

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Электротехнический факультет
Кафедра электротехники и электроники

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Часть I

Задания и методические указания
к контрольным работам

Для студентов – заочников
спец. 100400; 210100

Киров 2002

УДК 621.311

Т33

Составители:

кандидат технических наук, доцент Г.Г. Гаврилов;
кандидат технических наук, доцент, Г.И. Лукиянов;
преподаватель В.В. Шуклина

Рецензент: кандидат технических наук, доцент кафедры РЭС Е.И. Домрачев

Редактор Е.Г. Козвонина

ЛР№ 020519 от 20.06.97г.

Подписано в печать 7.07.98 Усл. печ. Л. 2,5

Бумага типографская. Печать матричная.

Заказ № 171 Тираж 100 Бесплатно.

Текст напечатан с оригинал-макета, предоставленного автором

610 000, г. Киров, ул. Московская, 36. Оформление обложки, изготовление - ПРИП

© Вятский государственный университет, 2003

Права на данное издание принадлежат Вятскому государственному университету

ОГЛАВЛЕНИЕ

Правила оформления контрольных работ	4
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	5
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №1	6
Линейные электрические цепи постоянного и синусоидального тока.....	6
Методические указания.....	7
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №2	15
Трёхфазные цепи, периодические несинусоидальные токи, электрические фильтры	15
Методические указания по выполнению контрольной работы № 2	16

В соответствии с учебными планами студенты специальности ЭПА выполняют задачи 1.1, 1.2, 2.1; специальности УИ-1.1, 1.2, 2.2, 2.3.

Номер варианта задания для контрольной работы выбирается по двум последним цифрам шифра студента.

При изучении курса и выполнении контрольных работ рекомендуются учебники и учебные пособия, выпущенные за последние 10 лет. Студентам необходимо составлять конспекты, в которые полезно выписывать основные законы, определения и формулы. Конспект окажет большую помощь при выполнении контрольных заданий и при подготовке к экзаменам.

Правила оформления контрольных работ

1. Каждая контрольная работа оформляется отдельно и содержит схемы электрических цепей, исходные данные к расчету, перечень пунктов, подлежащих выполнению.

2. Все схемы в задании (исходные и преобразованные) должны выполняться с применением чертежных инструментов в соответствии с ЕСКД. Элементы в исходной схеме, не заданные в таблице, не чертить.

3. Следует оставлять поля шириной не менее 4 см для замечаний рецензента.

4. В ходе решения задачи не следует изменять однажды принятые направления токов и наименования (или обозначения) узлов, сопротивлений и т.д. При решении одной и той же задачи различными методами одну и ту же величину надлежит обозначать одним и тем же буквенным символом и индексом.

5. Вычисления должны быть сделаны с точностью до сотых долей. Промежуточные и окончательные результаты приводятся с указанием единиц измерения.

6. При построении кривых выбирать такой масштаб, чтобы на 1 см оси координат приходилось $1 \cdot 10^{\pm n}$, $2 \cdot 10^{\pm n}$ или $5 \cdot 10^{\pm n}$ единиц измерения физической величины, где n - целое число. Градуировку осей выполнять, начиная с нуля, равномерно через один или два сантиметра. Оси должны быть обозначены и указана размерность. Весь график в целом и отдельные кривые на нем должны иметь названия.

7. Контрольная работа, не зачтенная рецензентом, должна быть исправлена и прислана на повторную рецензию вместе с первоначальной. Исправления ошибок в отрецензированном тексте не допускаются.

8. При оформлении работы вначале записываются формулы или уравнения в буквенном виде, далее делается подстановка численных значений. Далее приводятся вычисления и результаты.

9. В конце работы приводится библиографический список использованной литературы, дата выполнения и подпись.

КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ, ВЫПОЛНЕННЫЕ С НАРУШЕНИЕМ ДАННЫХ ПРАВИЛ, НА РЕЦЕНЗИЮ НЕ ПРИНИМАЮТСЯ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основной:

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи: Учебник для вузов. – 10-е изд., перераб. и доп. – М.: Гардарики, 2000. – 638 с.
2. Евдокимов Ф.Е. Теоретические основы электротехники: Учебник – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2001 – 495 с.

Дополнительный:

1. Нейман Л.Р. Теоретические основы электротехники: Учебник для вузов /Л.Р. Нейман, К.С. Демирчян. – 3-е изд., прераб. и доп. – Л.: Энергоиздат, 1981. –Т.1.: 534 с.
2. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники: Учебник для вузов в 3-х ч. –М.: Энергия, 1978. – Ч.1.: 592 с.
3. Теоретические основы электротехники: Учебник для электротехн. вузов /П.А. Ионкин, А.И. Даревский, Е.С. Кухаркин и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк. – 1976. –Т. 1. Основы теории линейных цепей. – 544 с.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №1

Линейные электрические цепи постоянного и синусоидального тока

Задача 1.1.

Для схемы электрической цепи, соответствующей номеру варианта и изображенной на рис. 1.1 - 1.20, выполнить следующее:

1. Составить на основании законов Кирхгофа систему уравнений для расчета токов во всех ветвях схемы.
2. Рассчитать токи во всех ветвях схемы методом контурных токов.
3. Составить баланс мощностей в исходной схеме с источником тока, вычислив суммарную мощность источников и суммарную мощность приемников.
4. Рассчитать ток I_l в заданной по условию схеме с источником тока, используя теорему об активном двухполюснике и эквивалентном генераторе.
5. Начертить потенциальную диаграмму для любого замкнутого контура, включающего оба источника ЭДС.

Для студентов, фамилии которых начинаются с букв А - Е, за нулевой потенциал принять потенциал узла **a**; с букв Ж - М - потенциал узла **b**; с букв Н - Т - потенциал узла **d**.

Величины параметров элементов схемы для каждого варианта даны в табл. 1.1.

Задача 1.2.

Для схемы электрической цепи, соответствующей номеру варианта (табл. 1.2) и изображенной на рис. 1.21 - 1.40, выполнить следующее:

1. Рассчитать комплексы действующих значений токов во всех ветвях, воспользовавшись методом узловых потенциалов.
2. Построить топографическую диаграмму комплексных потенциалов точек схемы, совмещенную с векторной диаграммой токов. При этом потенциал точки **a**, указанной на схеме, принять равным нулю.
3. Составить баланс активных и реактивных мощностей.

Величины параметров элементов схемы для каждого варианта даны в табл. 1.2.

Методические указания

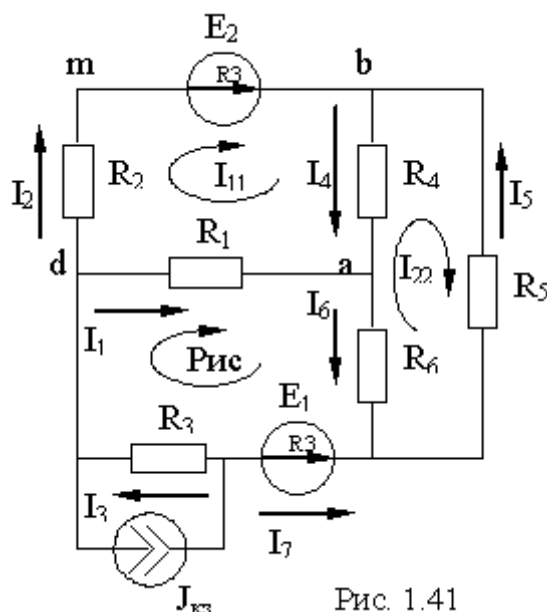


Рис. 1.41

Задача 1.1.

На примере схемы, изображенной на рис. 1.41, рассмотрим методику составления уравнений для расчета токов в ветвях методом контурных токов.

Выберем направления токов в ветвях схемы и направления контурных токов произвольно.

Число уравнений, которые необходимо составить для расчета токов в ветвях схемы, всегда равно числу независимых контуров. Независимые контуры отличаются друг от друга хотя бы одной ветвью, не вошедшей в другие. В данной схеме три независимых контура, поэтому имеем следующую систему:

$$\begin{cases} I_{11}R_{11} + I_{22}R_{12} + I_{33}R_{13} + I_{k3}R_{1k} = E_{11} \\ I_{21}R_{21} + I_{22}R_{22} + I_{33}R_{23} + I_{k3}R_{2k} = E_{22} \\ I_{11}R_{31} + I_{22}R_{32} + I_{33}R_{33} + I_{k3}R_{3k} = E_{33} \end{cases} \quad (1.1)$$

Здесь сопротивление с одинаковыми индексами R_{11} , R_{22} , R_{33} - суммарные сопротивления первого, второго и третьего контуров соответственно; сопротивления с разными индексами - это взаимные сопротивления, входящие одновременно в состав двух контуров, например, R_{12} - это взаимное сопротивление между первым и вторым контурами;

I_{11} , I_{22} , I_{33} - контурные токи первого, второго и третьего контуров соответственно;

R_{1k} , R_{2k} , R_{3k} - сопротивления первого, второго и третьего контуров, по которым соответственно протекает ток от источника тока;

E_{11} , E_{22} , E_{33} - алгебраическая сумма ЭДС соответственно первого, второго и третьего контуров.

Очевидно, что $R_{12} = R_{21}$, $R_{13} = R_{31}$ и т.д.

При составлении контурных уравнений следует руководствоваться следующим:

1) если направление ЭДС совпадает с направлением контурного тока, то ЭДС берется со знаком «плюс», а если не совпадает - со знаком «минус»;

2) знак взаимного сопротивления берется положительным, если направления контурных токов на нем совпадают, отрицательным - если не совпадают;

3) знак сопротивления какого-либо контура, по которому протекает ток от источника тока, берется положительным, если направление контурного тока совпадает с направлением тока от

источника тока;

Для схемы рис. 1.41:

$$\begin{aligned}
 R_{11} &= R_1 + R_2 + R_4, \\
 R_{22} &= R_4 + R_5 + R_6, \\
 R_{33} &= R_1 + R_3 + R_6, \\
 R_{11} &= R_{21} = -R_4, \\
 R_{13} &= R_{31} = -R_1, \\
 E_{11} &= E_2; \quad E_{22} = 0; \quad E_{33} = -E_3.
 \end{aligned} \tag{1.2}$$

Условимся, что ток от источника тока проходит через резистор R_3 . Тогда

$$R_{7k} = 0, \quad R_{2k} = 0, \quad R_{3k} = R_3. \tag{1.3}$$

Решая систему уравнений (1.1), находим контурные токи.

Далее выразим истинные токи через контурные. Ток в ветви, принадлежащей двум или нескольким контурам, равен алгебраической сумме соответствующих контурных токов. Со знаком «плюс» берутся контурные токи, совпадающие с током этой ветви, со знаком «минус» - не совпадающие с ним.

Для схемы рис. 1.41:

$$\begin{aligned}
 I_1 &= I_{33} - I_{11}, & I_2 &= I_{11}, & I_3 &= I_{33} + I_{k3}, \\
 I_4 &= I_{11} - I_{22}, & I_5 &= -I_{22}, & I_6 &= I_{33} - I_{22}, & I_7 &= -I_{33}.
 \end{aligned} \tag{1.4}$$

Правильность расчета можно проверить, если найденные значения токов подставить в уравнения, составленные по первому и второму законам Кирхгофа, дают тождества.

Второй метод проверки правильности расчета - проверка выполнения баланса мощностей. Если баланс мощностей сходится, то расчет произведен верно. Так, для схемы на рис. 3 уравнение баланса мощностей имеет вид

$$E_2 I_2 + E_3 I_7 + U_{nd} I_{k3} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4 + I_5^2 R_5 + I_6^2 R_6, \tag{1.5}$$

где $U_{nd} = R_3 I_3$ - напряжение на зажимах источника тока.

Задача 1.2

Во второй задаче в первую очередь необходимо от мгновенных значений ЭДС перейти к комплексам действующих значений ЭДС. Переход осуществляется только от положительной синусоиды.

Например, требуется перейти от мгновенного значения ЭДС $e = -141 \cos(\omega t + 40^\circ)$.

Сначала перейдем к положительной синусоиде $e = 141 \sin(\omega t - 50^\circ)$ В, а затем к комплексу действующего значения ЭДС $\dot{E} = 100 e^{-j50^\circ}$, В.

Комплексы действующих значений токов в заданной схеме можно рассчитывать, используя любые методы расчета линейных цепей.

Покажем на примере схемы, изображенной на рис. 1.42, как составить уравнения для расчета токов методом узловых потенциалов.

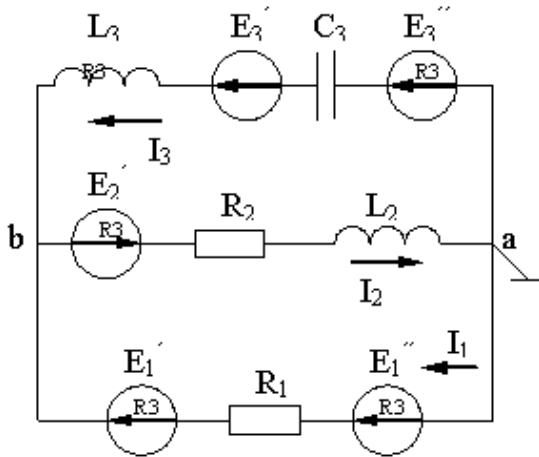


Рис. 1.42

$$\begin{aligned} \underline{Z}_1 &= R_1; \\ \underline{Z}_2 &= R_2 + jX_{L2}; \\ \underline{Z}_3 &= j(X_{L3} - X_{C3}); \\ \underline{Y}_1 &= \frac{1}{\underline{Z}_1}; \\ \underline{Y}_2 &= \frac{1}{\underline{Z}_2}; \\ \underline{Y}_3 &= \frac{1}{\underline{Z}_3}. \end{aligned}$$

Любой узел схемы можно заземлить. Токораспределение при этом не изменится. Пусть $\varphi_a = 0$. Тогда по методу узловых потенциалов:

$$\varphi_b = (\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3) = (\dot{E}'_1 + \dot{E}''_1)\underline{Y}_1 - \dot{E}'_2\underline{Y}_2 + (\dot{E}'_3 + \dot{E}''_3)\underline{Y}_3. \quad (1.6)$$

В данном случае удобно пользоваться методом узловых потенциалов, так как получается всего одно уравнение, которое легко решается. При использовании метода контурных токов было бы два уравнения с двумя неизвестными. Токи в ветвях далее находятся по обобщенному закону Ома:

$$\dot{I}_1 = \frac{-\dot{\varphi}_b + \dot{E}'_1 + \dot{E}''_1}{\underline{Z}_1}, \quad \dot{I}_2 = \frac{\dot{\varphi}_b + \dot{E}'_2}{\underline{Z}_2}, \quad \dot{I}_3 = \frac{-\dot{\varphi}_b + \dot{E}'_3 + \dot{E}''_3}{\underline{Z}_3}.$$

Проверка правильности расчета производится аналогично предыдущему. Уравнения, составленные по законам Кирхгофа для схемы рис. 1.42, имеют вид

$$\begin{cases} \dot{I}_1 R_1 + \dot{I}_2 (R_2 + jX_{L2}) = \dot{E}'_1 + \dot{E}''_1 + \dot{E}'_2, \\ \dot{I}_3 j(X_{L3} - X_{C3}) + \dot{I}_2 (R_2 + jX_{L2}) = \dot{E}'_3 + \dot{E}''_3 + \dot{E}'_2, \\ \dot{I}_1 + \dot{I}_3 = \dot{I}_2. \end{cases}$$

Баланс активных и реактивных мощностей для той же схемы

$$\begin{aligned} \sum P_u &= \operatorname{Re} \left[(\dot{E}'_1 + \dot{E}''_1)^* \dot{I}_1 + \dot{E}'_2^* \dot{I}_2 + (\dot{E}'_3 + \dot{E}''_3)^* \dot{I}_3 \right] = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 = \sum P_{np} \\ \sum Q_u &= \operatorname{Im} \left[(\dot{E}'_1 + \dot{E}''_1)^* \dot{I}_1 + \dot{E}'_2^* \dot{I}_2 + (\dot{E}'_3 + \dot{E}''_3)^* \dot{I}_3 \right] = I_2^2 X_2 + I_3^2 X_3 = \sum Q_{np} \end{aligned}$$

Здесь I_1, I_2, I_3 - сопряженные комплексы токов; $X_2 = \omega L_2$, $X_3 = \omega L_3 - \frac{1}{\omega C_3}$ - реактивные

сопротивления второй и третьей ветвей.

Допускается расхождение баланса активных и реактивных мощностей:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{\sum P_u - \sum P_{np}}{\sum P_u} \cdot 100 < 0,5 \%, \\ \Delta Q &= \frac{\sum Q_u - \sum Q_{np}}{\sum Q_u} \cdot 100 < 0,5 \%. \end{aligned}$$

Таблица 1.1

Ва- риант	Рису- нок	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	E ₁	E ₂	E ₃	I _{k1}	I _{k2}	I _{k3}
		Ом						В			А		
1	1.15	13	5	9	7	10	4	-	10	21	-	0	1
2	1.1	13	5	2	8	11	15	-	12	16	-	0	2
3	1.16	4	8	6	10	13	10	-	30	9	-	0	1
4	1.11	20	80	100	35	150	40	-	100	150	-	0	1
5	1.17	10	18	5	10	8	6	-	20	30	-	0	1
6	1.3	4	13	9	10	5	6	-	16	8,2	-	0	0,2
7	1.7	130	40	60	80	110	45	12	13	-	0	0,3	-
8	1.20	6	5	8	14	7	8	-	20	14	-	0	1
9	1.8	55	80	100	40	70	120	-	25	10	-	0	0,05
10	1.10	110	60	45	150	80	50	25	8	-	0	0,1	-
11	1.9	7	12	4	9	15	8	-	20	8	-	0	0,5
12	1.18	30	40	22	10	14	50	-	23	9,5	-	0	0,25
13	1.12	15	12	10	9	8	7	13	14	-	0	0,5	-
14	1.4	12	35	22	6	10	15	-	20	7,8	-	0	0,2
15	1.13	4	7	10	12	20	5,5	-	20	10	-	0	1
16	1.5	4	И	5	12	7	8	25	4,5	-	0	0,5	-
17	1.14	9	20	16	40	30	22	-	30	10	-	0	0,5
18	1.6	5	10	12	7	8	15	-	15	13	-	0	1
19	1.19	5	7	10	4	15	20	15	-	20	0	-	1
20	1.2	8	10	6	15	21	26	25	-	14	0	-	1
21	1.15	19,5	7,5	13,5	10,5	15	6	-	9	45	-	0,8	0
22	1.1	19,5	7,5	3	12	16,5	22,5	-	12	30	0	0,8	0
23	1.16	6	12	9	15	19,5	15	-	21	22,5	-	2	0
24	1.11	30	120	150	52,5	225	60	-	90	375	-	0,5	0
25	1.17	15	27	7,5	15	12	9	-	16,5	52,5	-	0,5	0
26	1.3	6	19,5	13,5	15	7,5	9	-	16,2	15	-	0,4	0
27	1.7	195	60	90	120	165	67,5	10,2	37,5	-	0,04	0	-
28	1.20	9	7,5	12	21	10,5	12	-	15	33	-	2	0
29	1.8	82,5	120	150	60	105	180	-	25,5	22,5	-	0,1	0
30	1.10	165	90	67,5	225	120	75	21	21	-	0,1	0	-
31	1.9	10,5	18	6	13,5	22,5	12	-	12	15	-	1	0
32	1.18	45	60	33	15	21	75	-	16,5	22,5	-	0,3	0
33	1.12	22,5	18	15	13,5	12	10,5	15	30	-	0,2	0	-
34	1.4	18	52,5	33	9	15	22,5	-	9	18	-	0,4	0
35	1.13	6	10,5	15	18	30	8,25	-	9	30	-	2	0
36,	1.5	6	16,5	7,5	18	10,5	12	25,5	15	-	2	0	-
37	1.14	13,5	30	24	60	45	33	-	15	27	-	1	0
38	1.6	7,5	15	18	10,5	12	22,5	-	15	37,5	-	0,5	0
39	1.19	7,5	10,5	15	6	22,5	30	15	-	45	1	-	0
40	1.2	12	15	9	22,5	31,5	39	25,5	-	30	1	-	0
41	1.15	6,5	2,5	4,5	3,5	5	2	-	4	15	-	0,4	0
42	1.1	6,5	2,5	1	4	5,5	7,5	-	5	10	-	0,4	0
43	1.16	2	4	3	5	6,5	5	-	11	7,5	-	1	0
44	1.11	10	40	50	17,5	75	20	-	34	125	-	0,4	0
45	1.17	5	9	2,5	5	4	3	-	8,2	17,5	-	0,2	0
46	1.3	2	6,5	4,5	5	2,5	3	-	6,7	5	-	0,2	0
47	1.7	65	20	30	40	55	22,5	4,7	12,5	-	0,02	0	-
48	1.20	3	2,5	4	7	3,5	4	-	7,5	11	-	1	0
49	1.8	27,5	40	50	20	35	60	-	6,5	7,5	-	0,5	0
50	1.10	55	30	22,5	75	40	25	8,1	7	-	0,08	0	-

Ва- риант	Рису нок	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	E ₁	E ₂	E ₃	I _{k1}	I _{k2}	I _{k3}
		Ом						В			А		
51	1.9	3,5	6	2	4,5	7,5	4	-	7	5	-	0,5	0
52	1.18	15	20	11	5	7	25	-	7,5	7,5	-	0,2	0
53	1.12	7,5	6	5	4,5	4	3,5	3,5	10	-	0,4	0	-
54	1.4	6	17,5	11	3	5	7,5	-	6,5	6	-	0,2	0
55	1.13	2	3,5	5	6	10	2,75	-	6,5	10	-	1	0
56	1.5	2	5,5	2,5	.6	3,5	4	10,5	5	-	1	0	-
57	1.14	4,5	10	8	20	15	11	-	10	9	-	0,5	0
58	1.6	2,5	5	6	3,5	4	7,5	-	6	12,5	-	0,3	0
59	1.19	2,5	3,5	5	2	7,5	10	7	-	15	0,2	-	0
60	1.2	4	5	3	7,5	10,5	13	10,5	-	10	0,5	-	0
61	1.15	26	10	18	14	20	8	-	20	24	-	0	2
62	1.1	26	10	4	16	22	30	-	24	32	-	0	2
63	1.16	8	16	12	20	26	20	-	60	24	-	0	0,5
64	1.11	40	160	200	70	300	80	-	200	200	-	0	1,5
65	1.17	20	36	10	20	16	12	-	40	40	-	0	3
66	1.3	8	26	18	20	10	12	-	32	11	-	0	0,5
67	1.7	260	80	120	160	220	90	24	34	-	0	0,2	-
68	1.20	12	10	16	28	14	16	-	40	12	-	0	2
69	1.8	110	160	200	80	140	240	-	50	22	-	0	0,04
70	1.10	220	120	90	300	160	100	50	22	-	0	0,05	-
71	1.9	14	24	8	18	30	16	-	40	12	-	0	1
72	1.18	60	80	44	20	28	100	-	46	8	-	0	0,5
73	1.12	30	24	20	18	16	14	26	28	-	0	0,5	-
74	1.4	24	70	44	12	20	30	-	40	19,6	-	0	0,1
75	1.13	8	14	20	24	40	11	-	40	10	-	0	1,5
76	1.5	8	22	10	24	14	16	50	16,6	-	0	0,2	-
77	1.14	18	40	32	80	60	44	-	60	28	-	0	0,25
78	1.6	10	20	24	14	16	30	-	30	38	-	0	0,5
79	1.19	10	14	20	8	30	40	30	-	20	0	-	2
80	1.2	16	20	12	30	42	52	50	-	34	0	-	0,5
81	1.15	32,5	12,5	22,5	17,5	25	10	-	20	75	-	0,4	0
82	1.1	32,5	12,5	5	20	27,5	37,5	-	25	50	-	0,4	0
83	1.16	10	20	15	25	32,5	25	-	35	37,5	-	2	0
84	1.11	50	200	250	87	375	100	-	150	625	-	0,5	0
85	1.17	25	15	12,5	25	20	15	-	32	87,5	-	0,4	0
86	1.3	10	32,5	22,5	25	12,5	15	-	27	25	-	0,4	0
87	1.7	325	100	150	200	275	112	17	62,5	-	0,04	0	-
88	1.20	15	12,5	20	35	17,5	20	-	25	55	-	2	0
89	1.8	137	200	250	100	175	300	-	34,5	37,5	-	0,14	0
90	1.10	275	150	112	375	200	225	24	35	-	0,14	0	-
91	1.9	17,5	30	10	22,5	37,5	20	-	26	25	-	0,8	0
92	1.18	75	100	55	25	35	125	-	32,5	37,5	-	0,25	0
93	1.12	37,5	30	25	22,5	20	17,5	25	50	-	0,2	0	-
94	1.4	30	87,5	55	15	25	37,5	-	15	30	-	0,4	0
95	1.13	10	17,5	25	30	50	13,8	-	15	50	-	2	0
96	1.5	10	27,5	12,5	30	17,5	20	32,5	25	-	3	0	-
97	1.14	22,5	50	40	100	75	55	-	35	45	-	0,8	0
98	1.6	12,5	25	30	17,5	20	37,5	-	35	62,5	-	0,1	0
99	1.19	12,5	17,5	25	10	37,5	50	30	-	75	0,6	-	0
100	1.2	20	25	15	37,5	52,5	65	50,5	-	50	0,6	-	0

Табл. 1.2

Вариант	Рисунок	L ₁ , мГн	L ₂ , мГн	L ₃ , мГн	C ₁ , мкФ	C ₂ , мкФ	C ₃ , мкФ	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	R ₃ , Ом	f, Гц	e' ₁ , В	e'' ₁ , В	e' ₂ , В	e'' ₂ , В	e' ₃ , В	e'' ₃ , В
1	1.35	-	64	-	106	-	-	-	-	10	50	100sin(ωt+60°)	64sin(ωt-55°)	178cos(ωt-90°)	0-	--	-
2	1.40	21	0	-	-	133	-	-	-	25	60	70cosωt	0	-	-	85sin(ωt-30°)	-
3	1.21	-	35	-	-	-	80	17	-	-	55	85sin(ωt+45°)	85sin(ωt-135°)	--	-	57sin(ωt+235°)	0
4	1.28	14	-	109	33	-	95	-	65	-	70	141sin(ωt-90°)	0	-	-	0	282sin(ωt-50°)
5	1.33	-	-	132	50	-	184	-	65	-	50	141sin(ωt+345°)	0	-	-	200sin(ωt+45°)	116sin(ωt-11°)
6	1.39	-	21	25	-	-	36	17	-	-	90	80sin(ωt+40°)	80sin(ωt-50°)	-	-	56sin(ωt-130°)	-
7	1.30	13	48	-	-	32	-	-	-	25	100	71sin(ωt+20°)	0	-	-	85sin(ωt-10°)	0
8	1.23	100	-	0	89	-	133	-	25	-	60	71sin(ωt-13°)	-	69sin(ωt-84°)	56sin(ωt+100°)	-	-
9	1.34	-	84	0	-	16	30	17	-	-	150	113sin(ωt+338°)	0	-	-	56sin(ωt+100°)	-
10	1.24	21	-	53	15	-	65	-	65	-	130	100sin(ωt-35°)	100sin(ωt+55°)	-	-	0	282sin(ωt-40°)
11	1.25	0	250	-	32	66	-	-	-	100	50	141cos(ωt+270°)	-	-	-	141sin(ωt+90°)	0
12	1.36	-	477	125	-	4	33	100	-	-	100	0	141cos(ωt-270°)	-	-	0	141cos(ωt-90°)
13	1.26	-	-	159	16	-	-	-	100	-	100	-	169cosωt	169sinωt	0	169sin(ωt-180°)	0
14	1.31	100	25	-	-	8	-	-	-	100	159	0	169sin(ωt+180°)	0	169cosωt	200sinωt	0
15	1.37	-	136	-	-	18	9	100	-	-	175	0	169sin(ωt+90°)	169sin(ωt+180°)	0	0	169cos(ωt-90°)
16	1.29	120	-	0	16	-	8	-	100	-	200	169cos(ωt+180°)	-	0	169sinωt	169cos(ωt-270°)	0
17	1.27	24	-	-	13	6	-	-	-	10	500	0	282sinωt	282sin(ωt-180°)	0	-	-
18	1.32	0	80	145	-	-	45	60	-	-	120	-	-	689sin(ωt+12°)	496sin(ωt-145°)	705sin(ωt+307°)	-
19	1.22	-	0	1000	20	-	8	-	25	-	40	566sin(ωt+270°)	0	-	-	705sin(ωt-180°)	-
20	1.38	80	90	0	10	5	-	-	-	70	160	141sin(ωt-30°)	-	62sin(ωt+326°)	97sin(ωt+111°)	-	-
21	1.35	-	64	-	106	-	-	-	-	10	50	99sin(ωt+20°)	0	179sin(ωt+270°)	0	-	-
22	1.40	13	32	-	-	40	-	-	-	25	100	71cos(ωt+270°)	0	-	-	100sin(ωt+60°)	0
23	1.21	-	17	-	-	-	40	17	-	-	110	113sinωt	0	-	-	46sinωt	32cos(ωt-90°)
24	1.28	12	-	55	33	-	-	-	65	-	70	141sinωt	0	-	-	282sin(ωt-50°)	0
25	1.33	-	-	26	13	-	88	-	65	-	200	200cosωt	74sin(ωt+120°)	-	-	282sin(ωt+295°)	0
26	1.39	-	11	25	-	-	14	17	-	-	180	0	113sin(ωt-5°)	-	-	56sin(ωt-40°)	0
27	1.30	13	8	-	-	64	-	-	-	25	100	71sin(ωt+20°)	0	-	-	85sin(ωt-10°)	0
28	1.23	402	-	0	354	-	530	-	25	-	15	71sin(ωt+25°)	-	69sin(ωt-174°)	56cos(ωt-170°)	-	-
29	1.34	-	42	19	-	8	7	17	-	-	300	113sin(ωt-22°)	0	-	-	56sin(ωt-147°)	-
30	1.24	10	-	26	8	-	32	-	65	-	260	0	141sin(ωt+10°)	-	-	200sin(ωt+5°)	200sin(ωt-85°)
31	1.25	1600	250	-	5	66	-	-	-	100	50	0	141sinωt	-	-	141cosωt	0
32	1.36	-	1600	250	-	5	66	100	-	-	50	282sin(ωt-135°)	400sin(ωt-30°)	-	-	0	141sinωt
33	1.26	-	-	318	16	-	16	-	100	-	100	-	169sinωt	169sin(ωt-90°)	0	169cos(ωt-180°)	0

Вариант	Рисунок	L ₁ ,	L ₂ ,	L ₃ ,	C _b ,	C ₂ ,	C ₃ ,	R _b ,	R ₂ ,	R ₃ ,	f	e' ₁					
		МГн	МГн	МГн	мкФ	мкФ	мкФ	Ом	Ом	Ом							
34	1.31	159	-	-	-	13	-	-	-	100	100	0	169sin(ωt-180°)	240sin(ωt-45°)	169sin(ωt-90°)	169sinωt	0
35	1.37	-	68	-	-	9	-	100	-	-	350		240sin(ωt+13°)		0	0	169cos(ωt-90°)
36	1.29	60	-	0	8	-	4	-	100	-		169sin(ωt-180°)	-	0	169cos(ωt+90°)	169sinωt	0
37	1.27	-	-	-	-	5	-	-	-	10	500	0	282sinωt	282sin(ωt+180°)	0	-	
38	1.32	0	320	580	-		178	60	-	-	30	-	-	689sin(ωt-78°)	496sin(ωt-60°)	705cos(ωt-53°)	-
39	1.22	-	50	500	10	80	4	-	25		80	566sin(ωt-90°)	0	-	-	705cos(ωt+180)	-
40		320	360	0	40	20	-	-	-	70	40	141sin(ωt-300°)	-	62sin(ωt-124°)		-	-
41	1.35	-	128	-		159	-	-	-	10	50	99sin(ωt-340°)	0	0	179sin(ωt-90°)	-	-
42	1.40	21	30	-	-	76	-	-		25	60	71sin(ωt-90°)	0	-	-	85sin(ωt+330°)	0
	1.21	-	35	-	-	-	80	17	-	-	55	113sinωt		-	-	57sin(ωt-35°)	0
44	1.28	7	-		16	-	47	-	65	-	140	141cos(ωt-270°)	0	-	-	282sin(ωt-140°)	0
45	1.33	-	-	26	13	-	88		65	-	200	141sin(ωt+75°)	0	-	-	-	0
46	1.39	-	21	50	-	-	28	17	-	-	990		113sin(ωt-5°)	-	-	56sin(ωt-40°)	0
47	1.30	6		-	-	32	-	-	-	25	200	71sin(ωt+20°)	0	-	-	85sin(ωt-10°)	0
48	1.23	402	-	228	354	-	265	-	25	-	15	71sin(ωt+103°)	-	85sin(ωt+317°)	0	-	-
49	1.34	-	42	0	-	8	15		-	-	300	60cos(ωt+315°)	60sin(ωt+90°)	-	-	-	-
50	1.24	21	-	53	15	-	65	-	65	-	130		141sin(ωt+10°)	-	-	0	282sin(ωt-40°)
51	1.25	1060		-	18	110	-	-	-		30	141sin(ωt-90°)	-	-	-	141sin(ωt-270°)	0
52		-	662	103	-	2	28	100	-	-	120	0	141sinωt	-		100sin(ωt-315°)	100sin(ωt+45°)
53	1.26	-	-	318		-	-	-	100	-	50	-	169sinωt	120sin(ωt-135°)	120sin(ωt-45°)	169sin(ωt+180°)	0
54	1.31	100	25	-	-	8	-	-		100	159	169sin(ωt+90°)	240sin(ωt-135°)	0	169sinωt	169cosωt	0
	1.37	-	136	-	-	18	9	100	-	-	175	0		169sin(ωt-90°)	240sin(ωt-135°)	0	169sinωt
56	1.29	60	-		8	-	2	-	100	-	400	169sin(ωt+180°)	-	120sin(ωt-45°)	120sin(ωt+45°)	169sinωt	0
57	1.27	48	-	-	25	11	-		-	10	250	0	282sin(ωt-90°)	282sin(ωt+90°)	0		-
58	1.32	0	160		-	-	89	60	-	-	60	-	-	705sin(ωt-37°)	0	705sin(ωt-53°)	-
59	1.22	-	0		10	-	4	-	25	-	80	620sin(ωt+54°)	538sin(ωt-158°)	-	-	705sin(ωt+90°)	-
60	1.38	80	90	70	10	5	14	-	-	70	160	141sin(ωt-300°)	-	141sin(ωt-90°)	0	-	-
61	1.35	-	53	-	88	-	-	-	-	10	60	99sin(ωt+290°)	0	155sin(ωt+30°)	90sin(ωt-150°)	-	-
62	1.40	21	0	-	-	133	-	-	-	25	60	56sin(ωt-60°)	65sin(ωt-131°)	-	-	85sin(ωt-120°)	0
63	1.21	-	70	-	-	241	80	17	-	-	55	113cos(ωt-90°)	0	-	-	57sin(ωt-125°)	0
64	1.28	7	-	27	16	-	-	-	65	-	140	141sinωt	0	-	-	181cosωt	216sinωt
65	1.33	-	-	64	25	-	100	-	65	-	100	141sin(ωt-15°)	0	-	-	0	282sin(ωt-335°)
66	1.21	-	237	-	-	28	33	17	-	-	80	0	113sin(ωt-95°)	-	-	40sin(ωt+5°)	40sin(ωt+85°)

Вариант	Рисунок	L ₁ , мГн	L ₂ , мГн	L ₃ , мГн	C _b , мкФ	C ₂ , мкФ	C ₃ , мкФ	R _b , Ом	R ₂ , Ом	R ₃ , Ом	f, Гц	e' ₁ , В	e'' ₁ , В	e' ₂ , В	e'' ₂ , В	e' ₃ , В	e'' ₃ , В
67	1.30	13	48	-	-	32	-	-	-	25	100	67sinωt	24sinωt	-	-	85sin(ωt-100°)	0
68	1.23	100	-	57	89	-	66	-	25	-	60	71sin(ωt-13°)	-	85sin(ωt-133°)	0	-	-
69	1.34	-	168	77	-	32	30	17	-	-	75	113sin(ωt-112°)	0	-	-	56sin(ωt-57°)	-
70	1.24	21	-	30	15	-	-	-	65	-	130	0	141sin(ωt+10°)	-	-	0	282sin(ωt-40°)
71	1.25	159	250	-	21	66	-	-	-	100	50	244sinωt	-	-	-	141sin(ωt-270°)	0
72	1.36	-	318	250	-	16	66	100	-	-	50	0	141sin(ωt+90°)	-	-	0	141sin(ωt+270°)
73	1.26	-	-	636	32	-	32	-	100	-	50	-	169sin(ωt+270°)	169sin(ωt+90°)	0	169sin(ωt-180°)	0
74	1.31	50	13	-	-	4	-	-	-	100	318	0	169sin(ωt-180°)	0	169cosωt	240sin(ωt+135°)	169sinωt
75	1.37	-	68	-	-	9	5	100	-	-	350	0	169sinωt	169cos(ωt-180°)	0	0	169sinωt
76	1.29	120	-	80	16	-	4	-	100	-	200	169sin(ωt-180°)	-	0	169sinωt	0	169sinωt
77	1.27	16	-	-	-	6	-	-	-	10	500	282cos(ωt-90°)	0	282sin(ωt+180°)	0	-	-
78	1.32	318	320	580	88	-	178	60	-	-	30	-	-	705sin(ωt-307°)	0	705sin(ωt+217°)	-
79	1.22	-	199	2000	40	318	16	-	25	-	20	566sinωt	0	-	-	705sin(ωt-270°)	-
80	1.38	320	360	279	40	20	57	-	-	70	40	141sin(ωt+330°)	-	141sin(ωt+270°)	0	-	-
81	1.35	-	48	-	53	159	-	-	-	10	100	99sin(ωt-70°)	0	179sinωt	0	-	-
82	1.40	8	0	-	-	53	-	-	-	25	150	71sin(ωt+90°)	0	-	-	73cosωt	42sin(ωt-180°)
83	1.21	-	35	-	-	120	40	17	-	-	110	113sin(ωt-90°)	0	-	-	57sin(ωt-35°)	0
84	1.28	14	-	55	33	-	-	-	65	-	70	100sin(ωt+45°)	100sin(ωt-45°)	-	-	282sin(ωt-50°)	0
85	1.33	-	-	38	13	-	33	-	65	-	100	141sin(ωt-285°)	0	-	-	282sin(ωt-65°)	0
86	1.39	-	21	25	-	-	36	17	-	-	90	0	113sin(ωt-5°)	-	-	56sin(ωt-40°)	0
87	1.30	6	24	-	-	16	-	-	-	25	200	70sin(ωt-70°)	0	-	-	84sinωt	15sin(ωt+90°)
88	1.23	201	-	0	177	-	265	-	25	-	30	71sin(ωt-103°)	-	85sin(ωt-43°)	0	-	-
89	1.34	-	168	0	-	32	59	17	-	-	75	60sin(ωt-34°)	60sin(ωt+180°)	-	-	56sin(ωt+213°)	-
90	1.24	10	-	15	8	-	-	-	65	-	260	0	141sin(ωt+10°)	-	-	0	282sin(ωt-40°)
91	1.25	318	125	-	5	33	-	-	-	100	100	141sinωt	-	-	-	373sin(ωt-311°)	282sin(ωt-120°)
92	1.36	-	1600	250	-	5	66	100	-	-	50	0	141cosωt	-	-	0	141sinω
93	1.26	-	-	159	16	-	-	-	100	-	100	-	169sin(ωt-90°)	169sinωt	0	120sin(ωt+45°)	120sin(ωt-135°)
94	1.31	159	40	-	-	13	-	-	-	100	100	-	169sin(ωt+180°)	0	169cos(ωt-90°)	169sin(ωt+90°)	0
95	1.37	-	238	-	-	32	16	100	-	-	100	0	169sinωt	169sin(ωt-180°)	0	240sin(ωt+45°)	169cos(ωt-90°)
96	1.29	60	-	40	8	-	2	-	100	-	400	169sin(ωt-180°)	-	-	169sinωt	-	0
	1.27	32	-	-	-	11	-	-	-	10	250	0	282sin(ωt-90°)	-	325sin(ωt-30°)	-	-
	1.32	80	80	145	22	-	45	60	-	-	120	-	-	-	0	-	-
	1.22	-	0	2000	40	-	16	-	25	-	20	440sin(ωt-316°)	392sin(ωt+40°)	-	-	705cos(ωt-270°)	-
100	1.38	160	180	0	20	10	-	-	-	70	80	141sin(ωt+60°)	-	141sin(ωt+270°)	0	-	-

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №2

Трехфазные цепи, периодические несинусоидальные токи, электрические фильтры

Задача 2.1.

На рис. 2.1 - 2.20 приведены схемы трехфазных цепей, состоящих из трехфазного генератора и симметричного трехфазного приемника. Фазы генератора соединены звездой, а приемника - либо звездой, либо треугольником. Генератор и приемник соединяются линейными проводами, которые в общем случае обладают комплексным сопротивлением (R , X). Генератор создает симметричную систему ЭДС. Действующее значение ЭДС одной фазы E , период ее изменения T , параметры элементов линии и приемника приведены в табл.2.1. Внутреннее сопротивление обмоток генератора и начальная фаза э.д.с. равны нулю. Задача заключается в расчете трехфазной цепи в симметричном и несимметричном режимах. Принимается, что несимметрия режима возникает вследствие короткого замыкания (к.з.) или обрыва (х.х.) каких-либо элементов только в одной фазе. Несимметрия задана в табл. 2.1 с указанием того, в какой фазе и на каком участке несимметрия. Например, для варианта № 5 указано, что обрыв X_{C1bc} , что соответствует отключению конденсатора в фазе bc приемника.

Требуется:

1. Рассчитать токи во всех ветвях в симметричном режиме.
2. Рассчитать токи во всех ветвях в несимметричном режиме.
3. Рассчитать потенциалы всех точек и построить топографическую диаграмму потенциалов, принимая потенциал нейтральной точки генератора N равным нулю, и векторную диаграмму токов.
4. Из топографической диаграммы определить напряжение между двумя заданными точками и записать мгновенное значение (синусоиду) этого напряжения.
5. Составить уравнения баланса активных и реактивных мощностей и проверить сходимость.
6. Сравнить результаты расчетов в двух режимах.

Задача 2.2.

На рис. 2.21 приведены схемы электрических цепей, на входе которых действует периодическое несинусоидальное напряжение $u_1(t)$ и нагрузка которых характеризуется активным сопротивлением R_H (на схеме не показана). Максимальное значение входного напряжения U_m , период напряжения T и параметры элементов схемы L , C , R_H , приведены в табл. 2.3. Графики напряжения $u_1(t)$ приведены на рис. 2.22 - 2.29.

1. Разложить несинусоидальное напряжение $u_1(t)$ в ряд Фурье до 5-й гармоники включительно.
2. Вывести формулу, связывающую комплексные амплитуды напряжений на нагрузке \dot{U}_{m2} и на входе \dot{U}_{m1} .
3. По полученной формуле рассчитать напряжение на нагрузке \dot{U}_{m2} для 1-й, 3-й и 5-й гармоник, а также постоянную составляющую \dot{U}_{02} (если она имеется).
4. Записать мгновенное значение напряжения на нагрузке в виде ряда Фурье.
5. Построить векторную диаграмму для первой гармоники.

Задача 2.3.

Схемы, приведенные в задаче 2.2, рассматриваются как схемы фильтра, работающего на согласованную нагрузку.

Требуется:

1. Определить значения граничных частот полосы прозрачности фильтра (частот среза).
2. Качественно построить графики зависимости характеристического сопротивления Z_c , постоянной ослабления A (коэффициента затухания) и постоянной фазы B (коэффициента фазы) в функции частоты ω
3. На вход низкочастотного фильтра подать напряжение 1-й гармоники из п.1 задачи 2.2, на вход высокочастотного фильтра - 3-ю гармонику этого напряжения. Определить числовые значения постоянной передачи $\Gamma = A + jB$, характеристического сопротивления Z_c , напряжений и токов во всех ветвях схемы и построить по ним векторную диаграмму токов и напряжений.

Методические указания по выполнению контрольной работы № 2

Задача 2.1.

1. Симметричный режим

Комплексные действующие значения ЭДС генератора равны

$$\dot{E}_A = E_A, \quad \dot{E}_B = \dot{E}_A \cdot e^{-j120^\circ}, \quad \dot{E}_C = \dot{E}_A \cdot e^{j120^\circ}. \quad (2.1)$$

Так как комплексные сопротивления всех фаз одинаковые, то линейные токи определяются так:

$$\dot{I}_A = \dot{E}_A / \underline{Z}_3, \quad \dot{I}_B = \dot{I}_A \cdot e^{-j120^\circ}, \quad \dot{I}_C = \dot{I}_A \cdot e^{j120^\circ}, \quad (2.2)$$

где Z_3 - эквивалентное комплексное сопротивление одной фазы, включающее как сопротивление приемника, так и элементов в линейных проводах. Если приемники соединены треугольником, то последний преобразуется в эквивалентное соединение звездой. Тогда токи фазные определяются по формулам

$$\dot{I}_{ab} = \dot{I}_A e^{j30^\circ} / \sqrt{3}, \quad \dot{I}_{bc} = \dot{I}_{ab} e^{-j120^\circ}, \quad \dot{I}_{ca} = \dot{I}_{ab} e^{j120^\circ}. \quad (2.3)$$

2. Несимметричный режим

В несимметричном режиме работы трехфазной цепи эквивалентные комплексные сопротивления отдельных фаз не равны между собой. При соединении приемников звездой между нейтральными точками приемника и генератора возникает напряжение. Так как схема содержит всего два узла (n, N), то целесообразно воспользоваться методом узловых потенциалов (методом двух узлов). Тогда напряжение

$$U_{nN} = \frac{\dot{E}_A \cdot \underline{Y}_a + \dot{E}_B \cdot \underline{Y}_b + \dot{E}_C \cdot \underline{Y}_c}{\underline{Y}_a + \underline{Y}_b + \underline{Y}_c}, \quad (2.4)$$

где $\underline{Y}_a, \underline{Y}_b, \underline{Y}_c$ - комплексные проводимости, определяемые как величины, обратные соответствующим эквивалентным комплексным сопротивлениям,

$$\underline{Y}_a = \frac{1}{\underline{Z}_{la} + \underline{Z}_a} = \frac{1}{\underline{Z}_{\alpha a}}, \quad \underline{Y}_b = \frac{1}{\underline{Z}_{lb} + \underline{Z}_b} = \frac{1}{\underline{Z}_{\alpha b}}, \quad \underline{Y}_c = \frac{1}{\underline{Z}_{lc} + \underline{Z}_c} = \frac{1}{\underline{Z}_{\alpha c}}.$$

Линейные токи находят по формулам

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{E}_A - \dot{U}_{nN}}{\underline{Z}_{\partial a}}, \quad \dot{I}_B = \frac{\dot{E}_B - \dot{U}_{nN}}{\underline{Z}_{\partial b}}, \quad \dot{I}_C = \frac{\dot{E}_C - \dot{U}_{nN}}{\underline{Z}_{\partial c}}.$$

Рассчитанные значения токов следует проверить по первому закону Кирхгофа:

$$\sum \dot{I}_l = 0, \quad \dot{I}_A = -(\dot{I}_B + \dot{I}_C).$$

Токи в параллельных ветвях определяют по закону Ома в комплексной форме, для чего необходимо предварительно рассчитать падение напряжения на соответствующем участке. Так, например, если на участке $a - n$ есть параллельные ветви, то $\dot{U}_{an} = \underline{Z}_{an} \cdot \dot{I}_A$ (\underline{Z}_{an} - эквивалентное сопротивление параллельного участка).

Если фазы приемника соединены треугольником и несимметрия возникает из-за обрыва одной фазы приемника, то в результате также образуется несимметричная «звезда» и расчеты проводятся аналогично. Если несимметрия возникает вследствие короткого замыкания элементов в линейном проводе, то необходимо вначале соединить треугольником преобразовать в эквивалентное соединение в виде звезды, затем рассчитать \dot{U}_{nN} по (2.4) и токи по (2.5). Для расчета фазных токов «треугольника» определяют фазные напряжения \dot{U}_{ab} , \dot{U}_{bc} , \dot{U}_{ca} из уравнений, составленных по второму закону Кирхгофа. Например, предположим, что фазы «треугольника» присоединены к точкам a , b , c (рис. 2.30) и \underline{Z}_a , \underline{Z}_b , \underline{Z}_c - сопротивления «звезды», эквивалентной преобразованному «треугольнику».

Тогда

$$\dot{U}_{ab} = \underline{Z}_a \cdot \dot{I}_a - \underline{Z}_b \cdot \dot{I}_b, \quad \dot{I}_{ab} = \frac{\dot{U}_{ab}}{\underline{Z}_{ab}}.$$

3. Для построения топографической диаграммы предварительно рассчитывают потенциалы всех точек и изображаются соответствующие им вектора на комплексной плоскости. При этом принимается, что потенциал нейтральной точки генератора равняется нулю. На этом же рисунке изображаются вектора токов в линейных проводах и во всех ветвях.

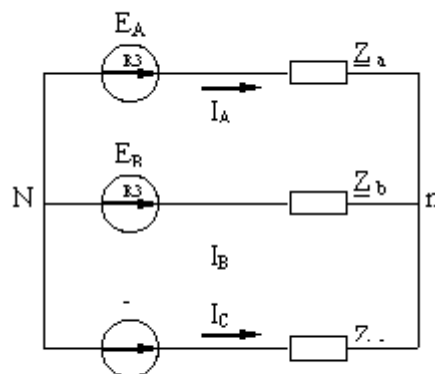


Рис. 2.30

4. Из топографической диаграммы напряжение между любыми двумя точками определяется как разность соответствующих векторов. Например,

$$\dot{\varphi}_k = 100 + j50, \text{ В} \quad \dot{\varphi}_c = 200 + j150, \text{ В}$$

$$\dot{U}_{kc} = \dot{\varphi}_k - \dot{\varphi}_c = 100 + j50 - 200 - j150 = -100 - j100 = 100\sqrt{2} \cdot e^{j225^\circ}, \text{ В}.$$

Такому комплексному действующему значению напряжения соответствует синусоида напряжения

$$u_{kc} = 141\sqrt{2} \sin(\omega t + 225^\circ).$$

5. Баланс мощностей

Полная комплексная мощность генератора рассчитывается по формулам

$$\underline{S}_G = \dot{E}_A \cdot I_A^* + \dot{E}_B \cdot I_B^* + \dot{E}_C \cdot I_C^* = P_G \pm jQ_G,$$

где I_A^* , I_B^* , I_C^* - сопряженные комплексные токи.

Активная и реактивная мощность в элементах линии и приемника равны

$$P_{np} = \sum_{k=1}^n (R_k \cdot I_k^2), \quad Q_{np} = \sum_{e=1}^n [(X_{Le} - X_{Ce}) \cdot I_e^2],$$

где n - число резистивных или реактивных элементов в схеме.

Задача 2.2

Электрические цепи при несинусоидальных токах и напряжениях рассчитываются методом наложения. Это означает, что необходимо рассчитывать токи и напряжения при действии на входе цепи напряжения каждой гармоники в отдельности. При этом расчеты для отдельных гармоник выполняются так же, как и цепей при синусоидальных напряжениях, т.е. используются символический метод, известные методы расчета, векторные диаграммы и т.д. Постоянные составляющие рассчитываются по правилам расчета цепей постоянного тока, принимая при этом, что индуктивное сопротивление равно нулю, а емкостное - бесконечно велико. Результирующие несинусоидальные токи и напряжения находятся как алгебраическая сумма мгновенных значений всех гармоник и постоянной составляющей. Для таких расчетов несинусоидальное напряжение источника предварительно разлагается в ряд Фурье.

1. Для разложения напряжения $u_1(t)$ в ряд Фурье можно воспользоваться формулами, приведенными в учебниках (Бессонов Л.А., табл. 8.1, Ионкин П.А., прил. 3), если к ним прибавить постоянную составляющую, равную $U_m/2$, для кривых на рис. 2.22 - 2.29,

при этом угол $\alpha = \frac{\omega T}{12} = 2\pi/12$ - для рис. 2.22,

$$\frac{\alpha\pi}{2} = \frac{2\omega T}{2 \cdot 12} = \pi/6 \text{ - для рис. 2.29,}$$

$$\alpha = \frac{\omega T}{6} = \pi/3 \text{ - для рис. 2.23,}$$

$$\frac{\alpha\pi}{2} = \frac{\omega T}{2 \cdot 6} = \pi/6 \text{ - для рис. 2.28.}$$

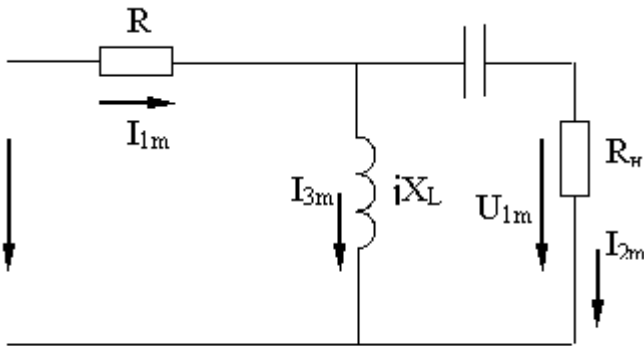
Кроме того, кривые по рис. 2.23, 2.25, 2.27 сдвинуты относительно начала координат на $T/4$ влево и для учета этого в формулах вместо t надо записать $(t + T/4)$, а по рис. 2.28 - вправо, чему соответствует $(t - T/4)$.

Для примера приведем выражение ряда Фурье для $u_1(t)$ по рис. 2.28

$$u_1(t) = \frac{U_m}{2} + \frac{2U_m}{\pi} \left[\sin \frac{\omega T}{12} \cdot \cos \omega \left(t - \frac{T}{4} \right) + \frac{1}{3} \sin \frac{3\omega T}{12} \cdot \cos 3\omega \left(t - \frac{T}{4} \right) + \frac{1}{5} \sin \frac{5\omega T}{12} \cdot \cos 5\omega \left(t - \frac{T}{4} \right) \right] = \quad (2.7)$$

$$\frac{U_m}{2} + \frac{2U_m}{\pi} \left[\frac{1}{2} \sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5 \cdot 2} \sin 5\omega t \right].$$

2. Вывод формулы для напряжения на нагрузке рассмотрим на примере рис. 2.31. Уравнение по второму закону Кирхгофа



$$\dot{U}_{m1} = R_1 \cdot \dot{I}_{m1} + (-jX_C) \cdot \dot{I}_{m2} + \dot{U}_{m2}.$$

Токи выразим через напряжение \dot{U}_{m2} :

$$\dot{I}_{m2} = \dot{U}_{m2} / R_n,$$

$$\dot{I}_{m1} = \dot{I}_{m2} + \dot{I}_{m3} = \frac{\dot{U}_{m2}}{R_n} + \frac{\dot{U}_{m3}}{jX_L},$$

$$\dot{U}_{m3} = -jX_C \dot{I}_{m2} + \dot{U}_{m2},$$

$$\dot{I}_{m1} = \frac{\dot{U}_{m2}}{R_n} + \frac{\dot{U}_{m2} + (-jX_C) \cdot \frac{\dot{U}_{m2}}{R_n}}{jX_L}.$$

Подставив токи в исходное выражение, получим

$$\dot{U}_{m2} = \dot{U}_{m1} \frac{jX_L R_n}{R_1 R_n + X_L X_C + j(R_1 X_L - R_1 X_C + X_L R_n)}. \quad (2.8)$$

3. При расчете напряжения по этой формуле необходимо учитывать изменение сопротивлений для разных гармоник, а именно:

$$X_{Lk} = k\omega L; \quad X_{Ck} = \frac{1}{k\omega C},$$

где k - номер гармоники.

4. Предположим, что в результате расчетов получены амплитуды гармоник:

$$\dot{U}_{m2}^{(1)} = 100e^{j50^\circ}, \quad \dot{U}_{m2}^{(3)} = 20e^{j42^\circ}, \quad \dot{U}_{m2}^{(5)} = 12e^{-j189^\circ}.$$

Тогда для напряжения на выходе ряд Фурье запишется в следующем виде:

$$u_2 = \frac{U_m}{2} + 100 \sin(\omega t + 50^\circ) + 20 \sin(3\omega t - 42^\circ) + 12 \sin(5\omega t - 189^\circ). \quad (2.9)$$

Для рис.2.21а, 2.21б постоянной составляющей не будет.

Задача 2.3

Электрические фильтры предназначены для пропускания или задерживания сигналов определенной полосы частот. Низкочастотные фильтры (НЧФ) пропускают сигналы в диапазоне частот (в полосе пропускания или прозрачности) от $\omega_1 = 0$ до ω_2 , а высокочастотные (ВЧФ) - от ω_1 до $\omega_2 = \infty$. Для анализа свойств фильтров пользуются уравнениями симметричного четырехполюсника в гиперболических функциях

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{U}_2 \text{ch} \underline{\Gamma} + \dot{I}_2 \underline{Z}_c \text{sh} \underline{\Gamma}; \\ \dot{I}_1 &= \dot{U}_2 \text{sh} \underline{\Gamma} / \underline{Z}_c + \dot{I}_2 \text{ch} \underline{\Gamma}, \end{aligned} \quad (2.10)$$

где $\underline{\Gamma} = A + jB$ - постоянная передачи четырехполюсника; A - постоянная ослабления; B -

постоянная фазы. Иногда эти параметры фильтров обозначают так: $\gamma = a + jb$.

Комплексная величина $\underline{\Gamma}$ характеризует изменение напряжения (или а как по величине, так и по фазе передаче его фильтром от входа на выход согласованной нагрузке Из уравнений 2.10 получаем соотношений

$$\dot{U}_1 / \dot{U}_2 = ch\underline{\Gamma} + sh\underline{\Gamma} = e^{\underline{\Gamma}} = e^A \cdot e^{jB}. \quad (2.11)$$

Так как комплексные выражения в общем случае равны

$$\dot{U}_1 = U_1 e^{j\varphi_1}, \quad \dot{U}_2 = U_2 e^{j\varphi_2}.$$

В полосе прозрачности фильтр пропускает сигнал без ослабления, поэтому U_2 , т.е.

$$A = 0.$$

Из теории четырехполосника известно, что для Т- и П-образных схем справедливо выражение

$$ch\underline{\Gamma} = ch(A + jB) = 1 + \frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_2}. \quad (2.13)$$

У низкочастотных фильтров $\underline{Z}_1 = j\omega L$, $\underline{Z}_2 = \frac{1}{j\omega C}$, поэтому

$$ch\underline{\Gamma} = 1 + \frac{j\omega L}{1/j\omega C} = 1 - \omega^2 LC$$

есть всегда действительное (вещественное) число

$$ch(A + jB) = chA \cdot \cos B + jshA \cdot \sin B.$$

Следовательно,

$$chA \cdot \cos B = 1 - \omega^2 LC. \quad (2.14)$$

Из этого выражения можно определить граничную частоту НЧФ.

1. Поскольку в полосе пропускания $A = 0$, то в (2.14) $chA = 1$ и $\cos B$

Косинус изменяется от +1 до -1:

$1 = 1 - \omega_1^2 LC$, отсюда $\omega_1 = 0$ - нижняя граница полосы пропускания;

$-1 = 1 - \omega_2^2 LC$, отсюда $\omega_2 = \sqrt{\frac{2}{LC}}$ - верхняя граница полосы пропускания.

Следует обратить внимание на то, что параметры элементов фильтров в разных учебниках обозначены по-разному, например L , $L/2$, $2L$ и т.д. Поэтому формулы в разных учебниках могут отличаться. Здесь приведены формулы по учебнику Л.А. Бессонова.

Для ВЧФ комплексные сопротивления равны:

$$\underline{Z}_1 = \frac{1}{j\omega C}, \quad \underline{Z}_2 = j\omega L, \quad chA \cdot \cos B = 1 - \frac{1}{\omega^2 LC}, \quad chA = 1, \quad (2.15)$$

$-1 = 1 - \frac{1}{\omega_1^2 LC}$, отсюда $\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{2LC}}$ - нижняя граничная частота;

$1 = 1 - \frac{1}{\omega_2^2 LC}$, отсюда $\omega_2 = \infty$ - верхняя граничная частота.

2. Для выполнения этого пункта можно воспользоваться материалом учебника (Бессонов Л.А., §13.3; Ионкин П.А. §14.3).

3. Характеристическое сопротивление определяется по формулам НЧФ

$$Z_{cm} = \sqrt{\frac{2L}{C} \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_2^2}\right)} \text{ - для } \Gamma \text{ - схемы;} \quad (2.16)$$

$$Z_{cn} = \frac{\sqrt{\frac{L}{2C}}}{\sqrt{1 - \frac{\omega^2}{\omega_2^2}}} \text{ - для } \Pi \text{ - схемы,} \quad (2.17)$$

где ω - частота, для которой определяется характеристическое сопротивление.

Расчеты токов и напряжений на всех участках выполняются так же, как и обычных электрических цепей. При этом можно воспользоваться любым методом расчета цепей синусоидального тока. На векторной диаграмме откладываются вектора токов и напряжений в масштабе. По данным расчета определяются постоянные передачи Γ , коэффициент затухания A и коэффициент фазы B :

$$\frac{U_1}{U_2} = e^A; \quad A = \ln \frac{U_1}{U_2}; \quad e^{j(\varphi_1 - \varphi_2)} = e^{jB}; \quad B = \varphi_1 - \varphi_2; \quad \underline{\Gamma} = A + jB.$$

Таблица 2.1

Ва- риант	Рису- нок	$E_A,$ В	$T,$ с	$L,$ мГн	C_1 мкФ	$C_2,$ мкФ	$R_1,$ Ом	$R_2,$ Ом	Оп- ределить	к.з.	Об- рыв
1	2.1	100	0,015	22	276	-	4	9	u_{bc}		R_{2a}
2	2.2	80	0,015	18	598	138	-	17	u_{bc}		X_{C2a}
3	2.3	60	0,015	5	398	-	8	2	u_{bc}		R_{2b}
4	2.4	40	0,015	36	120	-	26	-	u_{bc}		R_{1ab}
5	2.5	20	0,015	18	80	-	4	-	u_{bc}		X_{C1bc}
6	2.6	90	0,015	108	120	-	9	-	u_{bc}		X_{Lca}
7	2.7	70	0,015	41	175	-	17	-	u_{bc}		X_{C1a}
8	2.8	50	0,015	9,75	138	-	17	-	u_{bc}		X_{Lab}
9	2.9	30	0,015	24	479	-	17	-	u_{bc}	R_{1a}	
10	2.10	10	0,015	36	211	138	17	-	u_{bc}	R_{1b}	
11	2.11	20	0,015	22	276	-	4	9	u_{bc}	X_{LC}	
12	2.12	160	0,015	18	598	138	-	17	u_{bc}	R_{2a}	
13	2.13	120	0,015	5	398	-	8	2	u_{bc}		R_{2b}
14	2.14	80	0,015	36	40	-	26	-	u_{bc}		R_{1ca}
15	2.15	40	0,015	18	957	80	9	-	u_{bc}	X_{LC}	
16	2.16	180	0,015	108	120	-	26	-	u_{bc}		R_{1bc}
17	2.17	140	0,015	41	175	-	17	-	u_{bc}		R_{1b}
18	2.18	100	0,015	9	138	-	17	-	u_{bc}		R_{1c}
19	2.19	60	0,015	24	479	-	17	-	u_{bc}	R_{1a}	
20	2.20	20	0,015	36	211	138	17	-	u_{bc}	X_{C1b}	
21	2.1	100	0,02	30	368	-	4	9	u_{ca}		R_{2b}
22	2.2	80	0,02	24	796	184	-	17	u_{ca}		X_{C1ca}
23	2.3	60	0,02	6	530	-	8	2	u_{ca}		R_{2c}
24	2.4	40	0,02	48	159	-	26	-	u_{ca}		R_{1bc}
25	2.5	20	0,02	24	106	-	4	-	u_{ca}		X_{C1ca}
26	2.6	90	0,02	143	159	-	9	-	u_{ca}		X_{Lab}
27	2.7	70	0,02	55	233	-	17	-	u_{ca}	X_{C1b}	
28	2.8	50	0,02	12	184	-	-17	-	u_{ca}		X_{Lbc}
29	2.9	30	0,02	32	637	-	17	-	u_{ca}	R_{1b}	1
30	2.10	10	0,02	48	281	184	17	-	u_{ca}	R_{1c}	
31	2.11	200	0,02	30	368	-	4	9	u_{ca}	X_{La}	
32	2.12	160	0,02	24	796	184	-	17	u_{ca}	R_{2b}	
33	2.13	120	0,02	6	530	-	8	2	u_{ca}		R_{2c}
34	2.14	80	0,02	48	53	-	26	-	u_{ca}		R_{1ab}
35	2.15	40	0,02	24	1275	106	9	-	u_{ca}	X_{La}	
36	2.16	180	0,02	143	159	-	26	-	u_{ca}		R_{1bc}
37	2.17	140	0,02	55	233	-	17	-	u_{ca}		R_{1c}
38	2.18	100	0,02	12	184	-	17	-	u_{ca}		R_{1a}
39	2.19	60	0,02	32	637	-	17	-	u_{ca}	R_{1b}	
40	2.20	20	0,02	48	281	184	17	-	u_{ca}		R_{clc}
41	2.1	100	0,025	37	462	-	4	9	u_{md}		R_{2c}
42	2.2	80	0,025	31	1000	230	-	17	u_{md}		X_{C2c}
43	2.3	60	0,025	8	666	-	8	2	u_{md}		R_{2a}
44	2.4	40	0,025	60	200	-	26	-	u_{md}		R_{1ca}
45	2.5	20	0,025	30	133	-	4	-	u_{md}		X_{C1ab}
46	2.6	90	0,025	180	200	-	9	-	u_{md}		X_{Lbc}
47	2.7	70	0,025	69	293	-	17	-	u_{Ab}	X_{C1b}	
48	2.8	50	0,025	15	231	-	17	-	u_{Ab}		X_{Lbc}
49	2.9	30	0,025	40	800	-	17	-	u_{Ab}	R_{1c}	
50	2.10	10	0,025	60	353	231	17	-	u_{md}	R_{1a}	
51	2.11	200	0,025	37	462	-	4	9	u_{md}	X_{Lb}	
52	2.12	160	0,025	31	1000	230	-	17	u_{md}	R_{2c}	

Окончание табл. 2.1

Ва- риант	Рису- нок	$E_A,$ В	$T,с$	$L,$ мГн	C_1 мкФ	$C_2,$ мкФ	$R_1,$ Ом	$R_2,$ Ом	Опреде- лить	к.з.	Об- рыв
53	2.13	120	0,025	8	666	-	8	2	u_{md}		R_{2a}
54	2.14	80	0,025	60	67	-	26	-	u_{Ab}		R_{1bc}
55	2.15	40	0,025	30	1600	134	9	-	u_{md}	X_{Lb}	
56	2.16	180	0,025	180	200	-	26	-	u_{Ab}		R_{1cb}
57	2.17	140	0,025	69	293	-	17	-	u_{Ab}		R_{1a}
58	2.18	100	0,025	15	131	-	17	-	u_{Ab}		R_{1b}
59	2.19	60	0,025	40	800	-	17	-	u_{Ab}	R_{1c}	
60	2.20	20	0,025	60	352	231	17	-	u_{Ab}	X_{C1a}	
61	2.1	100	0,04	59	735	-	4	9	u_{dk}		R_{2a}
62	2.2	80	0,04	49	1592	368	-	17	u_{dk}		X_{C2a}
63	2.3	60	0,04	13	1061	-	8	2	u_{dk}		R_{2b}
64	2.4	40	0,04	96	318	-	26	-	u_{dk}		R_{1ab}
65	2.5	20	0,04	48	212	-	4	-	u_{dk}		X_{C1bc}
66	2.6	90	0,04	287	318	-	9	-	u_{dk}		X_{Lca}
67	2.7	70	0,04	110	466	-	17	-	u_{bc}	X_{C1a}	
68	2.8	50	0,04	23	368	-	17	-	u_{bc}		X_{Lab}
69	2.9	30	0,04	64	1274	-	17	-	u_{bc}	R_{1a}	
70	2.10	10	0,04	96	562	38	17	-	u_{dk}	R_{1b}	
71	2.11	200	0,04	60	735	-	4	9	u_{dk}	X_{Lc}	
72	2.12	160	0,04	49	1592	368	-	17	u_{dk}	R_{2a}	
73	2.13	120	0,04	13	1062	-	8	2	u_{dk}		R_{2b}
74	2.14	80	0,04	96	106	-	26	-	u_{bc}		R_{1ca}
75	2.15	40	0,04	48	2547	212	9	-	u_{dk}	X_{Lc}	
76	2.16	180	0,04	287	318	-	26	-	u_{bc}		R_{1ab}
77	2.17	140	0,04	110	446	-	17	-	u_{bc}		R_{1b}
78	2.18	100	0,04	23	368	-	17	-	u_{bc}		R_{1c}
79	2.19	60	0,04	64	1274	-	17	-	u_{bc}	R_{1a}	
80	2.20	20	0,04	96	562	368	17	-	u_{bc}	X_{C1b}	
81	2.1	100	0,01	15	184	-	4	9	u_{ab}		R_{2b}
82	2.2	80	0,01	12	398	92	0	17	u_{ab}		X_{C2b}
83	2.3	60	0,01	3	265	-	9	2	u_{ab}		R_{2c}
84	2.4	40	0,01	24	80	-	26	-	u_{ab}		R_{1bc}
85	2.5	20	0,01	12	53	-	4	-	u_{ab}		X_{C1ca}
86	2.6	90	0,01	72	80	-	9	-	u_{ab}		X_{Lab}
87	2.7	70	0,01	28	117	-	17	-	u_{ab}	X_{C1b}	
88	2.8	50	0,01	6	92	-	17	-	u_{ab}		X_{Lbc}
89	2.9	30	0,01	16	318	-	17	-	u_{ab}	R_{1b}	
90	2.10	10	0,01	24	140	92	17	-	u_{ab}	R_{1c}	
91	2.11	200	0,01	15	184	-	4	9	u_{ab}	X_{La}	
92	2.12	160	0,01	12	398	92	-	17	u_{ab}	R_{2b}	
93	2.13	120	0,01	3	265	-	8	2	u_{ab}		R_{2c}
94	2.14	80	0,01	24	27	-	26	-	u_{ab}		R_{1ab}
95	2.15	40	0,01	12	637	53	9	-	u_{ab}	X_{La}	
96	2.16	180	0,01	72	80	-	26	-	u_{ab}		R_{1bc}
97	2.17	140	0,01	28	117	-	17	-	u_{ab}		R_{1c}
98	2.18	100	0,01	6	92	-	17	-	u_{ab}		R_{1a}
99	2.19	60	0,01	16	318	-	17	-	u_{ab}	R_{1b}	
100	2.20	20	0,01	24	140	92	17	-	u_{ab}	X_{C1c}	

Таблица 2.2

Вариант	L, мГн	C, мкФ	T, мс	U _м , В	R _н , Ом	Рисунок с изобр. схемы	Рисунок с графиком
1	1,44	0,8	0,48	12	35,4	2.21,б	2.27
2	11	4	2	100	65,7	2.21,в	2.26
3	0,5	0,4	0,167	50	27	2.21,г	2.25
4	0,4	0,5	0,159	50	36,4	2.21,а	2.23
5	0,7	0,24	0,134	45	41,4	2.21,б	2.24
6	5	1	0,625	25	86,5	2.21,в	2.27
7	5,6	2,28	1,20	48,5	38,6	2.21,г	2.26
8	2,52	1,4	0,63	17	55,0	2.21,а	2.26
9	4,2	1,44	0,8	40	41,4	2.21,б	2.25
10	20	1	1,67	80	185	2.21,в	2.24
11	1	1	0,314	100	25	2.21,г	2.27
12	20	8	5,88	30	59	2.21,а	2.27
13	1,5	0,3	0,354	33,4	64,5	2.21,б	2.22
14	2,58	1,43	0,484	75	49,6	2.21,в	2.29
15	3	0,9	0,565	40	44,7	2.21,г	2.22
16	5,4	3	1,34	12,78	55,2	2.21,а	2.28
17	6,25	12,4	3,43	40	17,5	2.21,б	2.23
18	6,25	10	2,5	70	31,5	2.21,в	2.24
19	0,5	0,4	0,167	110	27	2.21,г	2.27
20	0,7	0,875	0,277	70	36,4	2.21,а	2.25
21	1,6	0,89	0,536	18,85	35,4	2.21,б	2.23
22	9,57	3,48	1,74	104,6	65,7	2.21,в	2.22
23	0,55	0,44	0,184	33,4	27	2.21,г	2.22
24	0,357	0,447	0,142	150	36,4	2.21,а	2.25
25	0,62	0,212	0,118	15	41,4	2.21,б	2.22
26	4,35	0,87	0,544	26,2	86,5	2.21,в	2.23
27	3,15	2,5	1,33	76	38,6	2.21,г	2.24
28	2,9	1,61	0,725	17	55,0	2.21,а	2.28
29	2,92	1	0,555	13,35	41,4	2.21,б	2.23
30	23	1,15	1,92	102,2	185	2.21,в	2.28
31	1,15	1,15	0,362	104,5	25	2.21,г	2.23
32	16,7	6,67	4,9	141	59	2.21,а	2.25
33	1,72	0,344	0,416	100	64,5	2.21,б	2.24
34	1,95	1,08	0,365	37,5	49,6	2.21,в	2.27
35	3,6	1,08	0,678	60	44,7	2.21,г	2.24
36	5,94	3,3	1,47	60	55,2	2.21,а	2.24
37	5,68	11,27	2,84	40	17,5	2.21,б	2.23
38	6,87	11	2,75	44,7	31,5	2.21,в	2.26
39	0,625	0,5	0,209	110	27	2.21,г	2.27
40	0,65	0,81	0,275	14,9	36,4	2.21,а	2.27
41	1,3	0,72	0,432	12	35,4	2.21,б	2.29
42	12,63	4,6	2,3	200	65,7	2.21,в	2.28
43	0,455	0,364	0,152	31,9	27	2.21,г	2.27
44	0,333	0,417	0,133	31,9	36,4	2.21,а	2.27
45	0,578	0,198	0,11	9,56	41,4	2.21,б	2.26
46	5,57	1,15	0,72	39,2	86,5	2.21,в	2.25
47	7,28	2,97	1,57	50,7	38,6	2.21,г	2.22
48	2,19	1,22	0,55	80	55	2.21,а	2.24
49	2,69	0,92	0,513	8,52	41,4	2.21,б	2.29
50	17,4	0,87	1,45	51,1	185	2.21,в	2.26
51	0,87	0,87	0,274	156,5	25	2.21,г	2.25
52	24	9,6	7,05	30	59	2.21,а	2.29

Окончание табл. 2.2

Вариант	$L, \text{мГн}$	$C, \text{мкФ}$	$T, \text{мс}$	$U_{\text{м}}, \text{В}$	$R_{\text{н}}, \text{Ом}$	Рисунок с избр. схемы	Рисунок с графиком
53	1,88	0,375	0,442	21,3	64,5	2.21,б	2.26
54	2,35	1,3	0,438	75	49,6	2.21,в	2.29
55	3,9	1,17	0,735	38,3	44,7	2.21,г	2.26
56	6,47	3,6	1,6	60	55,2	2.21,а	2.24
57	4,82	9,57	2,41	25,5	17,5	2.21,б	2.27
58	7,5	12	3	89,4	31,5	2.21,в	2.28
59	0,534	0,427	0,179	172,5	27	2.21,г	2.26
60	0,6	0,753	0,238	23,4	36,4	2.21,а	2.23
61	1,15	0,64	0,384	56,5	35,4	2.21,б	2.25
62	14,3	5,2	2,6	157	65,7	2.21,в	2.24
63	0,385	0,308	0,129	64	27	2.21,г	2.29
64	0,448	0,56	0,178	31,9	36,4	2.21,а	2.29
65	0,79	0,27	0,15	9,56	41,4	2.21,б	2.28
66	6	1,2	0,75	50	86,5	2.21,в	2.29
67	5,1	2,08	1,1	97	38,6	2.21,г	2.28
68	3,15	1,75	0,79	26,7	55	2.21,а	2.22
69	4,56	1,56	0,87	8,52	41,4	2.21,б	2.27
70	16	0,8	1,34	53,5	185	2.21,в	2.22
71	0,77	0,77	0,242	200	25	2.21,г	2.29
72	15,4	6,15	4,53	47	59	2.21,а	2.23
73	1,3	0,26	0,307	33,4	64,5	2.21,б	2.22
74	2,81	1,56	0,527	58,8	49,6	2.21,в	2.25
75	2,5	0,75	0,472	38,3	44,7	2.21,г	2.26
76	4,9	2,73	1,21	12,78	55,2	2.21,а	2.26
77	4,46	8,85	2,23	25,5	17,5	2.21,б	2.29
78	8,13	13	3,25	89,4	31,5	2.21,в	2.28
79	0,463	0,37	0,155	220	27	2.21,г	2.29
80	0,55	0,685	0,217	23,4	36,4	2.21,а	2.23
81	1,8	1	0,6	18,85	35,4	2.21,б	2.23
82	8,48	3,08	1,54	100	65,7	2.21,в	2.26
83	0,65	0,52	0,217	31,9	27	2.21,г	2.27
84	0,48	0,6	0,19	150	35,4	2.21,а	2.25
85	0,847	0,29	0,162	45	41,4	2.21,б	2.24
86	4,17	0,834	0,52	26,2	86,5	2.21,в	2.23
87	4,28	1,75	0,922	50,7	38,6	2.21,г	2.22
88	2,02	1,12	0,505	17	55	2.21,а	2.28
89	3,5	1,2	0,667	8,52	41,4	2.21,б	2.29
90	25	1,25	2,09	80	185	2.21,в	2.24
91	1,3	1,3	0,41	200	25	2.21,г	2.29
92	26	10,4	7,64	47	59	2.21,а	2.23
93	1,2	0,24	0,283	21,3	64,5	2.21,б	2.28
94	2,13	1,18	0,398	39,2	49,6	2.21,в	2.23
95	2,3	0,693	0,435	76,5	44,7	2.21,г	2.28
96	4,5	2,5	1,11	20	55,2	2.21,а	2.22
97	5,23	10,4	2,64	120	17,5	2.21,б	2.25
98	8,75	14	3,5	46,7	31,5	2.21,в	2.22
99	0,432	0,346	0,145	115	27	2.21,г	2.23
100	0,5	0,625	0,198	14,9	36,4	2.21,а	2.29

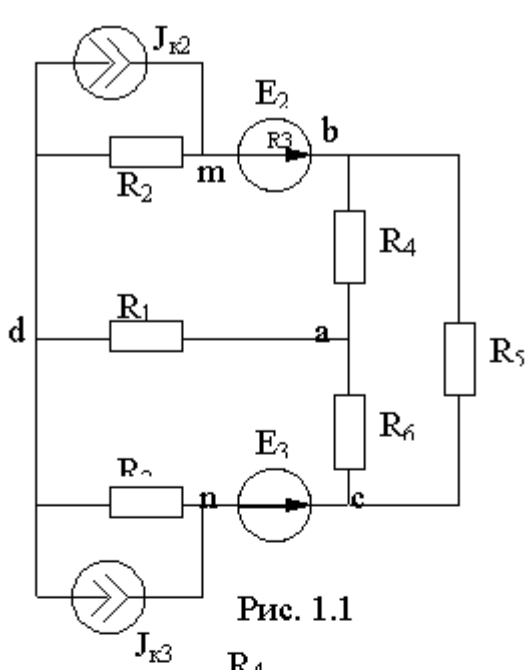


Рис. 1.1

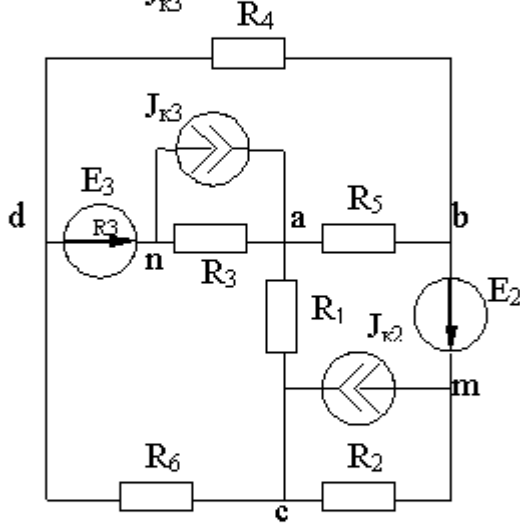
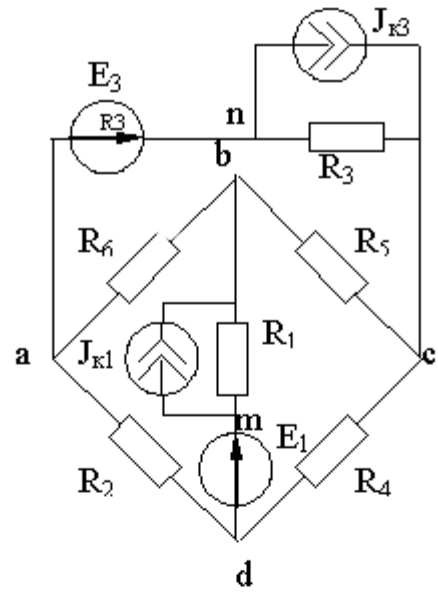


Рис. 1.3

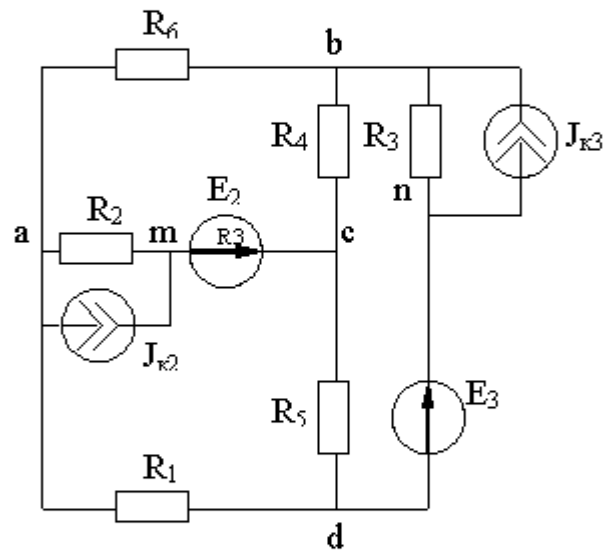


Рис. 1.4

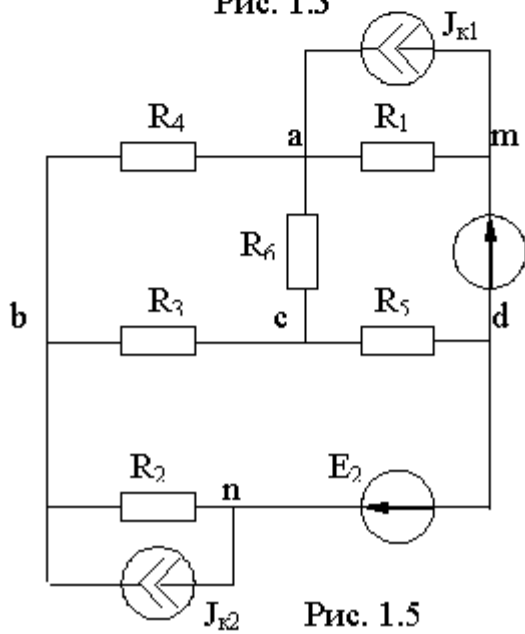


Рис. 1.5

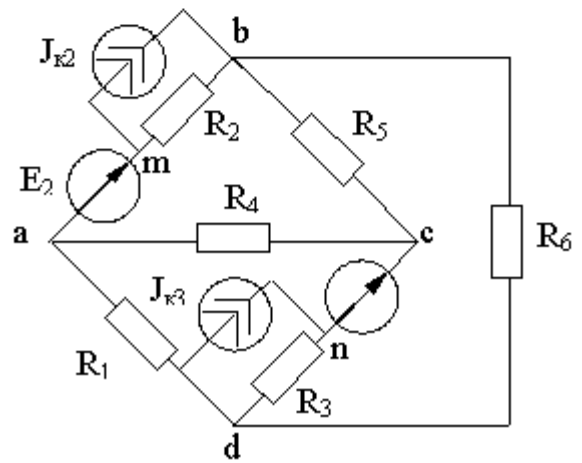


Рис. 1.6

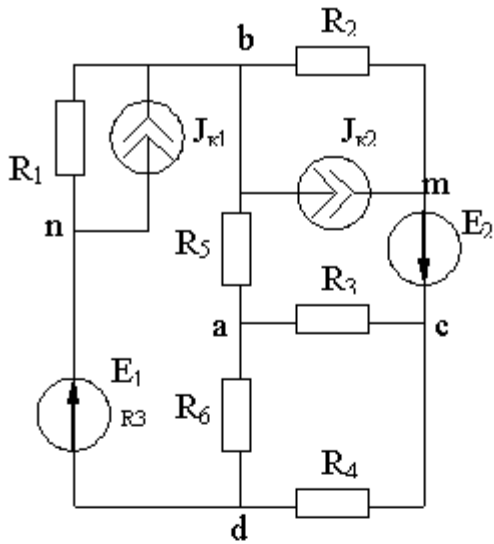


Рис. 1.7

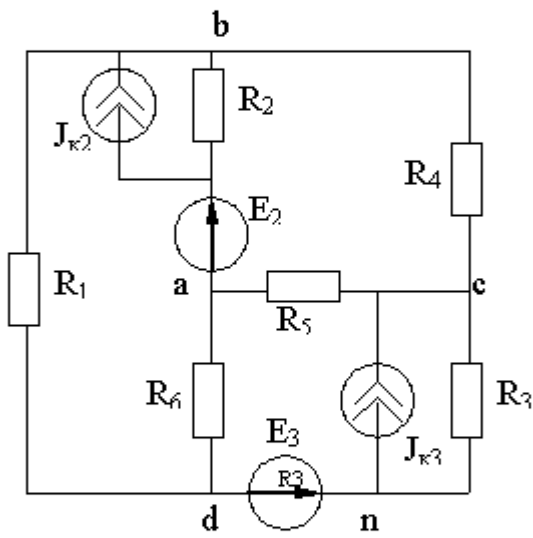
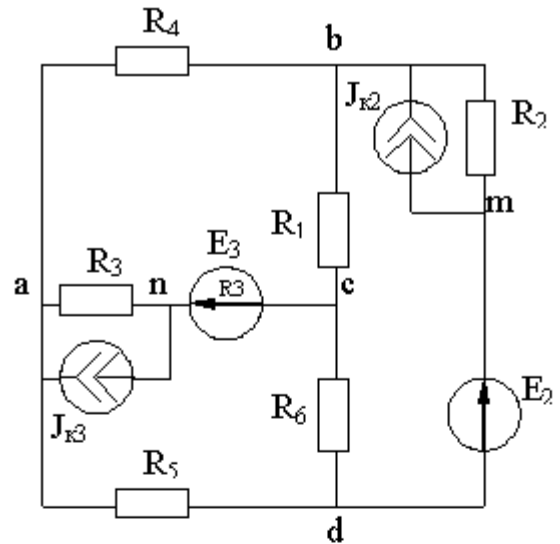


Рис. 1.9

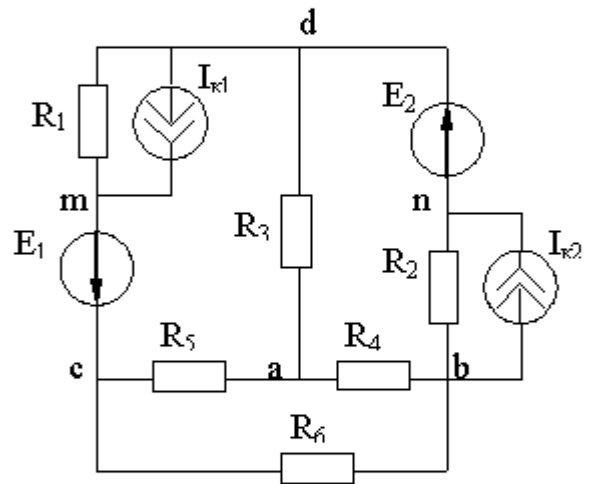


Рис. 1.10

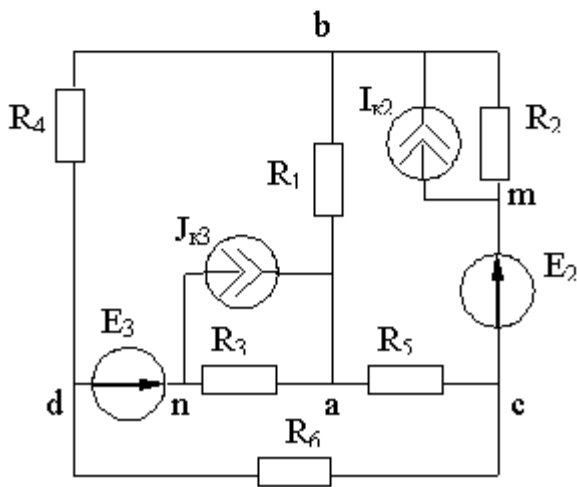


Рис. 1.11

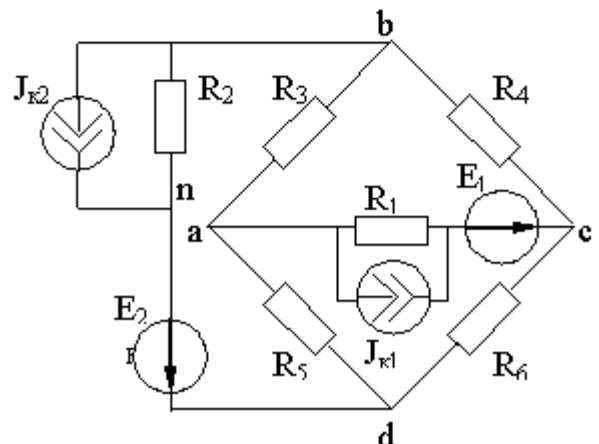


Рис. 1.12

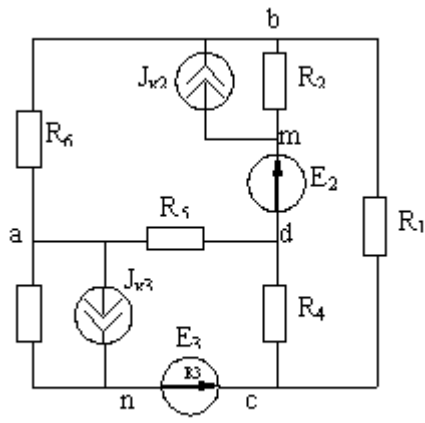


Рис. 1.14

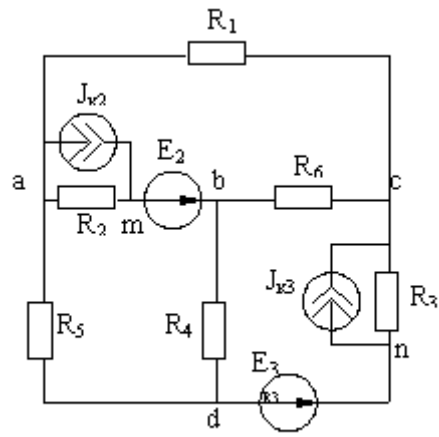


Рис. 1.13

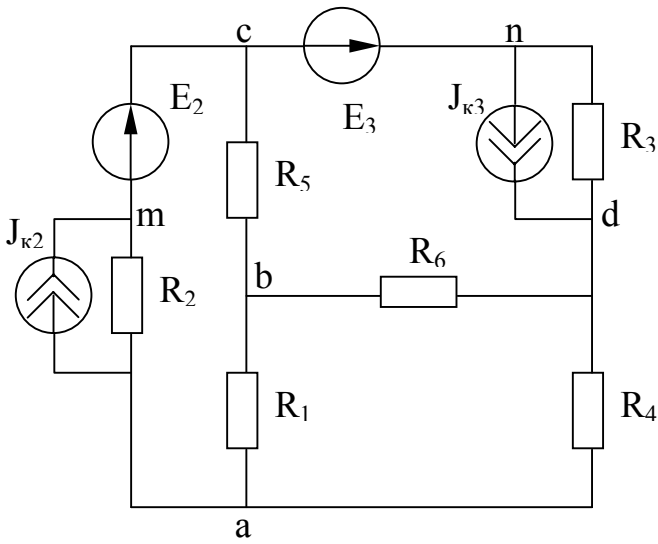


Рис. 1.15

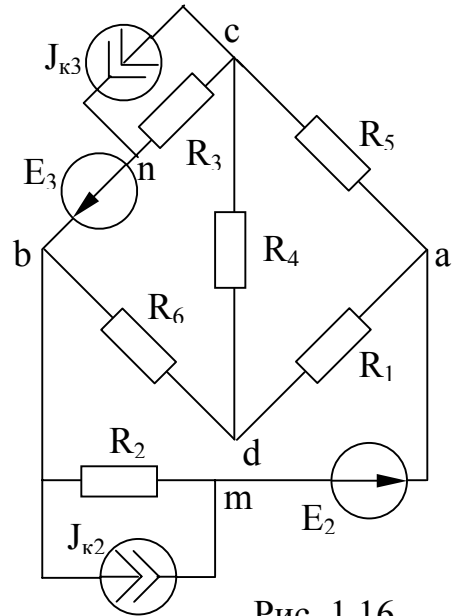


Рис. 1.16

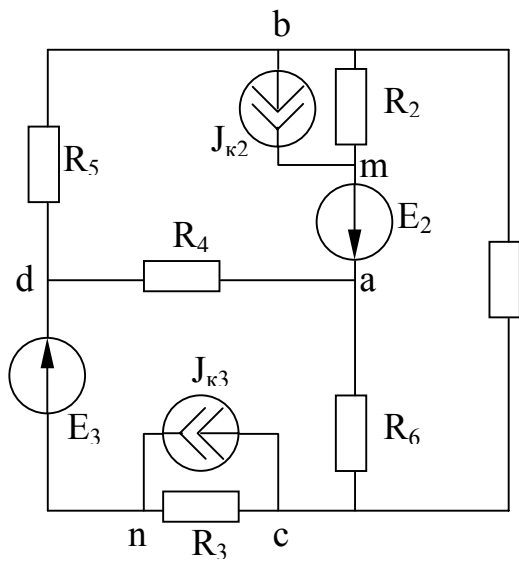
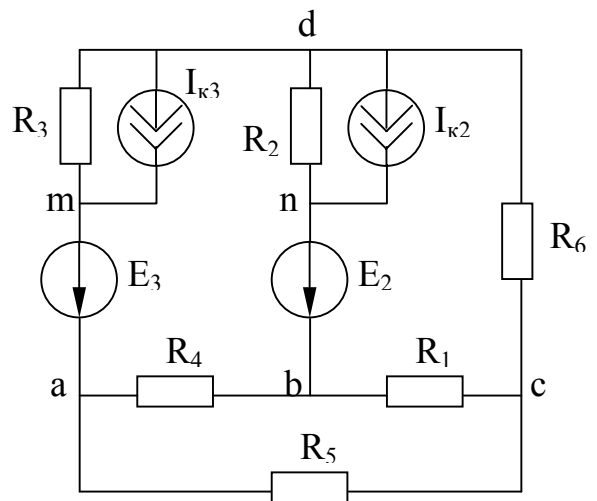


Рис. 1.17



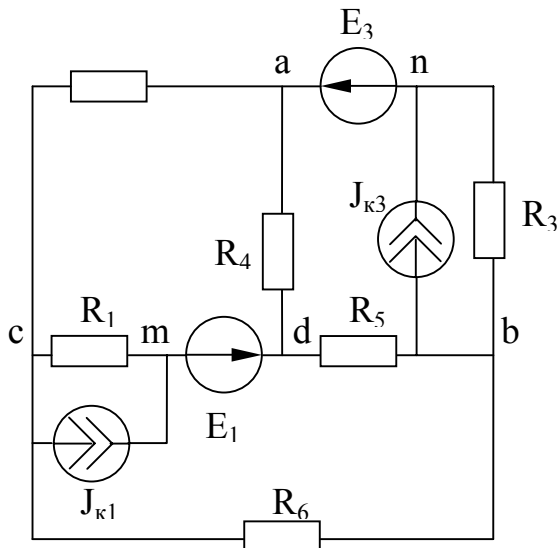


Рис. 1.19

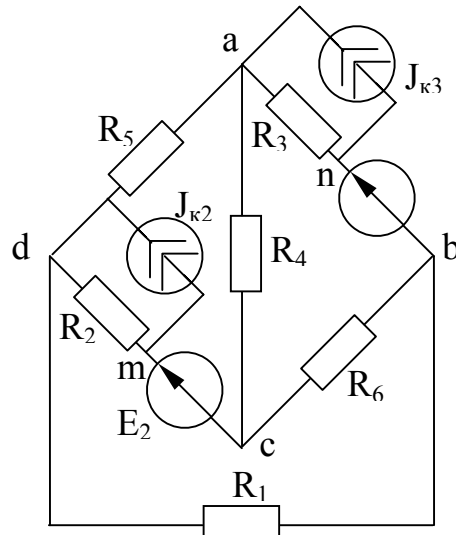


Рис. 1.20

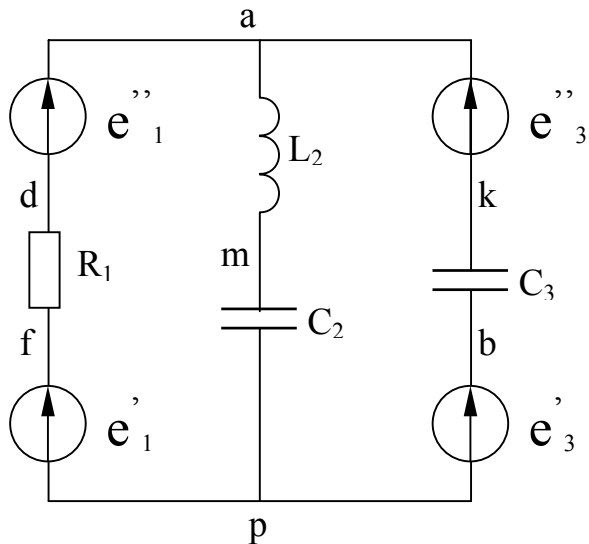


Рис. 1.21

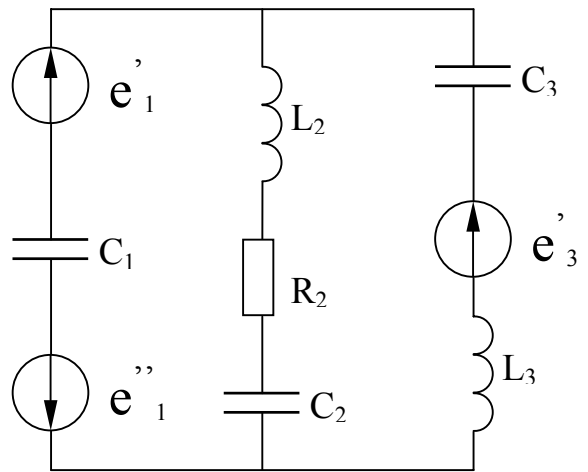


Рис. 1.22

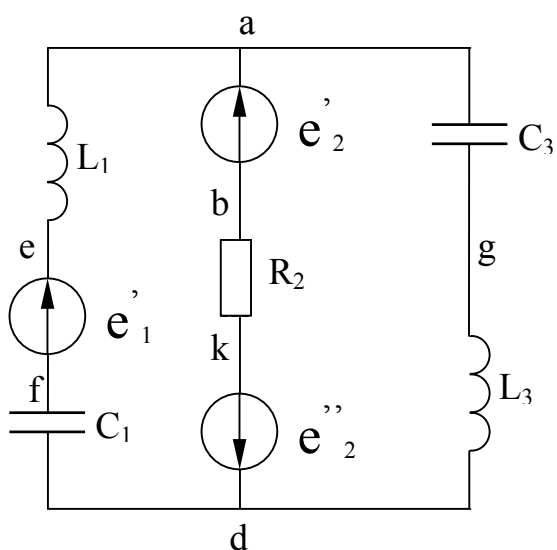


Рис. 1.23

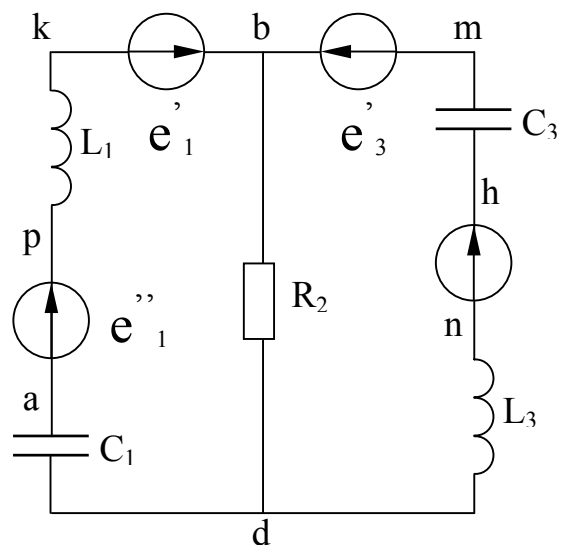


Рис. 1.24

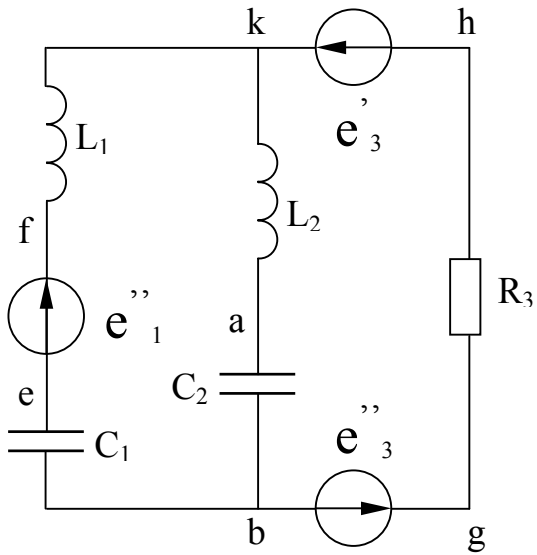


Рис. 1.25

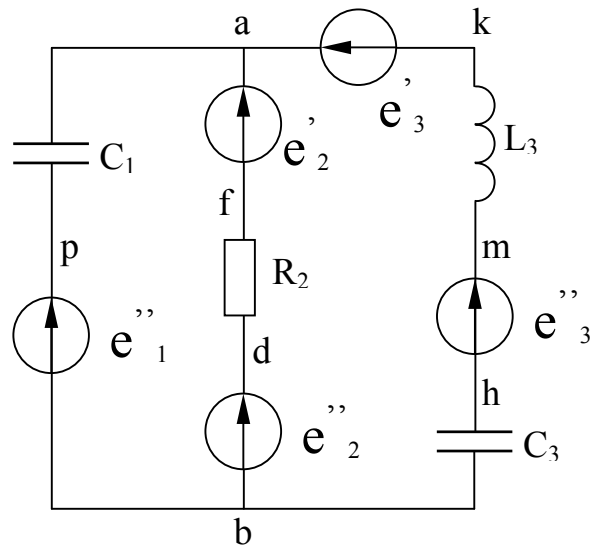


Рис. 1.26

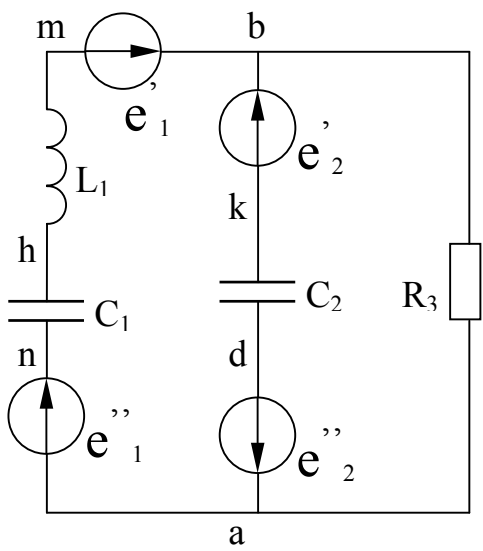


Рис. 1.27

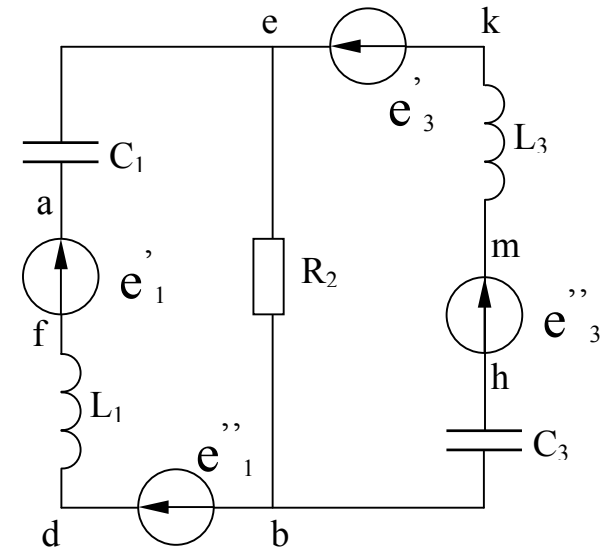


Рис. 1.28

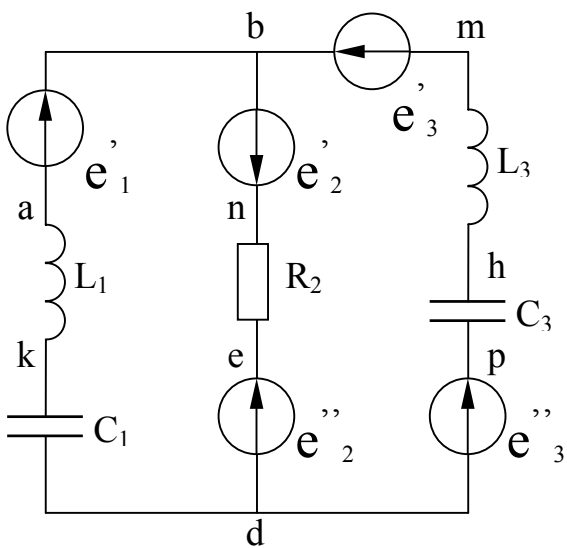


Рис. 1.29

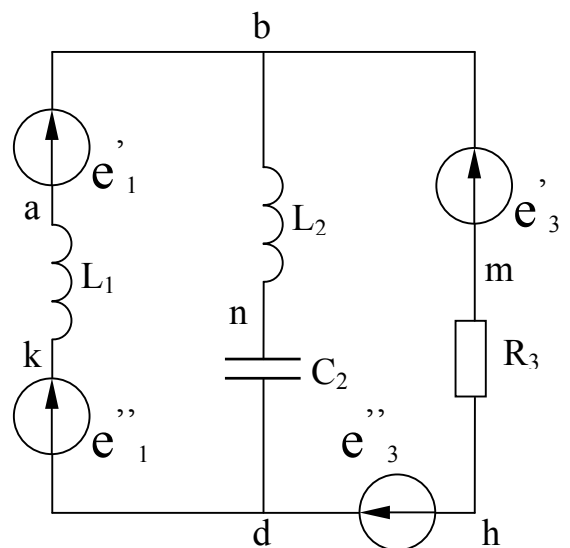


Рис. 1.30

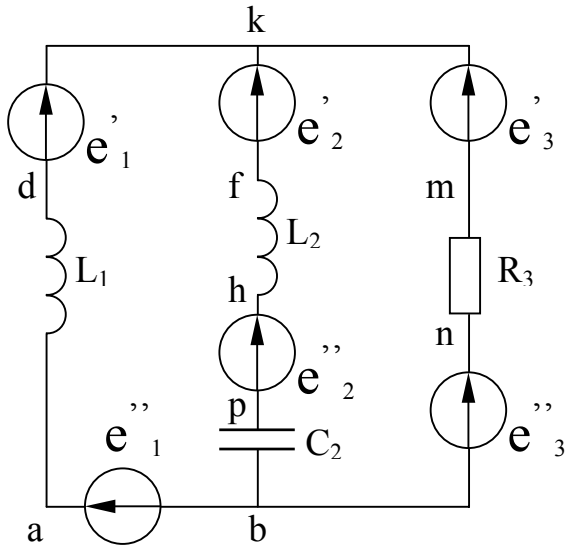


Рис. 1.31

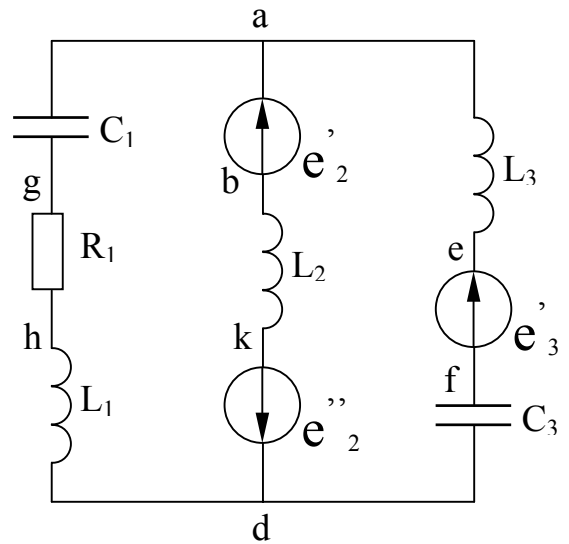


Рис. 1.32

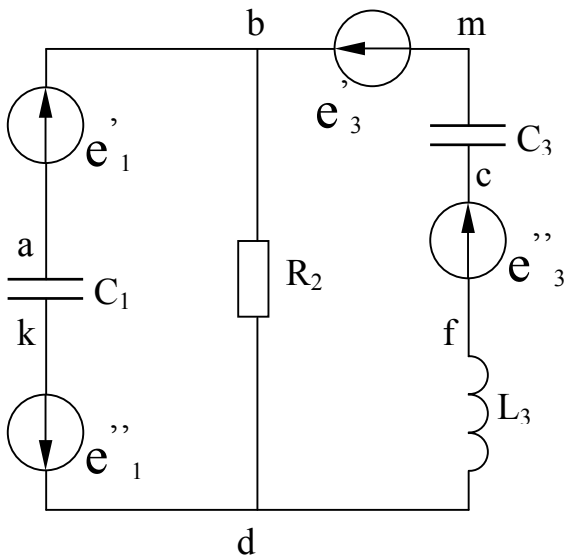


Рис. 1.33

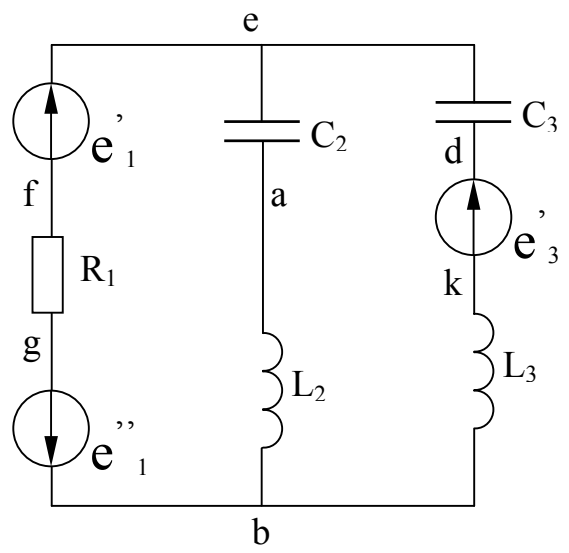


Рис. 1.34

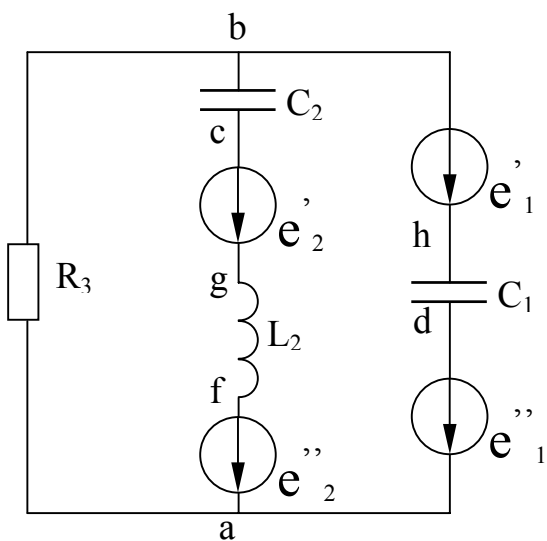


Рис. 1.35

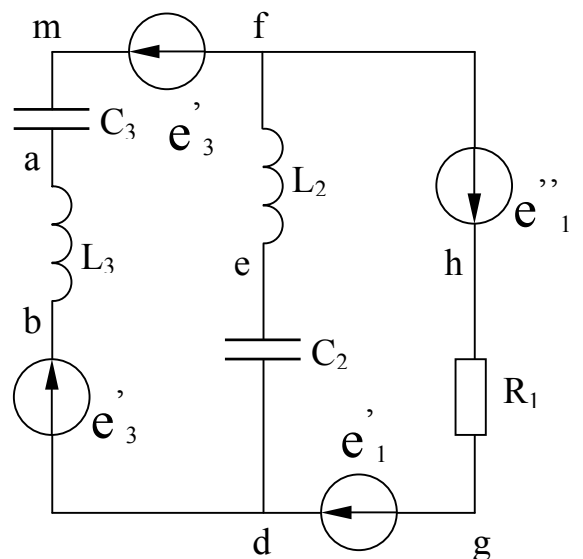


Рис. 1.36

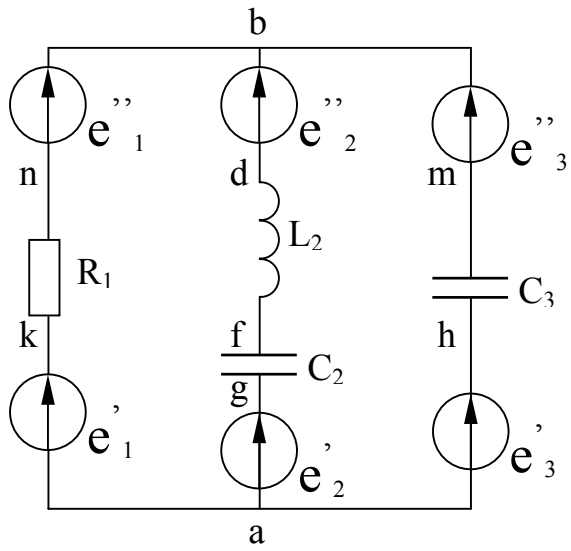


Рис. 1.37

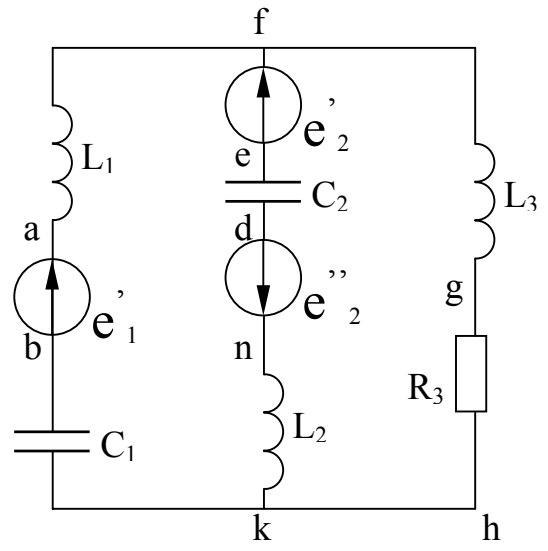


Рис. 1.38

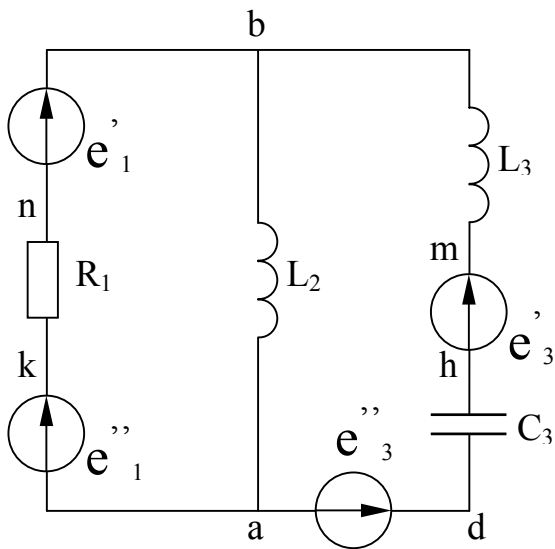


Рис. 1.39

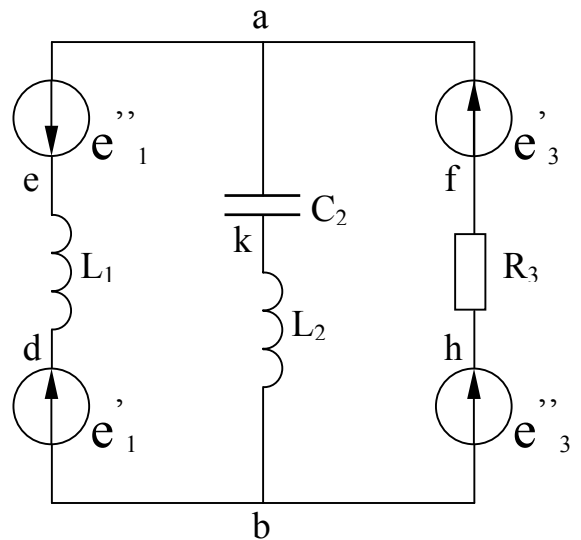


Рис. 1.40

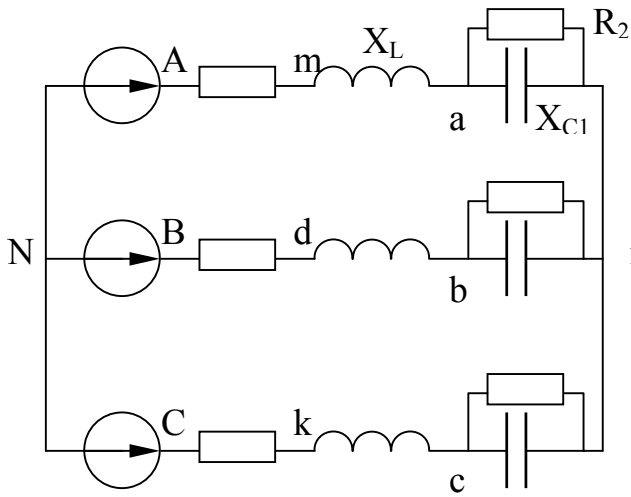


Рис. 2.1

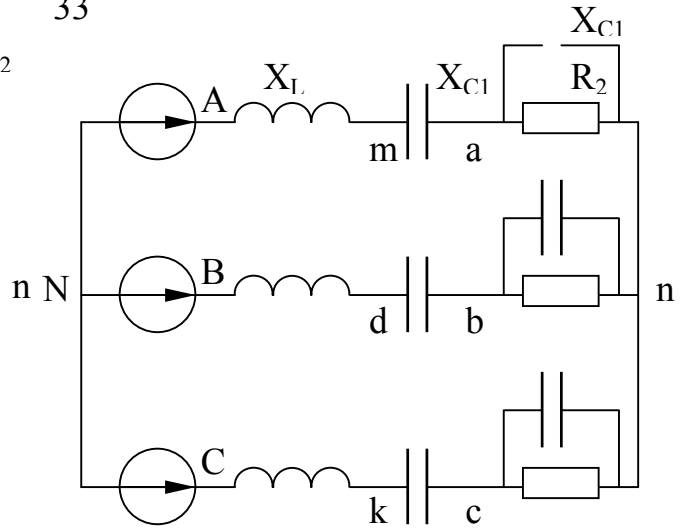


Рис. 2.2

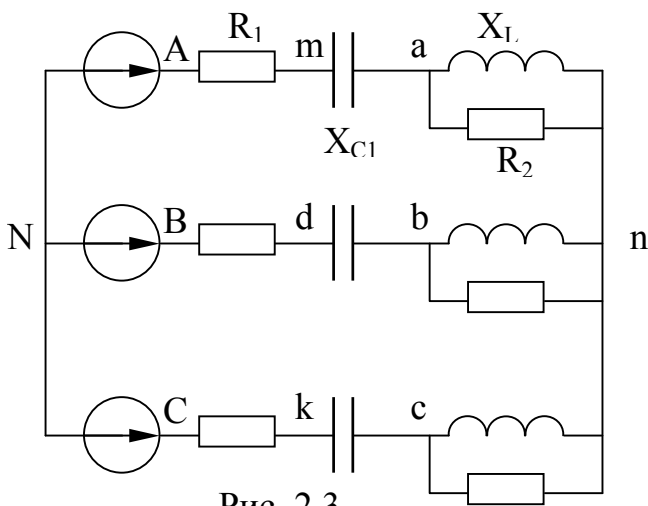


Рис. 2.3

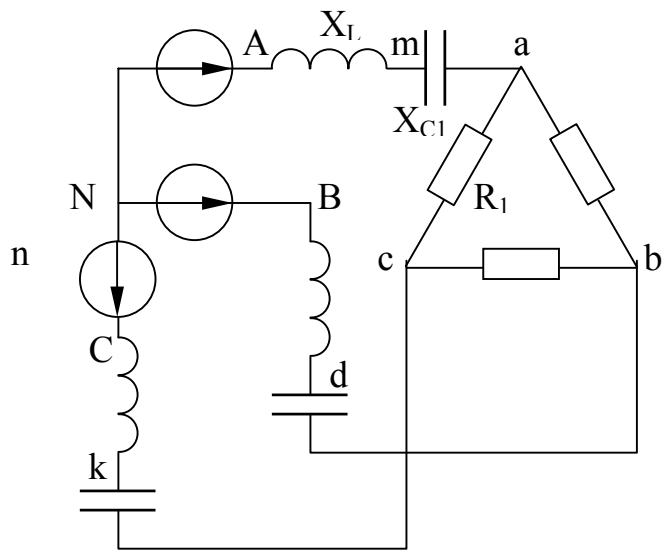


Рис. 2.4

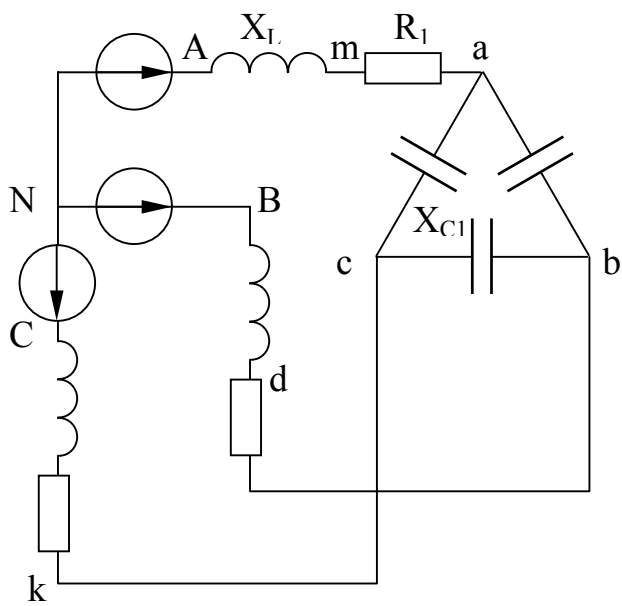


Рис. 2.5

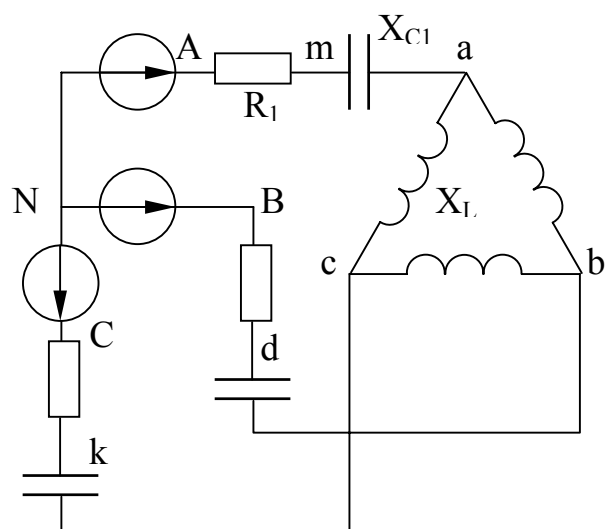


Рис. 2.6

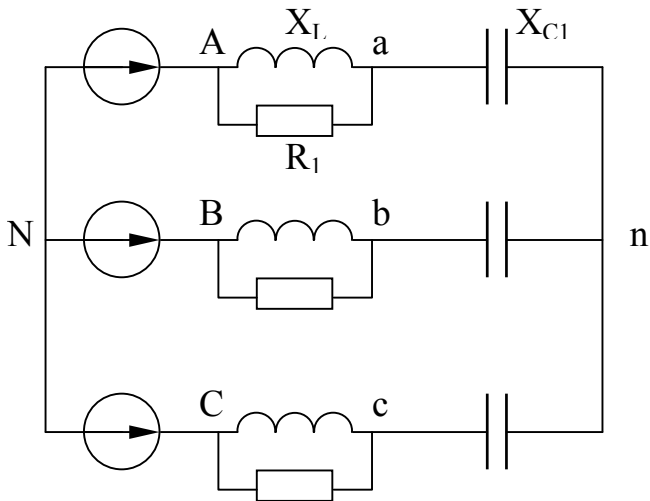


Рис. 2.7

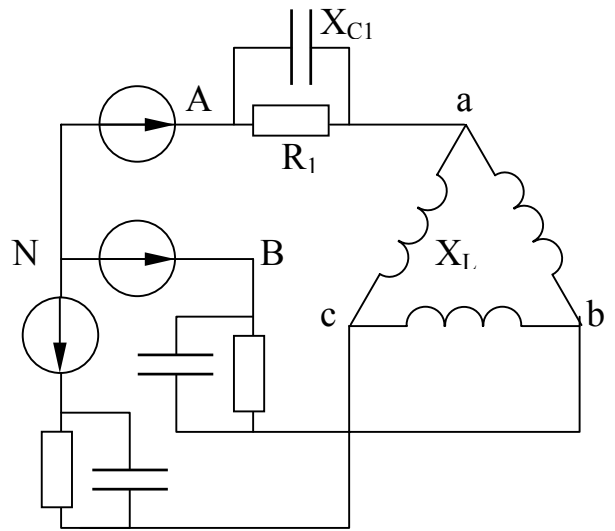


Рис. 2.8

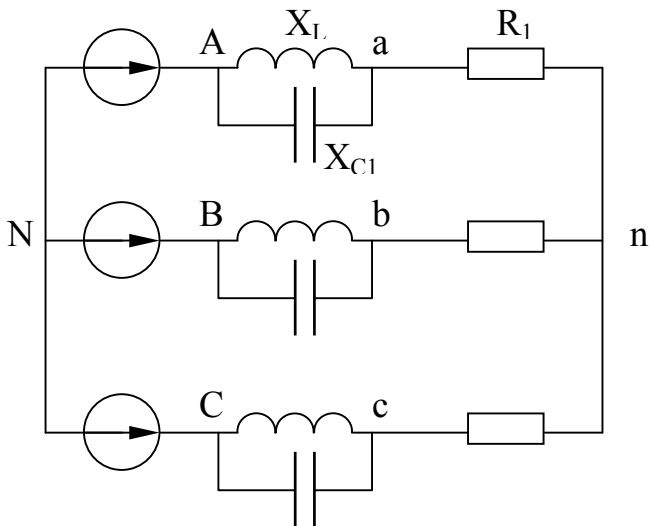


Рис. 2.9

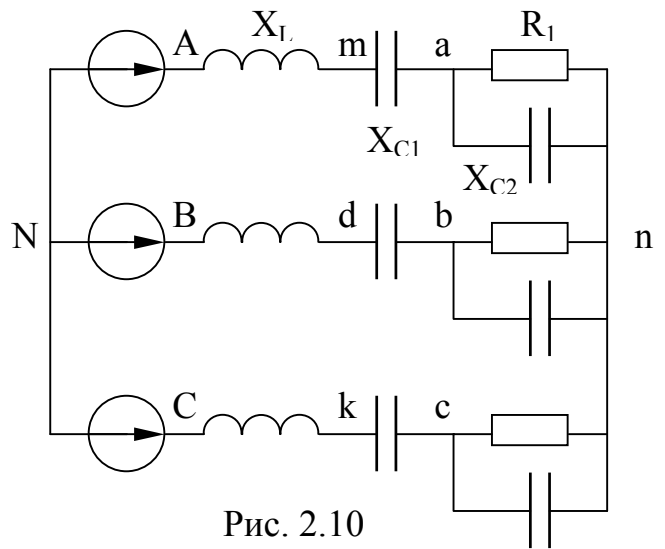


Рис. 2.10

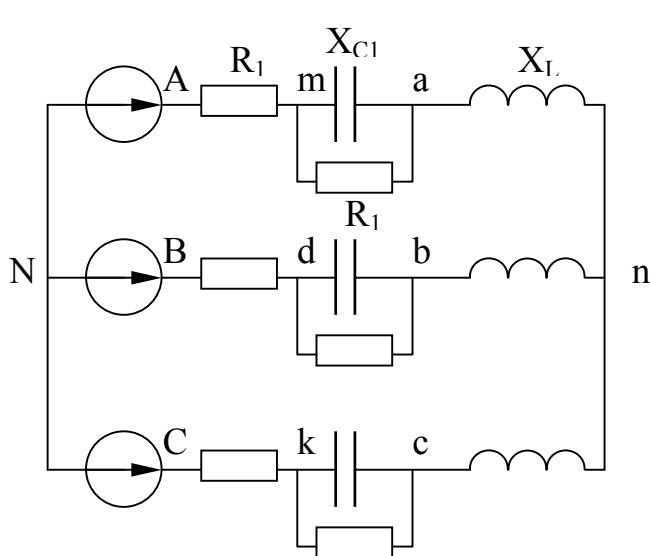


Рис. 2.11

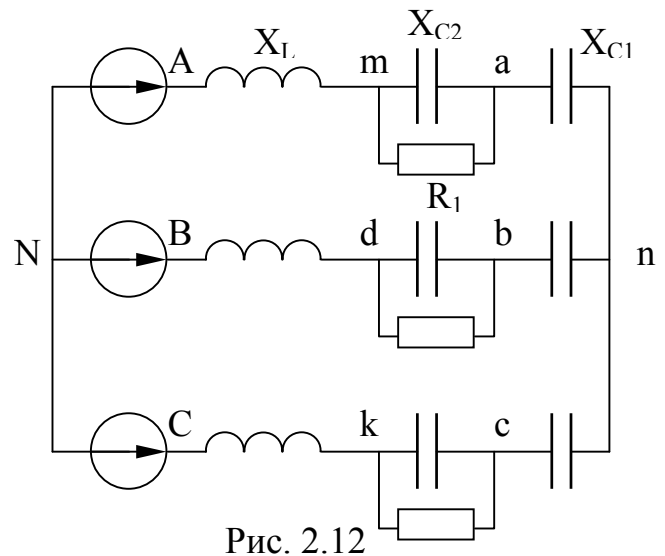


Рис. 2.12

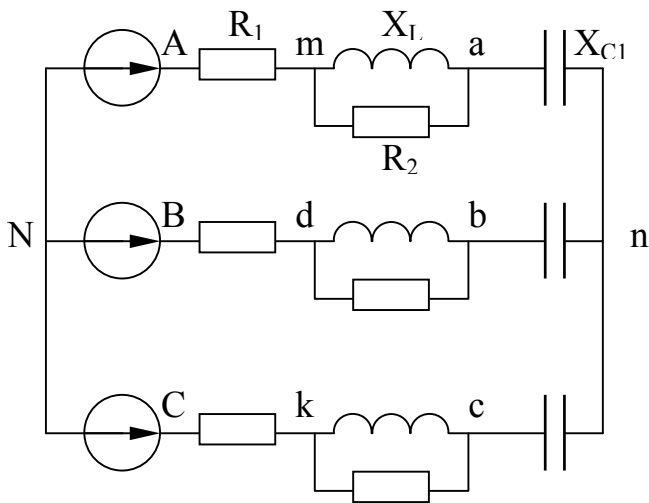


Рис. 2.13

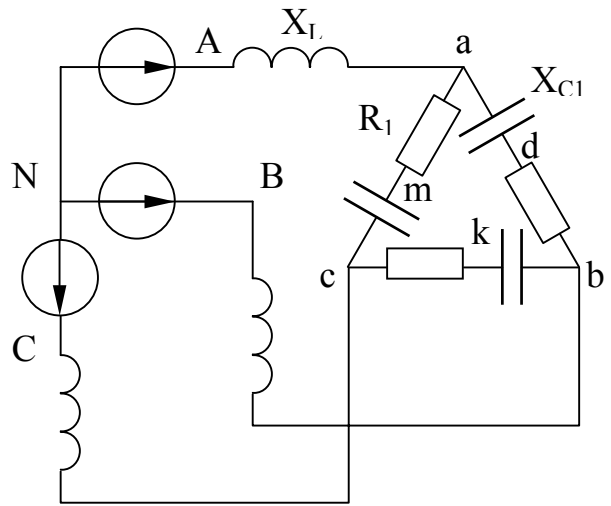


Рис. 2.14

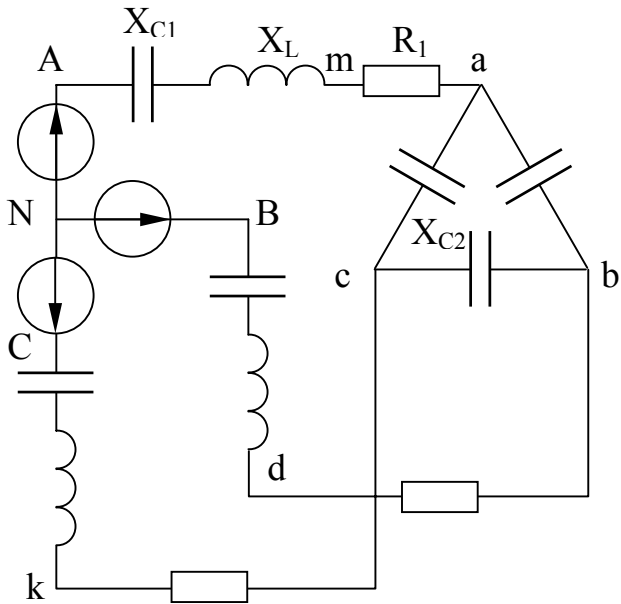


Рис. 2.15

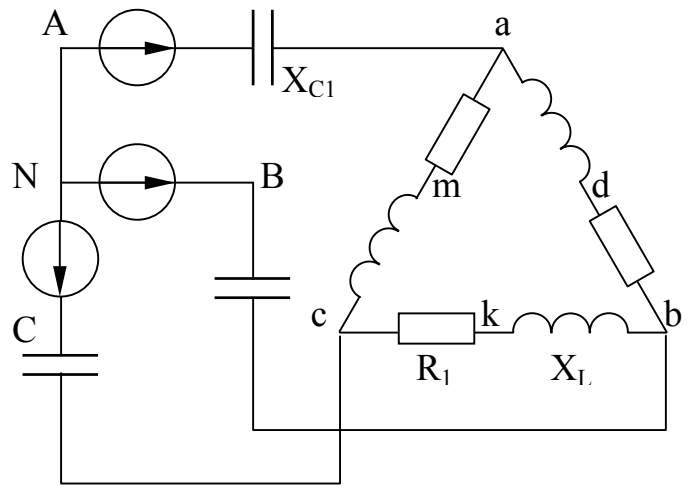


Рис. 2.16

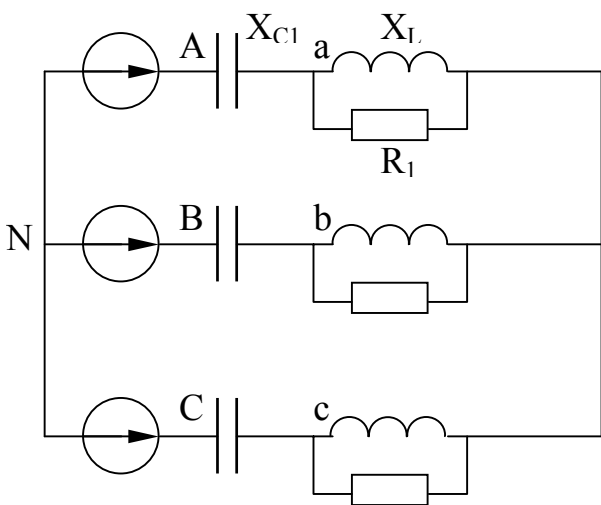


Рис. 2.17

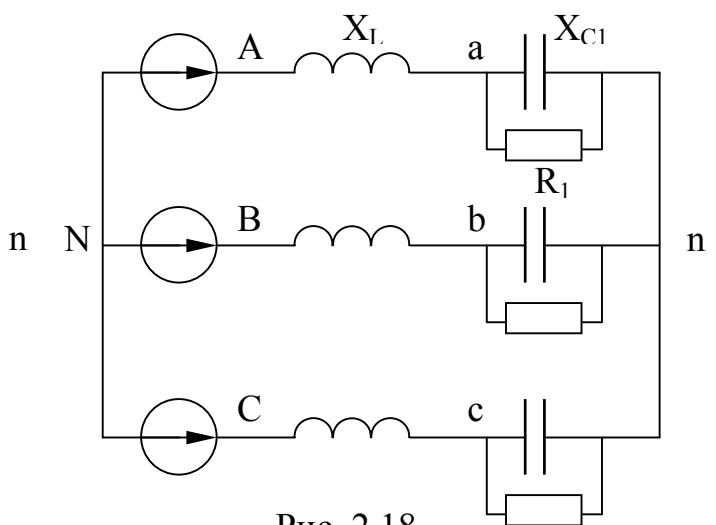


Рис. 2.18

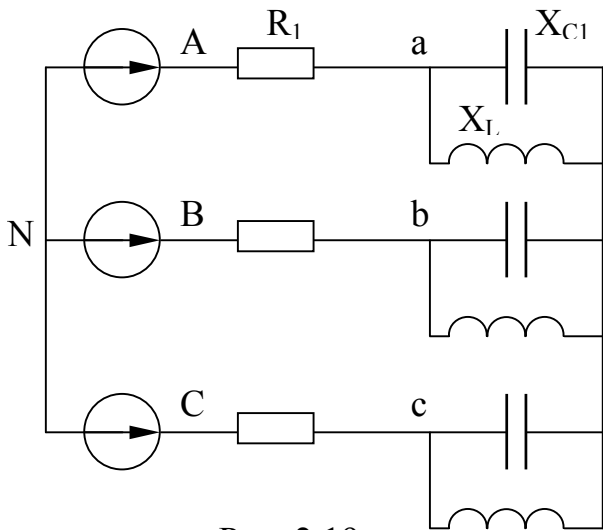


Рис. 2.19

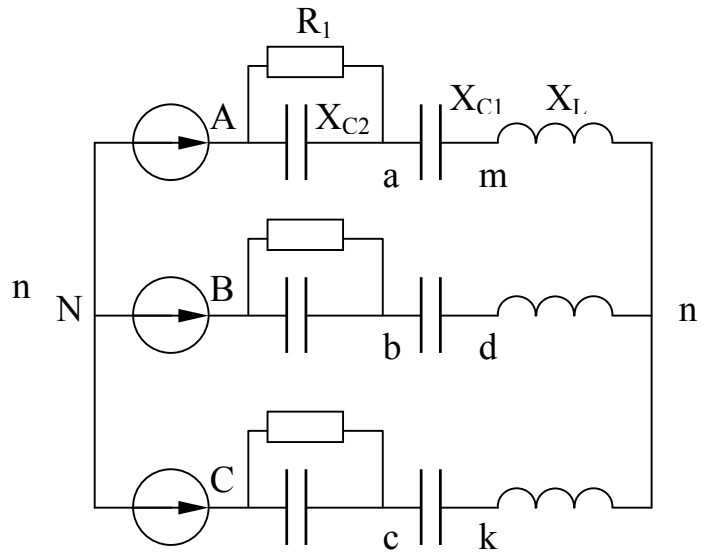


Рис. 2.20

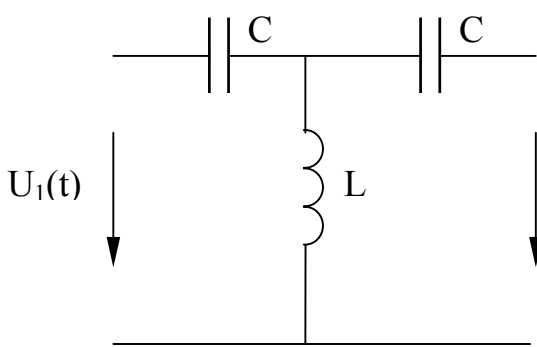


Рис. 2.21 а)

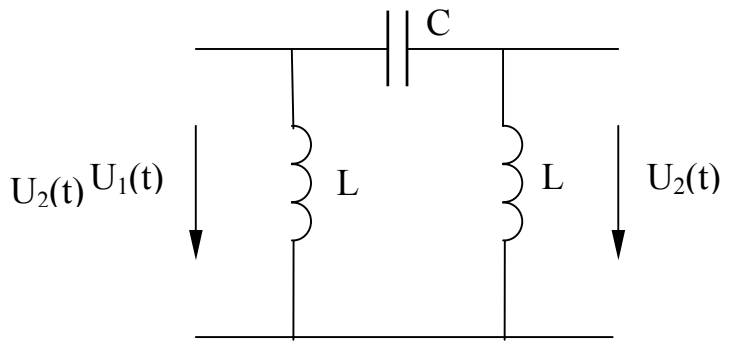


Рис. 2.21 б)

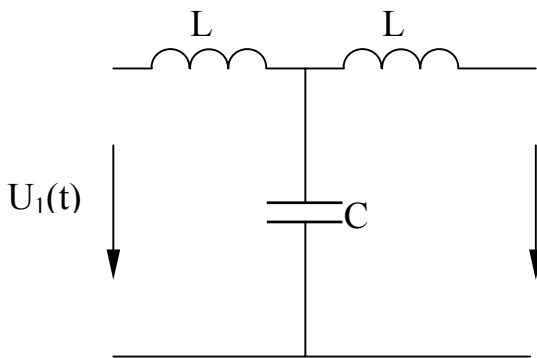


Рис. 2.21 в)

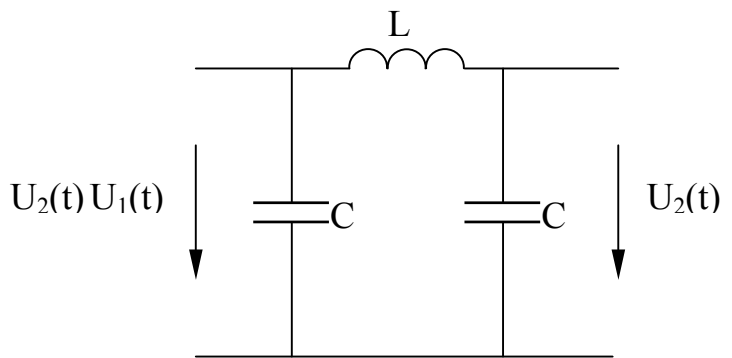


Рис. 2.21 г)

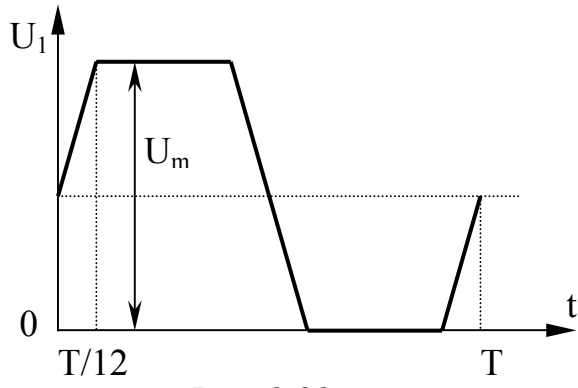


Рис. 2.22

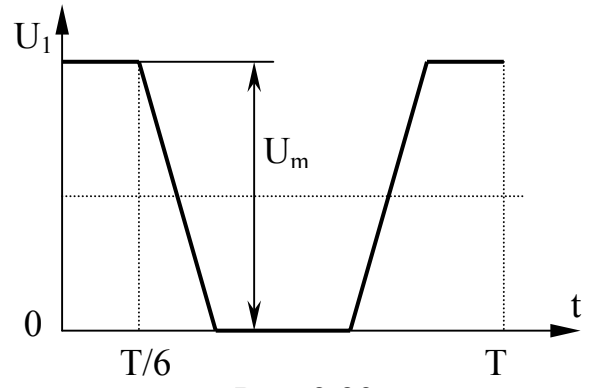


Рис. 2.23

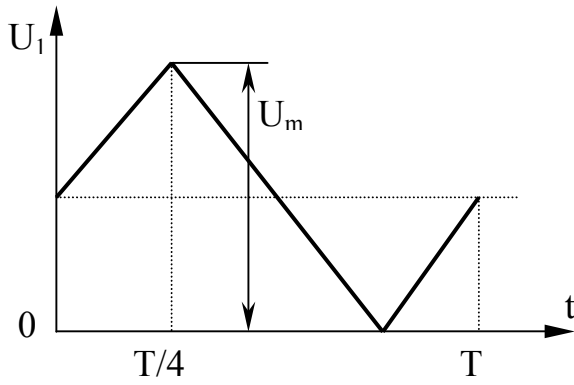


Рис. 2.24

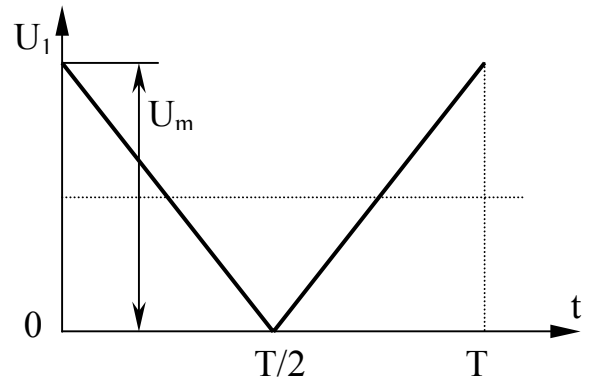


Рис. 2.25

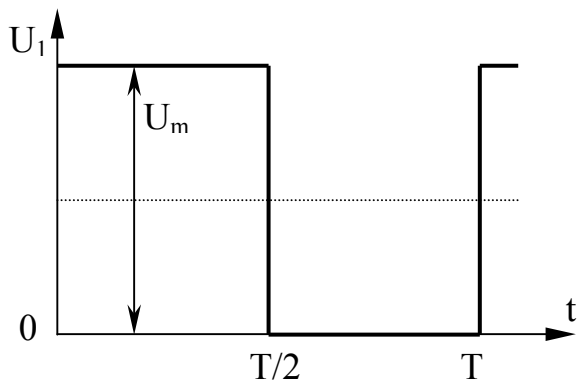


Рис. 2.26

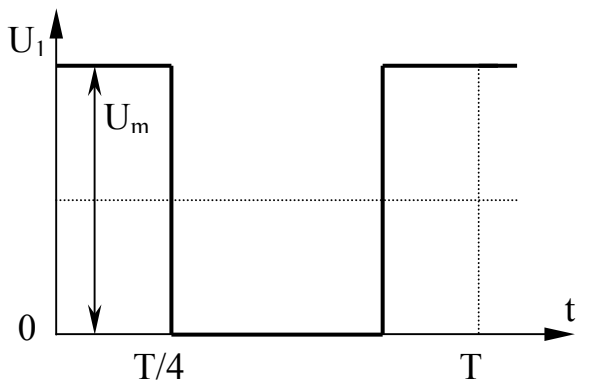


Рис. 2.27

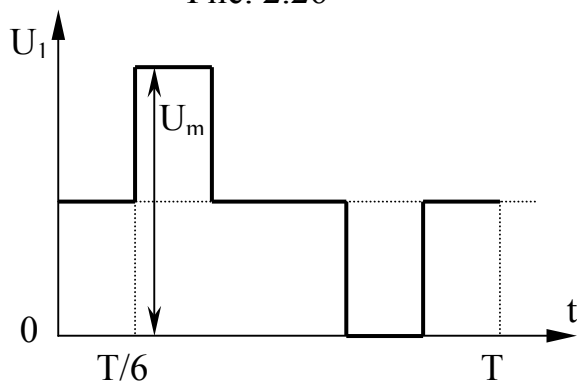


Рис. 2.28

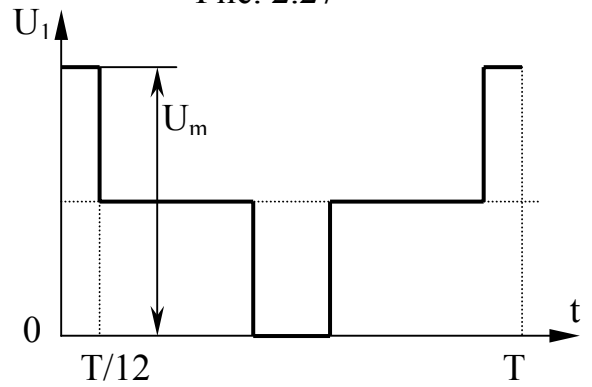


Рис. 2.29