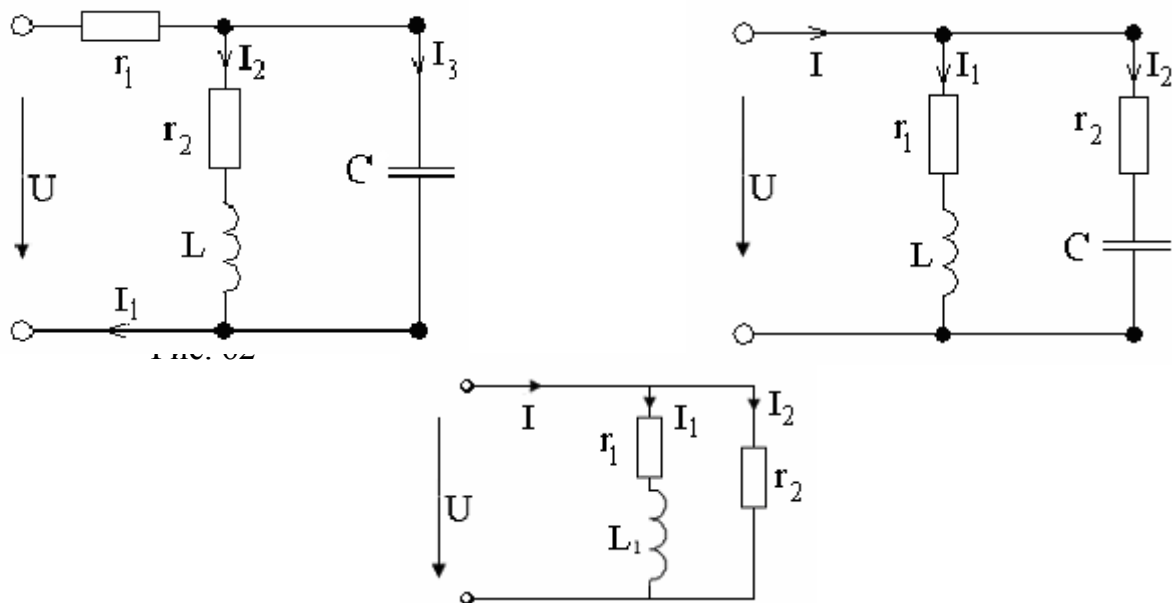


Рис. 64

Комплексный метод расчета цепей синусоидального тока

43. К цепи (рис. 65) подведено напряжение $U=120$ В, при $r_1=10$ Ом, $r_2=24$ Ом, $r_3=15$ Ом, $x_{L1}=6$ Ом, $x_{C2}=7$ Ом, $x_{L3}=20$ Ом. Определить токи I_1 , I_2 , I_3 , активные и реактивные мощности всей цепи и отдельных ветвей. Построить векторную диаграмму.

44. Какие элементы нужно включить в третью ветвь (рис. 66) и каковы должны быть их сопротивления, чтобы амперметр показал ноль, если $r_1=50$ Ом, $r_2=40$ Ом, $r_4=160$ Ом, $x_{C2}=80$ Ом, $x_{L4}=80$ Ом? Для этого случая определить показания ваттметра при $E=14,5$ В.

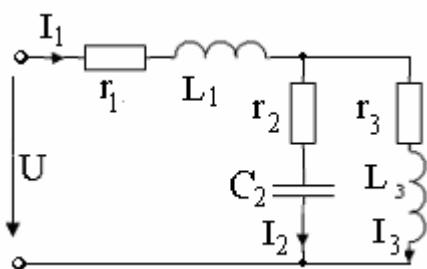


Рис. 65

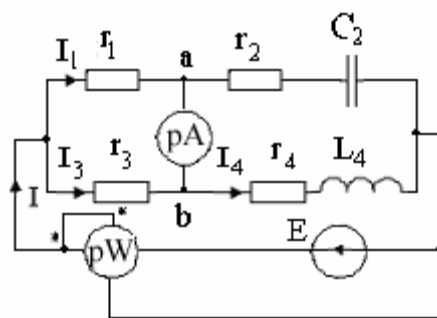


Рис. 66

45. Два генератора, соединенные параллельно (рис. 67), питают приемник, сопротивления которого $r=2,4$ Ом, $x_L=3,2$ Ом, ЭДС генераторов $e_1=400\sqrt{2} \sin(\omega t)$ В, $e_2=400\sqrt{2} \sin(\omega t-15^\circ)$ В, а внутренние активные сопротивления $r_1=r_2=r=0,04$ Ом, реактивные $x_1=x_2=0,2$ Ом. Определить все токи и мощность, отдаваемую каждым генератором. Построить векторную диаграмму.

46. В цепи (рис. 68) с источником тока $J=1$ А и источником ЭДС $E=1$ В задано, что ток источника тока опережает ЭДС на 90° . Определить все токи в ветвях, мощность источников, активные потери в цепи при $r_1 = x_{c2} = x_{L3} = r_4 = x_{L5} = r_6 = 1$ Ом. При решении использовать метод контурных токов.

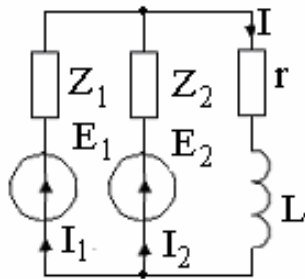


Рис. 67

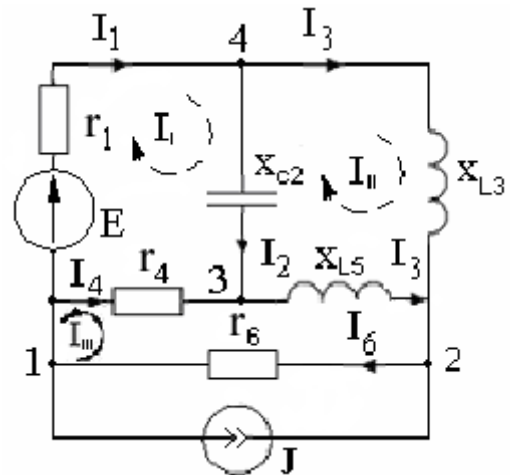


Рис. 68

47. В цепь (рис. 69) включены два источника, для которых $i_k = 2\sqrt{2} \sin(\omega t)$ А, $e = \sqrt{2} \sin(\omega t + \pi/2)$ В. Пользуясь принципом наложения, определить все токи, если $r_1 = x_C = x_L = r_2 = 1$ Ом.

48. Определить ток в третьей ветви методом эквивалентного генератора, если $J=1$ А, $E=1$ В, $r_1 = x_{C3} = x_{L2} = r_4 = 1$ Ом и известно, что ток источника тока опережает ЭДС на 90° (рис. 70).

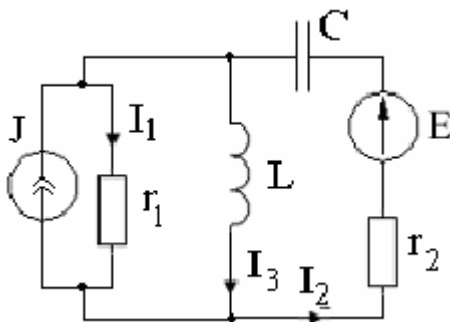


Рис. 69

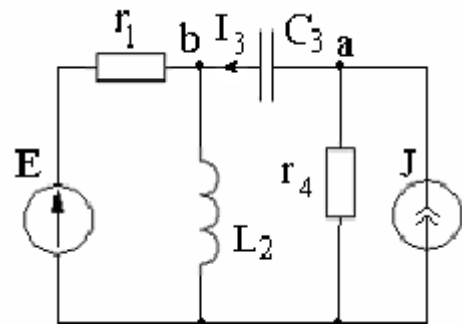


Рис. 70

Цепи с взаимной индуктивностью

49. Определить одноименные зажимы двух последовательно соединенных активно связанных катушек, надетых на общий сердечник (рис. 71).

50. Для двух индуктивно связанных катушек (рис. 72) заданы $i_1 = 7,5 \sin(\omega t + 90^\circ)$ А, $r_2 = 8$ Ом, $x_{L1} = 5$ Ом, $\omega M = 2$ Ом, $I_{2m} = 5e^{-j90}$ А. Написать выражение напряжения U_2 на зажимах второй катушки.

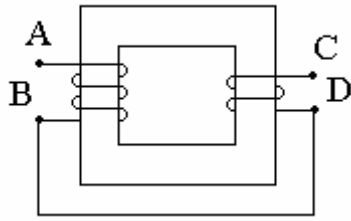


Рис. 71

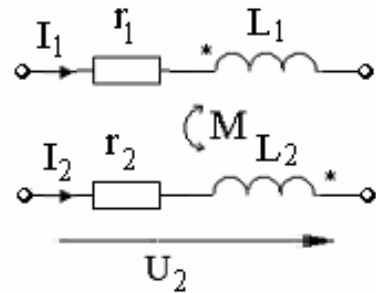


Рис. 72

51. Две индуктивно связанные катушки (рис. 73) соединены последовательно с конденсатором. Определить ток в цепи, если известно: $U=100$ В, $r_1=5$ Ом, $r_2=3$ Ом, $\omega L_1=4$ Ом, $\omega L_2=2$ Ом, $\omega M=2$ Ом, $1/\omega C=4$ Ом.

52. В предыдущей задаче определить напряжение между точками а и b.

53. Определить эквивалентное сопротивление двух параллельно соединенных катушек (рис. 74), если $\omega L_1=5$ Ом, $\omega M=1,5$ Ом, $\omega L_2=3$ Ом.

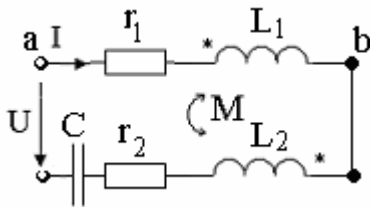


Рис. 73

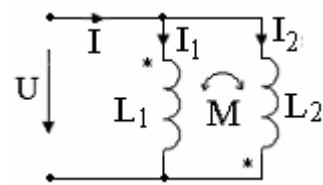


Рис. 74

54. Найти входное сопротивление цепи (рис. 75), для которой $r = x_{L1} = 20$ Ом, $x_{C1} = 10$ Ом, коэффициент связи катушек $k=1,5$, двумя способами:

- без замены индуктивной связи;
- с заменой индуктивной связи.

55. К цепи (рис. 76) подведено напряжение $U=110$ В. Параметры цепи: $r_1=20$ Ом, $r_2=15$ Ом, $r_3=10$ Ом, $L_1=0,4$ Г, $L_2=0,3$ Г, $M=0,2$ Г. Частота тока $f=50$ Гц. Найти все токи методом контурных токов, построить топографическую диаграмму. Определить мощности, передаваемые из одной ветви в другую путем взаимной индукции.

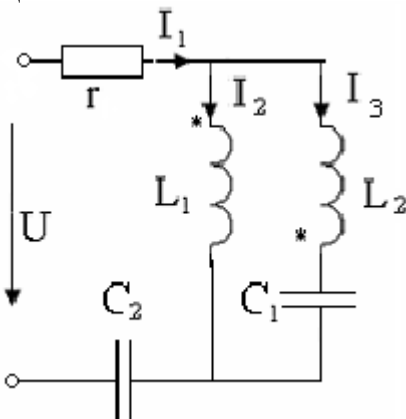


Рис. 75

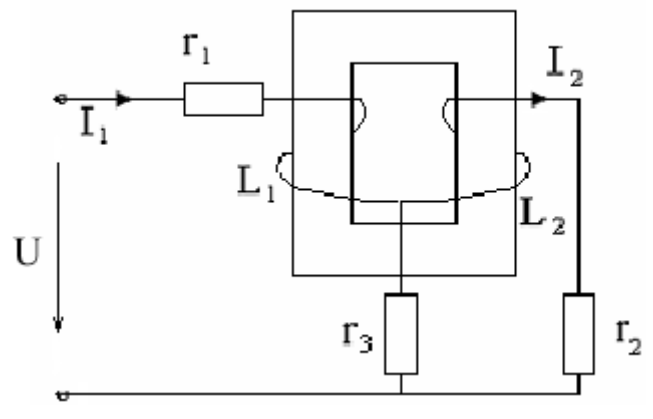


Рис. 76

56. К первичной обмотке трансформатора без стального сердечника (рис. 77) подведено напряжение $U_1=120$ В. Определить напряжение U_H на нагрузочном сопротивлении z_H при следующих данных: $z_1=r_1+j\omega L_1=(10+j42)$ Ом, $z_2=r_2+j\omega L_2=(15+j70)$ Ом, $z_H=r_H+1/j\omega C_H=(5-j10)$ Ом, $z_M=j\omega M=j20$ Ом. Построить векторную диаграмму.

57. Во второй ветви (рис. 78) проходит ток $I_2=1$ А. Сопротивления элементов цепи $x_{C1}=35$ Ом, $x_{L1}=20$ Ом, $x_{L2}=60$ Ом, $r_3=20$ Ом, $x_M=10$ Ом. Вычислить остальные токи и построить топографическую диаграмму. Применить метод контурных токов.

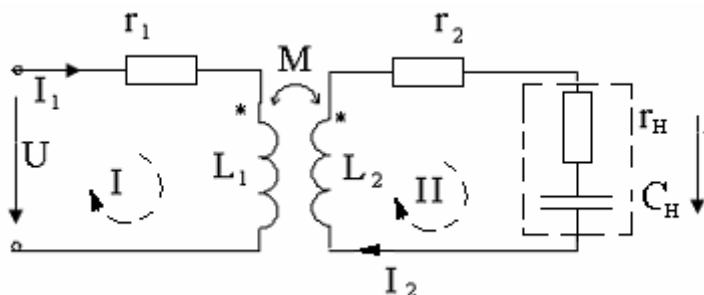


Рис. 77

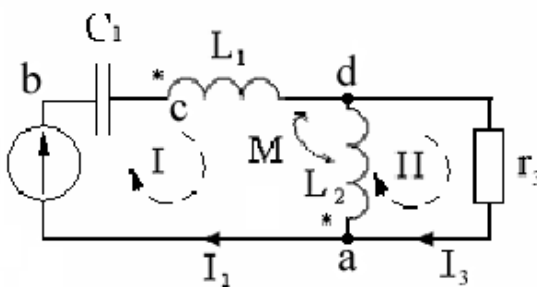


Рис. 78

Резонанс в электрических цепях

58. Определить частоту, при которой наступит резонанс токов (рис. 79).

59. При каком значении сопротивления конденсатора в цепи (рис. 80) возникает резонанс напряжений?

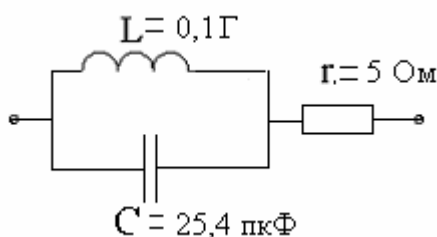


Рис. 79

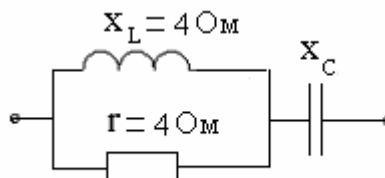


Рис. 80

60. Определить значение активного сопротивления, при котором наступит резонанс токов (рис. 81).

61. Определить напряжение на конденсаторе в режиме резонанса и добротность контура при $U=3$ В; $U_H=5$ В (рис. 82).

62. Затухание в цепи (рис. 83) $d=0,2$ и волновая проводимость $\gamma=5 \cdot 10^{-2}$ Ом⁻¹. Ток протекающий при резонансе в общей части цепи $I_0=2$ А. Определить резонансную частоту f_0 , параметры цепи r, L, C , и токи I_L, I_C и напряжение U , при резонансе, если известно что при частоте $f=25$ Гц, ток в катушке в четыре раза пре-

восходит ток в конденсаторе при той же величине приложенного напряжения. Построить векторные диаграммы для ω_0 , ω .

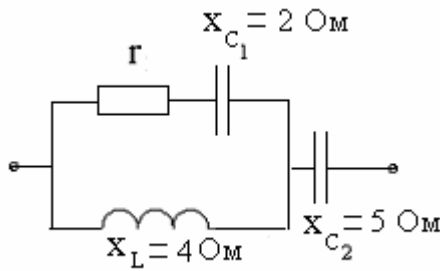


Рис. 81

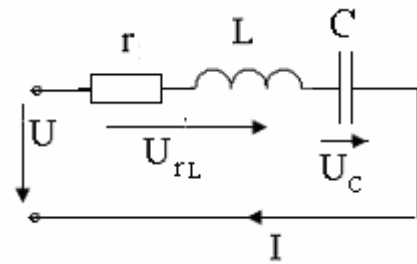


Рис. 82

63. Определить, каким наибольшим активным сопротивлением может обладать катушка с индуктивностью L , включенная параллельно конденсатору с емкостью C , при котором может еще иметь место резонанс (рис. 84).

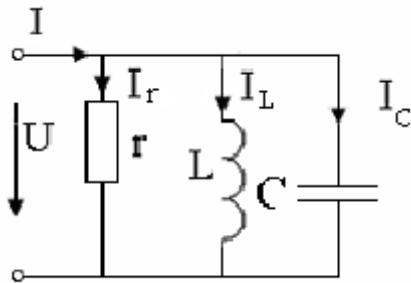


Рис. 83

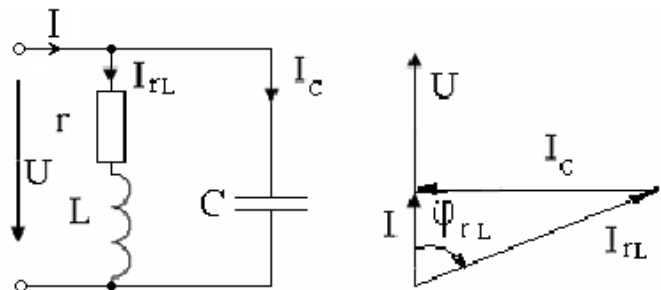


Рис. 84

64. Определить при каком характере и значении сопротивления z_1 показания ваттметра в цепи (рис. 85) будет наибольшим. Чему равно показание ваттметра при этом режиме, если $x_{L2}=6$ Ом, $x_{C3}=5$ Ом, $r_3=12$ Ом, $r_2=8$ Ом, $U=110$ В? Построить векторную диаграмму.

65. Определить показания амперметров в цепи (рис. 86), если $L_1=30$ мГ, $L_2=10$ мГ, $M=10$ мГ, $r_3=500$ Ом, $U=500$ В, угловая частота $\omega=10^4$ с⁻¹ и емкость C_2 такова, что имеет место резонанс. При решении задачи рассмотреть два случая: согласное и встречное включение катушек. Определить резонансную емкость для обоих случаев, построить векторные диаграммы.

66. Найти в цепи (рис. 87) резонансные частоты и построить при этих частотах векторные диаграммы, если $U=10$ В, $C_2=500$ пФ, $L_2=100$ мкГ, $r_1=100$ Ом, $L_1=14,5$ мкГ. Показать, что при резонансной частоте максимальные значения энергий электрического и магнитного полей равны.

67. Для цепи (рис. 88) определить емкостное сопротивление x_c , при котором наступит резонанс токов. Сопротивления элементов цепи $Z_1=(20+j34)$ Ом, $Z_2=(12+j10)$ Ом, $Z_3=-j x_c$ Ом, $Z_M=j60$ Ом. Вычислить все токи при $U=200$ В и построить векторную диаграмму.

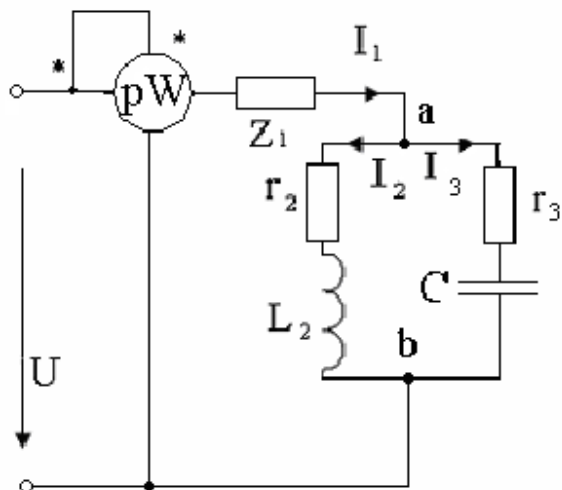


Рис. 85

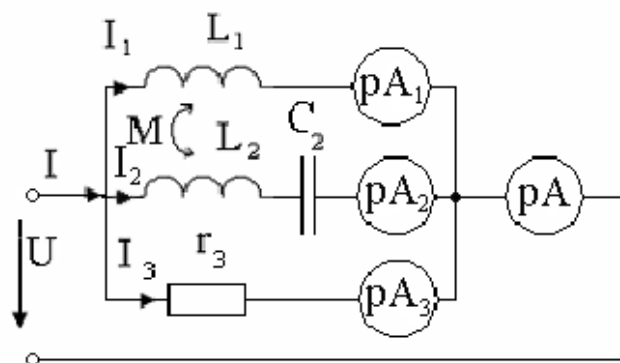


Рис. 86

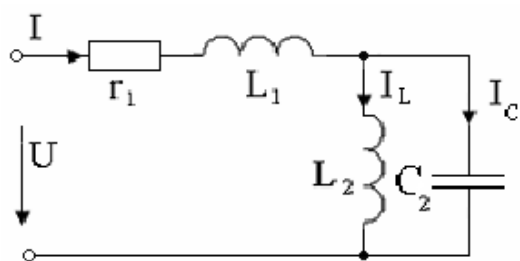


Рис. 87

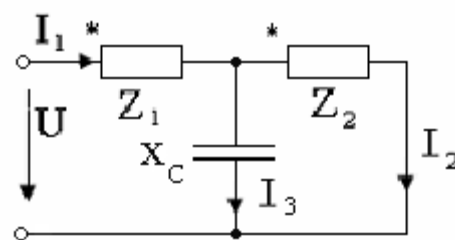


Рис. 88

68. В схеме (рис. 89) $r_1=2$ Ом, $r_2=3$ Ом, $\omega L_1=8$ Ом, $\omega L_2=13$ Ом, $\omega M=10$ Ом. Определить Z_H при условии, что при подаче на вход напряжения $U=120$ В, ток I_1 , был бы равен 15 А и совпадал бы по фазе с напряжением. Найти для этого случая I_2 и построить диаграмму.

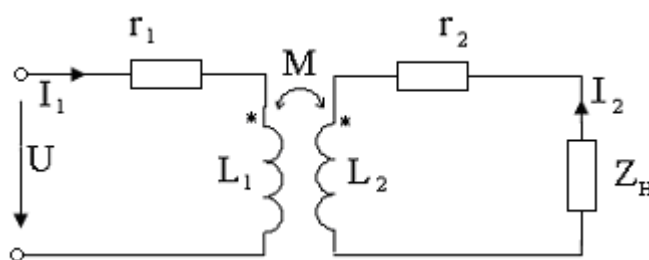


Рис. 89

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Атамалян, Г.Г. Приборы и методы измерения электрических величин / Г.Г. Атамалян. – М.: Высшая школа, 1982. – 224 с.
2. Туричин, А.М. Электрические измерения не электрических величин / А.М. Туричин, П.В. Новицкий. – 5-е изд. – Л.: Энергия, 1975. – 576 с.
3. Электроизмерения / под ред. А.В. Френке, Е.Н. Дужина. – 5-е изд. – Л.: Энергия, 1980. – 392 с.
4. Трегуб, А.П. Электротехника / А.П. Трегуб. – Киев: Высшая школа, 1987. – 600 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Источники ЭДС и источники тока	3
Напряжение на участке цепи	3
Закон Ома для участка цепи	4
Энергетический баланс в электрических цепях	4
Законы Кирхгофа	5
Режимы работы источников электромагнитной энергии	5
Методы расчета линейных электрических цепей постоянного тока. Метод преобразования электрических цепей	6
Метод уравнений Кирхгофа для расчета сложных цепей	11
Задание 1. Расчёт линейной цепи постоянного тока	12
Пример выполнения задания 1	18
Задание 2. Расчет генератора постоянного тока с параллельным возбуждением	22
Пример выполнения задания 2	23
Задание 3. Расчет асинхронного двигателя	24
Пример выполнения задания 3	26
Задачи	
Линейные электрические цепи постоянного тока	27
Простейшие электрические цепи синусоидального тока	33
Комплексный метод расчета цепей синусоидального тока.....	38
Цепи с взаимной индуктивностью	36
Резонанс в электрических цепях	38
Библиографический список	41