

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ**  
**ДОНЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**Кафедра электромеханики и ТОЭ**

***Методические указания***  
*и домашние задания для выполнения расчетно-  
графических работ (РГР) по теоретической  
электротехнике*

Утверждено на заседании  
кафедры «Электромеханика и ТОЭ»  
7 декабря 2000 г., протокол № 4

Утверждено на учебно-издательском  
совете ДонГТУ,  
протокол №        от

Донецк - 2000



УДК 621.3.01. (071)

М54

Методические указания и домашние задания для выполнения расчетно-графических работ (РГР) по теоретической электротехнике / под общей ред. проф. Денника В.Ф. – Донецк: ДонГТУ, 2000, 61 с.

Приводятся задания по всем основным разделам курсов, которые могут быть объединены понятием «Теоретическая электротехника» (ТОЭ, теория электрических и магнитных цепей, теория электромагнитного поля и др.) и набор которых в зависимости от специальности является содержанием индивидуальных домашних расчетно-графических работ студентов дневной формы обучения. По некоторым заданиям даны методические указания, облегчающие их выполнение.

Составители:

В.Ф. Денник, проф.  
В.А. Эсауленко, проф.  
Н.П. Рыбалко, проф.  
В.Х. Антамонов, доц.  
А.В. Корощенко, доц.  
Э.С. Мерзликин, доц.  
В.Ю. Черников, доц.  
В.П. Черноус, доц.  
М.М. Федоров, доц.  
В.Е. Михайлов, доц.  
В.И. Фурсов, ст. пр.  
С.А. Чернировский, ст. пр.

Отв. за выпуск

В.Ф. Денник, проф.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Общие методические указания по выполнению домашних расчетно-графических работ...	4
1. Физические основы электротехники .....	6
2. Линейные цепи постоянного тока .....	8
3. Электрические цепи синусоидального тока .....	11
4. Четырёхполюсники и частотные фильтры .....	19
5. Трёхфазные цепи .....	21
6. Цепи несинусоидального тока .....	24
7. Переходные процессы в цепях с сосредоточенными параметрами .....	26
8. Нелинейные электрические и магнитные цепи постоянного тока .....	35
9. Нелинейные цепи переменного тока. Переходные процессы в нелинейных цепях .....	41
10. Электрические цепи с распределёнными параметрами в установившихся режимах ....	49
11. Переходные процессы в цепях с распределёнными параметрами .....	51
12. Теория электромагнитного поля .....	53
Литература с примерами решения задач РГР .....	68

## **ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ДОМАШНИХ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ**

Изучение курса ТОЭ требует систематической работы над учебной литературой, выполнения лабораторного практикума и решения задач по курсу как в аудитории, так и в домашних условиях.

При выполнении домашних расчетно-графических работ (РГР) следует руководствоваться следующими правилами:

1. Каждый студент выполняет домашнее задание в соответствии со своим вариантом (о выборе варианта см. ниже).

2. Перед тем, как приступить к решению задачи, необходимо изучить методы расчета и физические законы, положенные в основу решения.

3. По каждой задаче необходимо привести полные условия и расчетную схему, на которой указать принимаемые положительные направления искомых токов и напряжений.

4. Решение задачи следует сопровождать краткими пояснениями. Искомая величина вначале определяется в буквенном выражении, затем подставляются числовые значения величин, приводятся основные этапы преобразований и конечный результат, который должен ясно выделяться из общего текста с обязательным указанием его размерности.

5. При вычерчивании электрических схем следует пользоваться обозначениями, предусмотренными ГОСТом и требованиями ЕСКД. Схемы вычерчиваются в карандаше с помощью чертежных принадлежностей.

6. При построении графиков на осях координат следует наносить равномерные шкалы для откладываемых величин и их размерности. Если в одной и той же системе строится несколько графиков, то для каждой изображаемой величины необходимо выбрать свой масштаб и соответствующим образом обозначить графики.

7. Если одна и та же задача решается несколькими методами, то во всех случаях одни и те же величины должны иметь одинаковые обозначения.

8. На титульной странице домашнего задания необходимо указать тему и номер задания, номер варианта и номера задач, а также группу, фамилию и инициалы студента, должность, фамилию и инициалы преподавателя.

Ниже приводятся указания по выбору варианта задания и примерный вид титульной страницы.

**Выбор варианта:** Подавляющее большинство задач настоящих указаний составлено в 100 вариантах. Если номер варианта не указан преподавателем индивидуально для каждого студента, то он выбирается следующим образом. Для студентов группы «а» в потоке номером варианта является порядковый номер его фамилии в групповом журнале. Для студентов групп «б», «в», «г» и т.д. номер варианта получается путем добавления к порядковому номеру в групповом журнале чисел 30, 60, 90 и т.д., и номером варианта являются две последние цифры полученного числа. При этом следует учесть, что если в задаче приводятся 10 схем, то первая цифра варианта соответствует номеру варианта числовых данных, а вторая - номеру схемы. Например, если порядковый номер студента группы ЭПГ 99в равен 23, то номер его варианта будет 83. В этом случае он должен вести расчет схемы 3 при восьмом варианте числовых данных.

Вид титульной страницы:

Министерство образования и науки Украины  
Донецкий государственный технический университет  
Кафедра электромеханики и ТОЭ

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА №1 ПО ТОЭ  
«Расчет линейных цепей постоянного тока»

Задачи 2.2; 2.3

Вариант 48

Выполнил студент гр. ЭПГ 99б-3  
Драпушко А.М.  
Дата выполнения \_\_\_\_\_

Проверил: доц. Черников В.Ю.

Донецк - 2000

## 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

ЗАДАЧА 1.1. В электрической цепи рис.1.1 задан ток или напряжение на одном из элементов цепи в виде функции  $f(t)$ , график которой представлен на рис.1.2. Числовые значения параметров электрической цепи приведены в таблице вариантов.

Определить:

1. Закон изменения во времени напряжений на остальных элементах схемы.
2. Закон изменения во времени токов в остальных ветвях электрической цепи.
3. Мгновенную мощность  $p_r(t)$  в резистивном элементе.
4. Мгновенную мощность  $p_L(t)$  индуктивного элемента (или мгновенную мощность  $p_C(t)$  ёмкостного элемента).

В общей системе координат построить графики мгновенных значений напряжений, токов и мгновенных мощностей.

При выполнении расчётов значения тока в индуктивности и напряжения на конденсаторе в начальный момент времени, то-есть  $i_L(0)$  или  $u_C(0)$  принять равными нулю. Из параметров  $r, L, C$  табл. 1.1 учесть только те, которые имеются в схеме рис.1.1, соответствующей Вашему варианту.

Таблица вариантов к задаче 1.1

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$r, \text{ Ом}$	100	50	40	80	75	50	100	50	40	80
$L, \text{ Гн}$	1	0.4	0.5	1.2	0.8	0.5	0.8	0.4	0.4	1
$C, \text{ мкФ}$	50	100	125	62.5	66.7	125	50	125	100	5
Вторая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Номер схемы рис.1.1	1	2	3	4	4	3	2	1	3	2
Заданная функция $f(t)$	$u_L, B$	$i, mA$	$i_L, A$	$i_r, A$	$i_C, A$	$i_r, A$	$u_r, B$	$u_r, B$	$u_L, B$	$u_C, B$
Форма графика функции	а	в	б	а	в	в	г	б	г	б

ЗАДАЧА 1.2. Схема рис.1.3 содержит источник тока прямоугольных импульсов и последовательно включённые резистор и конденсатор. Временная диаграмма тока источника тока  $j_k(t)$  представлена на рис.1.4.

Определить аналитические выражения для:

- 1) мгновенного значения напряжения  $u_r(t)$ ;
- 2) мгновенного значения напряжения  $u_C(t)$ ;
- 3) мгновенного значения напряжения  $u_L(t)$ ;
- 4) максимального значения энергии резистора  $W_{r \max}$ ;
- 5) максимального значения энергии конденсатора  $W_{C \max}$ ;

Вычислить:

- 1) среднее за период значение мощности резистора  $P_r$ ;
- 2) среднее за период значение мощности конденсатора  $P_C$ ;

В общей системе координат построить графики:

- 1) мгновенного значения тока источника тока  $j_k(t)$ ;
- 2) мгновенного значения напряжения на конденсаторе  $u_C(t)$ ;
- 3) мгновенного значения напряжения на резисторе  $u_r(t)$ ;
- 4) мгновенного значения напряжения на зажимах источника тока  $u_k(t)$ .

Таблица вариантов к задаче 1.2

Вторая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$r, \text{ Ом}$	1	2	3	4	0.5	1.5	2.5	3.5	1.2	1.6

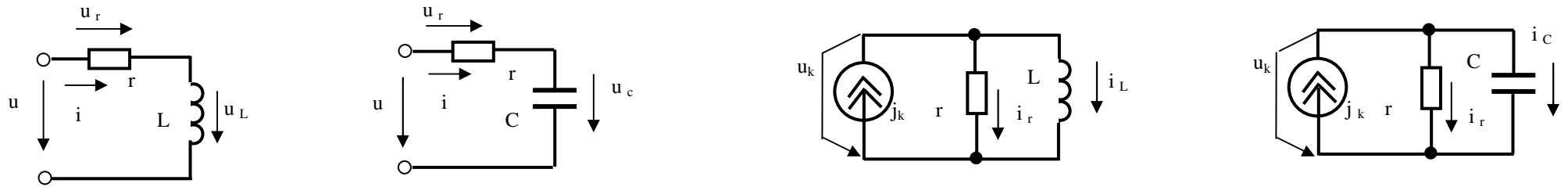


Рис. 1.1

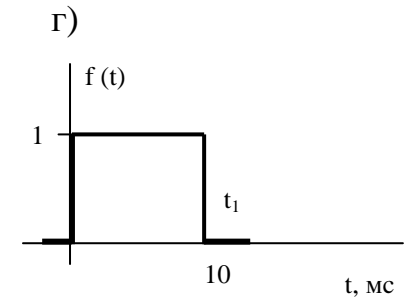
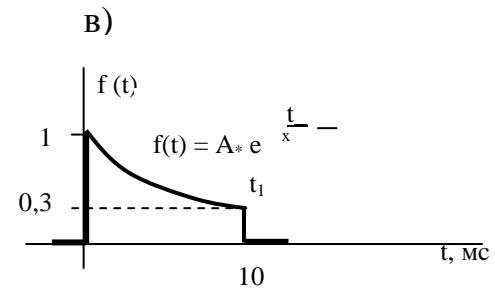
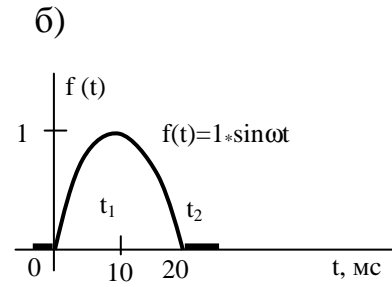
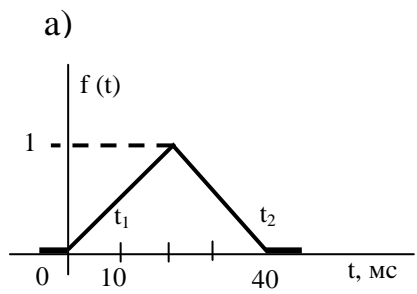


Рис. 1.2

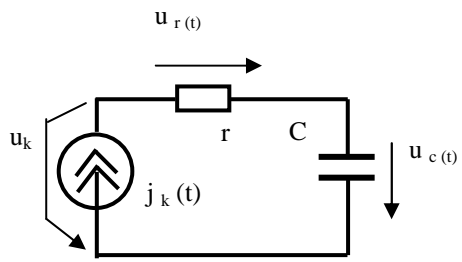


Рис. 1.3

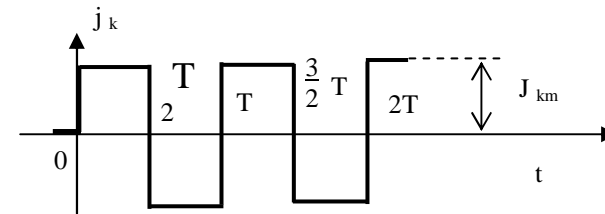


Рис. 1.4



$C$ , мкФ	100	120	56	2.2	3.0	3.3	0.06 8	1.0	1.6	0.33
Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$I_{km}$ , МА	100	200	125	400	300	360	380	450	500	150
$T$ , мкс	400	200	600	300	150	420	260	300	360	560

## **2. ЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

ЗАДАЧА 2.1. Для схемы рис.2.1 требуется:

- 1) составить уравнения по законам Кирхгофа для расчета токов во всех ветвях (решать их не следует);
- 2) рассчитать токи методом контурных токов;
- 3) определить токи методом узловых потенциалов;
- 4) рассчитать токи методом наложения;
- 5) выполнить расчет тока в ветви, указанной в таблице вариантов, методом эквивалентного генератора (МЭГ);
- 6) проверить баланс мощностей;
- 7) построить потенциальную диаграмму для любого контура, включающего в себя ветвь с источником ЭДС.

Таблица вариантов к задаче 2.1

Первая цифра варианта	$r_1$ , Ом	$r_2$ , Ом	$r_3$ , Ом	$r_4$ , Ом	$r_5$ , Ом	$E$ , В	$J$ , А	Определить ток МЭГ в
0	12	12	12	6	6	20	2	$r_3$
1	12	12	24	12	12	40	1	$r_4$
2	15	10	10	8	8	30	3	$r_2$
3	20	20	18	9	9	40	2	$r_5$
4	10	01	6	12	12	18	1	$r_1$
5	16	8	16	5	5	16	2	$r_1$
6	40	40	20	5	15	24	3	$r_5$
7	20	20	40	20	202	48	2	$r_3$
8	10	20	10	10	10	12	1	$r_4$
9	40	60	40	20	20	14	2	$r_2$

ЗАДАЧА 2.2. Для схемы рис.2.2, соответствующей номеру Вашего варианта, выполнить следующее:

- 1) составить уравнения по законам Кирхгофа для определения токов во всех ветвях (решать их не следует);
- 2) определить токи во всех ветвях методом контурных токов;
- 3) проверить баланс мощностей;
- 4) построить потенциальную диаграмму для любого контура, включающего в себя источник ЭДС;
- 5) выполнить проверочный расчет токов методом узловых потенциалов.

УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ 2.2.

1. На схеме не показывать источники, которые не заданы в таблице вариантов.
2. Проверку баланса мощностей производить для исходной схемы, если она преобразовывалась.

Таблица вариантов к задаче 2.2

Первая цифра варианта	$r_1$ , Ом	$r_2$ , Ом	$r_3$ , Ом	$r_4$ , Ом	$r_5$ , Ом	$r_6$ , Ом	$r_7$ , Ом	$E_1$ , В	$E_2$ , В	$J_1$ , А	$J_2$ , А
0	8	10	10	4	6	20	4	50	90	-	4

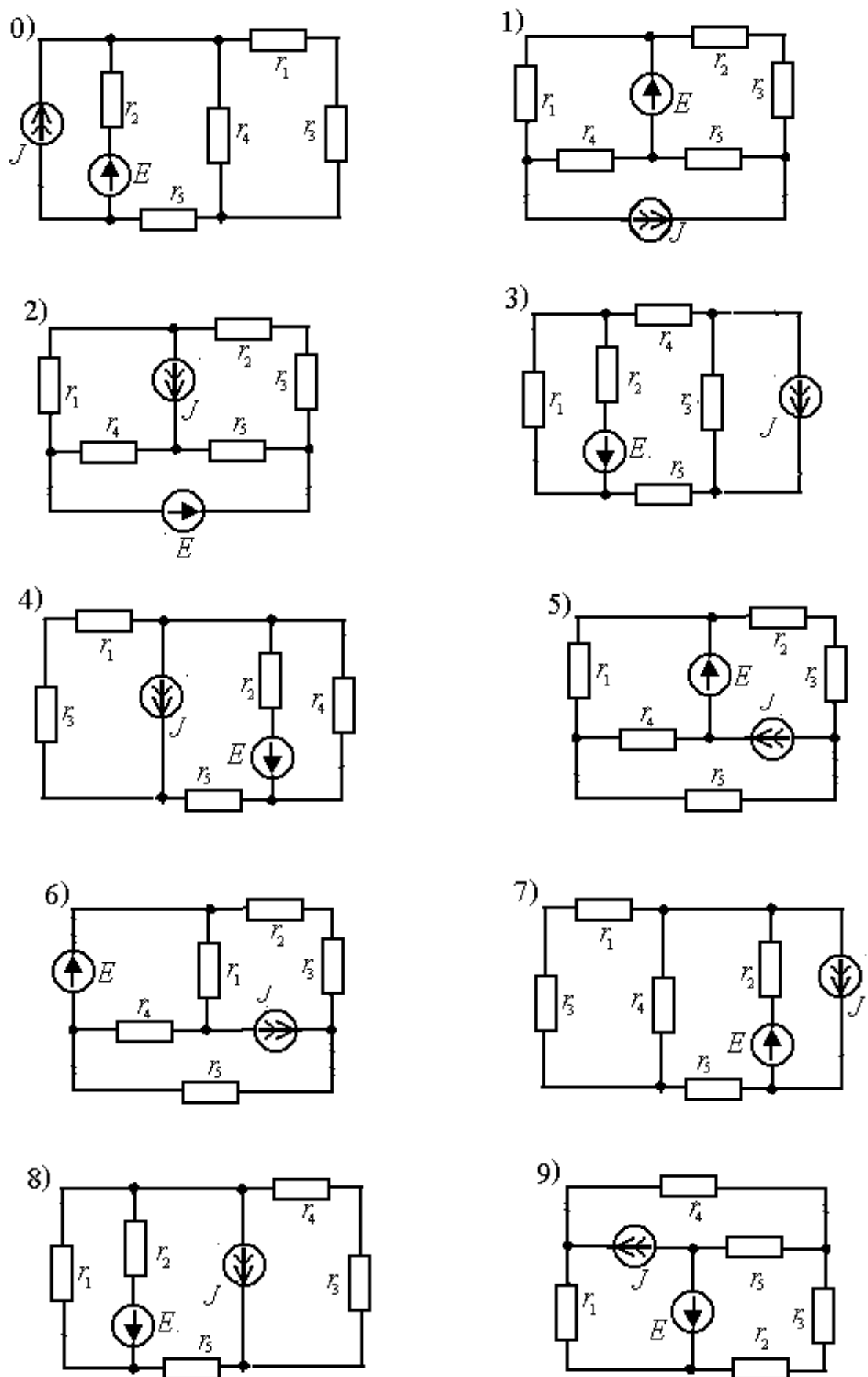


Рис. 2.1

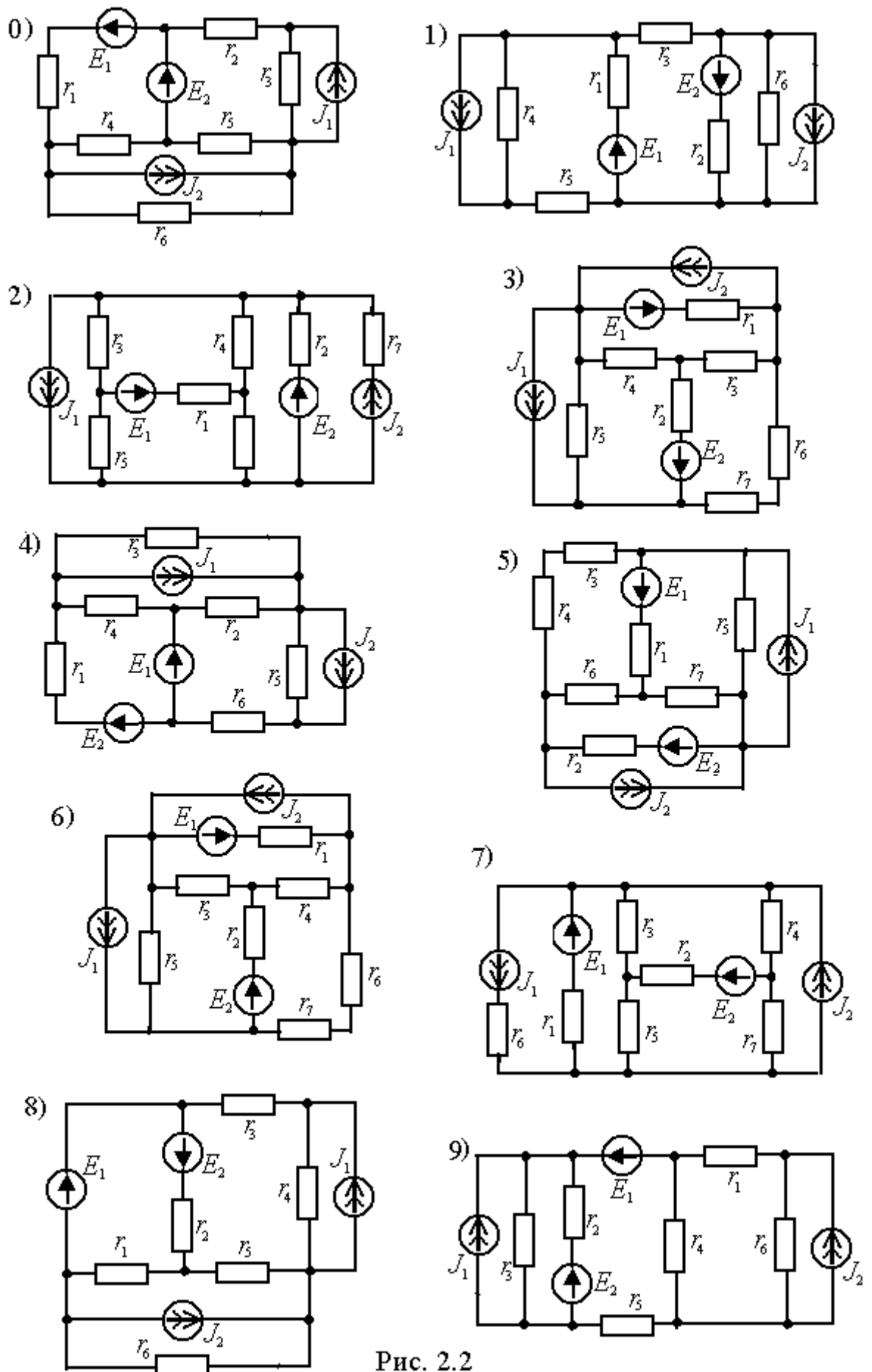


Рис. 2.2

1	6	14	20	12	40	12	6	80	10	3	-
2	10	5	8	12	6	16	5	40	30	2	-
3	12	10	16	6	14	16	4	110	40	-	1
4	8	5	4	8	10	6	4	120	20	4	-
5	20	8	14	4	15	10	6	50	100	4	-
6	10	20	10	10	18	25	5	80	24	-	3
7	4	6	10	8	6	10	5	60	36	2	-
8	5	20	8	6	10	8	6	24	60	-	1
9	20	10	18	4	20	8	8	110	50	2	-

ЗАДАЧА 2.3. Для схемы рис.2.3 требуется:

- 1) рассчитать токи во всех ветвях методом наложения;
- 2) составить баланс мощностей;
- 3) выполнить проверочный расчет тока в ветви, указанной в таблице вариантов, методом эквивалентного генератора (МЭГ);

Параметры схемы, ЭДС и токи источников приведены в таблице.

Таблица вариантов к задаче 2.3

Первая цифра варианта	$E_1$ , В	J, А	$r_1$ , Ом	$r_2=r_6$ , Ом	$r_3$ , Ом	$r_4$ , Ом	$r_5$ , Ом	Определить ток МЭГ в
0	40	1	12	12	16	12	12	$r_6$
1	50	2	60	30	30	40	40	$r_5$
2	60	3	30	60	30	60	60	$r_4$
3	70	3	60	40	20	20	60	$r_3$
4	80	2	24	24	24	24	24	$r_1$
5	30	1	48	36	36	48	48	$r_6$
6	20	2	24	48	24	48	24	$r_5$
7	10	1	12	24	24	12	24	$r_4$
8	45	2	56	48	56	48	56	$r_3$
9	55	3	36	36	48	48	36	$r_1$

### 3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

ЗАДАЧА 3.1. В схеме рис.3.1 заданы напряжение или ток в одной из ветвей (или входное напряжение) и параметры цепи (см. таблицу вариантов). Необходимо выполнить следующее:

- 1) рассчитать действующие значения токов во всех ветвях и напряжений на всех участках цепи (включая входное напряжение);
- 2) определить активную, реактивную и полную мощности цепи, а также коэффициент мощности всей цепи;
- 3) записать мгновенное значение тока в одной из ветвей цепи или входного напряжения (см. таблицу вариантов);
- 4) построить векторную диаграмму напряжений, совмещенную с диаграммой токов.

Задачу решить методом проводимостей.

Таблица вариантов к задаче 3.1

И-я цифра варианта	Заданное напряжение или ток (В,А)	$r_1$ , Ом	$L_1$ , мГн	$C_1$ , мкФ	$r_2$ , Ом	$L_2$ , мГн	$C_2$ , мкФ	$r_3$ , Ом	$L_3$ , мГн	$C_3$ , мкФ	Определить
0	$u=100\sin(314t+30^\circ)$	4	12	400	10	25	200	8	32	200	$i_2$
1	$i_1=2\sin(314t-30^\circ)$	3	10	500	12	26	150	6	34	280	u
2	$i_2=3\sin(314t+15^\circ)$	5	14	300	16	27	180	10	36	260	u
3	$u_{23}=50\sin(314t+60^\circ)$	3	11	350	18	28	170	6	26	300	$i_1$

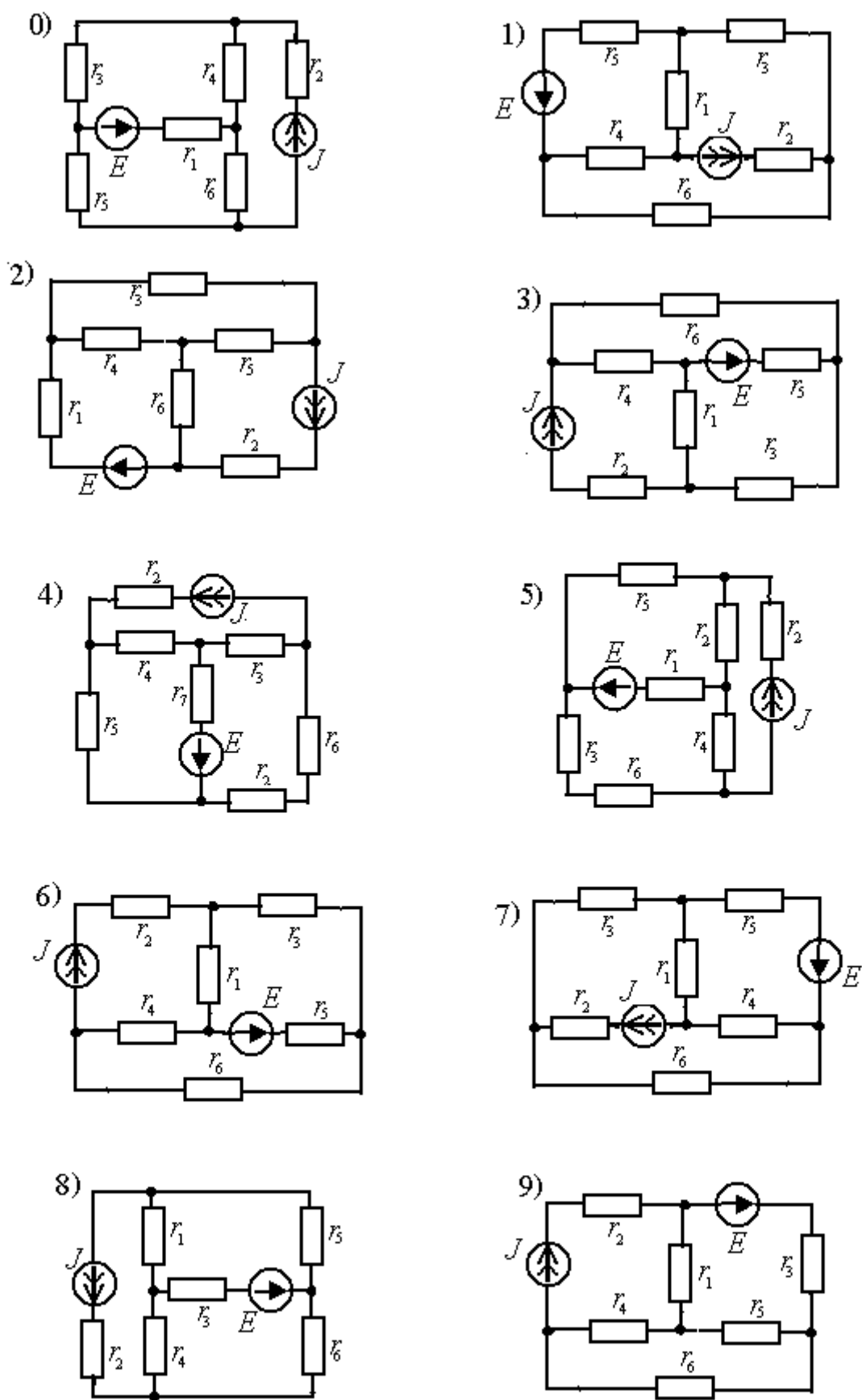


Рис. 2.3

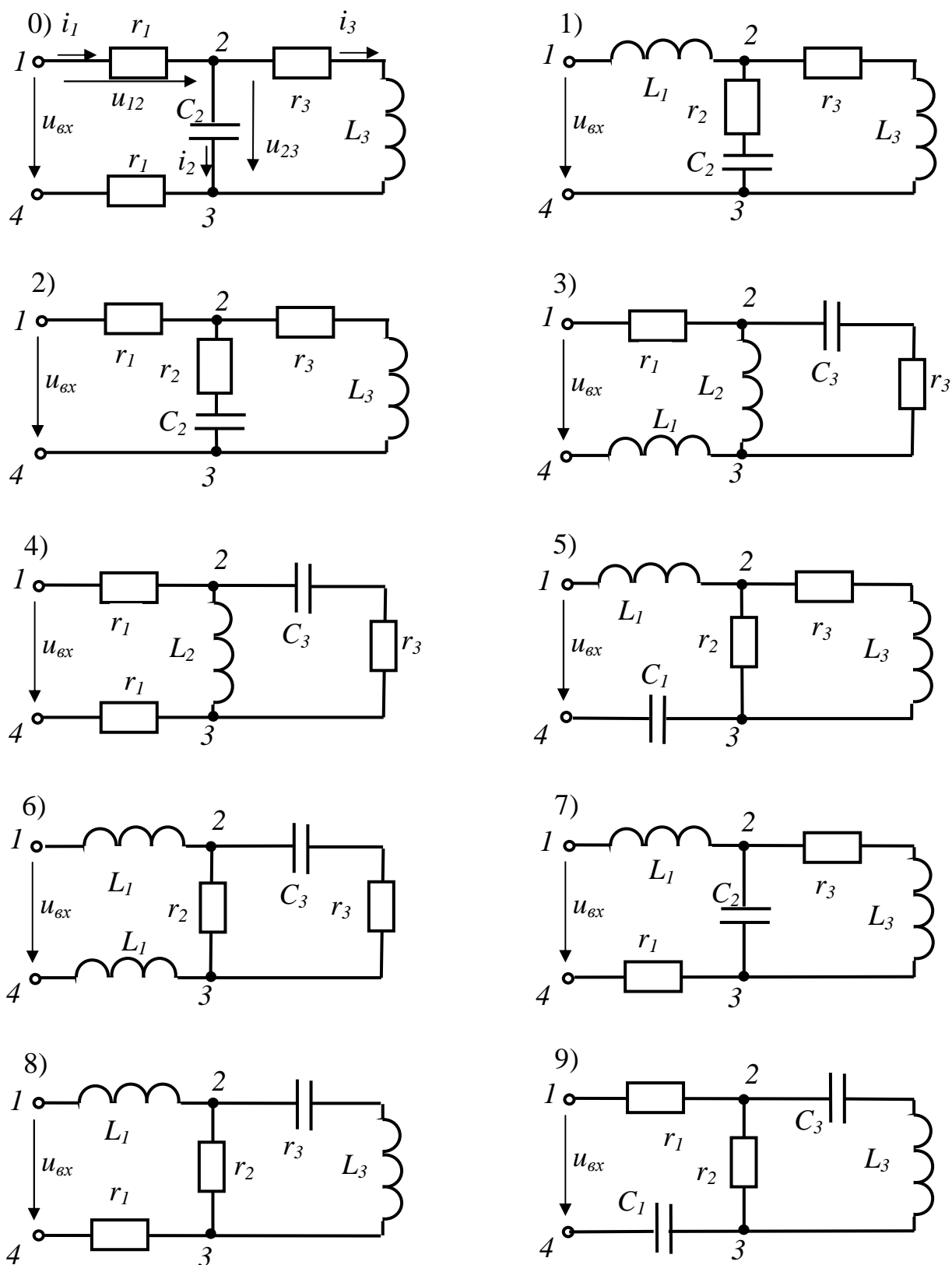


Рис. 3.1

4	$i_3=2\sin(314t-60^\circ)$	4	16	450	10	29	160	8	50	280	u
5	$u=200\sin(314t+45^\circ)$	5	18	480	12	30	150	10	30	280	$i_3$
6	$i_2=4\sin(314t-45^\circ)$	5	20	300	14	31	100	6	26	300	u
7	$i_3=5\sin(314t-15^\circ)$	4	22	380	16	32	120	8	18	275	u
8	$u=120\sin(314t+20^\circ)$	3	24	420	18	33	140	4	28	200	$i_1$
9	$u_{23}=80\sin 314t$	3	15	460	20	34	160	5	30	240	$i_1$

Примечание: не следует учитывать параметры элементов, отсутствующих в схеме Вашего варианта; номера токов совпадают с номерами ветвей.

ЗАДАЧА 3.2. Решить задачу 3.1 символическим методом, построив при этом на комплексной плоскости топографическую диаграмму цепи, совмещенную с диаграммой токов.

ЗАДАЧА 3.3. В схеме рис.3.2 заданы параметры цепи и ЭДС источников. Известно также, что ЭДС  $E_1$  опережает ЭДС  $E_2$  на угол  $\alpha$ .

Необходимо:

- 1) по законам Кирхгофа составить систему уравнений для определения токов во всех ветвях цепи (систему уравнений решать не следует);
- 2) определить комплексы токов во всех ветвях цепи методом контурных токов;
- 3) составить баланс активных и реактивных мощностей;
- 4) определить показание ваттметра;
- 5) построить топографическую диаграмму, совмещенную с векторной диаграммой токов;
- 6) проверить величины токов в ветвях методом двух узлов.

Таблица вариантов к задаче 3.3

И-я цифра варианта	$E_1$ , В	$E_2$ , В	$\alpha$ , град	$r_1$ , Ом	$L_1$ , мГн	$C_1$ , мкФ	$r_2$ , Ом	$I_2$ , мА	$C_2$ , мкФ	$r_3$ , Ом	$L_3$ , мГн	$C_3$ , мкФ	$f$ , Гц
0	100	100	60	4	20	200	5	60	250	4	10	200	50
1	100	120	45	6	30	200	4	50	300	6	20	300	60
2	220	140	30	6	40	300	8	10	200	8	30	200	50
3	200	200	90	8	4	140	8	20	180	10	40	160	100
4	200	220	60	10	6	190	12	8	140	4	50	120	50
5	200	240	30	12	8	200	14	10	100	8	50	150	60
6	240	280	45	20	10	50	24	12	120	6	8	110	50
7	280	240	60	40	4	200	30	14	140	10	10	120	100
8	400	100	90	3	30	300	10	16	200	4	12	300	50
9	50	50	15	40	10	100	20	30	200	6	14	200	60

Примечание: не следует учитывать параметры элементов, отсутствующих в схеме Вашего варианта.

ЗАДАЧА 3.4. Два электродвигателя переменного тока подключены параллельно к сети с напряжением  $U_2$  и работают с низким коэффициентом мощности. Измерительные приборы в цепи каждого электродвигателя показывают токи  $I_1$  и  $I_2$ , мощности  $P_1$  и  $P_2$  (рис. 3.3).

Каждый провод линии электропередачи, питающей оба электродвигателя, имеет активное сопротивление  $r_0$  и индуктивное  $x_0$ . Коэффициент мощности данной установки может быть повышен включением параллельно двигателям батареи конденсаторов. Численные значения всех величин, необходимых для расчета, приведены в таблице вариантов.

Необходимо:

1. Изобразить расчетную схему.
2. Рассчитать заданную электрическую цепь до подключения конденсаторов и определить:
  - а) ток в линии;
  - б) напряжение в начале линии;

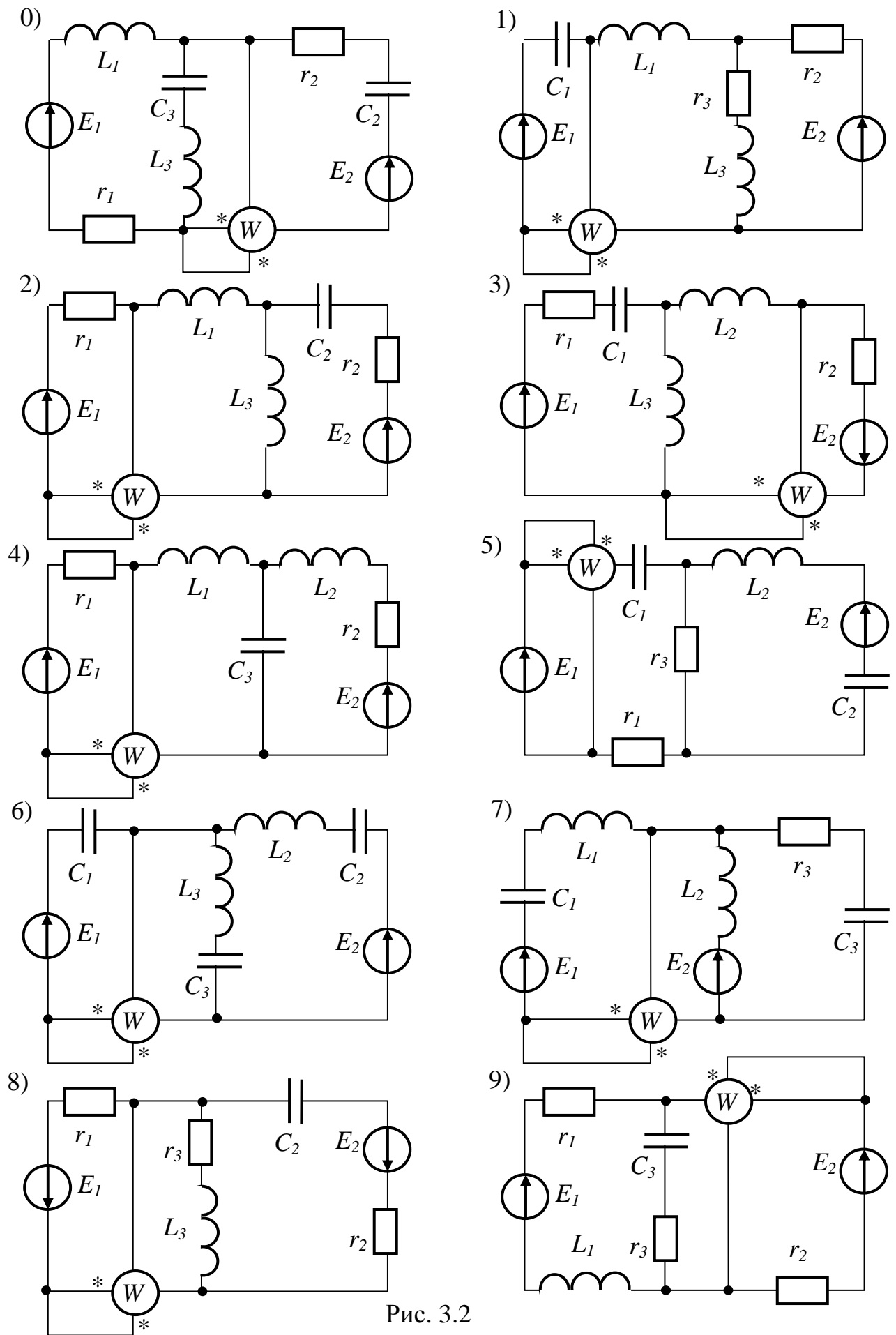


Рис. 3.2



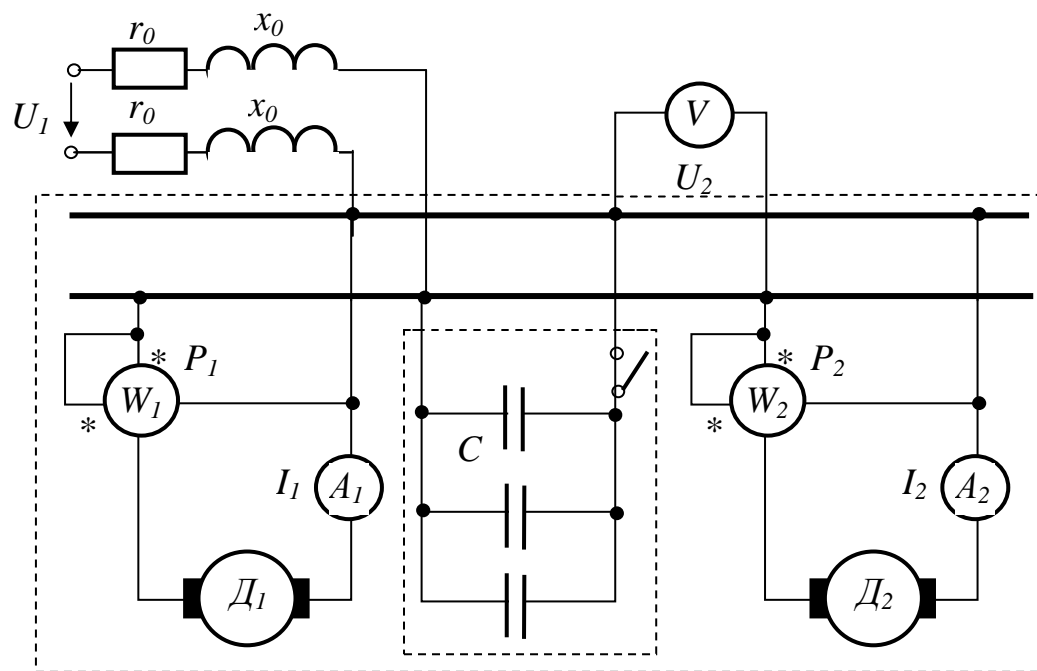


Рис. 3.3

- в) потерю и падение напряжения в линии;
- г) активную, реактивную и полную мощности в конце линии и мощность потерь в проводах;
- д) коэффициент мощности установки;
- е) КПД линии.

3. Рассчитать компенсационную установку для получения  $\cos\varphi_k = 0.95$  ( $\varphi_k > 0$ ) и определить для указанного значения коэффициента мощности емкость и мощность батареи конденсаторов.

4. Выполнить расчет при условии работы компенсационной установки (конденсаторы включены) и найти все величины, которые были найдены до включения конденсаторов.

Полученные результаты свести в таблицу и сравнить для различных режимов работы электродвигателей (до компенсации и с  $\cos\varphi_k = 0.95$ ). Отметить, какие выгоды дает повышение коэффициента мощности установки.

Таблица для сравнения результатов расчета

Режим работы	Без конденсатора	С конденсаторами
Коэффициент мощности в конце линии		
Ёмкость батареи конденсаторов, мкФ		
Мощность батареи конденсаторов, квар		
Ток в линии, А		
Напряжение в начале линии, В		
Потеря напряжения в линии, В		
Падение напряжения в линии, В		
Активная мощность в начале линии, кВт		
Мощность потерь в линии, кВт		
КПД линии, %		
Реактивная мощность в конце линии, квар		

Указания:

1. При всех расчетах напряжение в конце линии  $U_2$  и мощности двигателей  $P_1$  и  $P_2$  считать неизменными (рекомендуется обозначать  $P_1 + P_2 = P_H$ ).
2. Частоту тока принять равной промышленной частоте  $f = 50$  Гц.

Таблица вариантов к задаче 3.4

I-я цифра варианта	$r_o$ , Ом	$x_o$ , Ом	II-я цифра варианта	$I_1$ , А	$I_2$ , А	$P_1$ , кВт	$P_2$ , кВт	$U_2$ , В
0	0.03	0.04	0	60	100	5	8	127
1	0.02	0.03	1	70	90	12	14	220
2	0.04	0.06	2	80	75	16	15	380
3	0.06	0.04	3	90	70	40	32	660
4	0.05	0.06	4	100	80	60	50	1140
5	0.06	0.05	5	95	85	7	6	127
6	0.03	0.05	6	85	95	14	12	220
7	0.04	0.05	7	75	85	15	18	380
8	0.05	0.06	8	65	80	30	35	660
9	0.05	0.03	9	82	65	60	40	1140

ЗАДАЧА 3.5. На рис. 3.4 изображена схема электрической цепи, содержащая индуктивно связанные обмотки (третья обмотка в схемах 4-5-6-7 замкнута на вольтметр с очень большим сопротивлением, ток которого можно пренебречь).

Напряжение сети и параметры схем приведены в таблице вариантов.

Необходимо выполнить следующее:

1) составить уравнения по законам Кирхгофа для определения действующих значений токов во всех ветвях;

2) устранить ("развязать") индуктивную связь между обмотками, вычертив эквивалентную схему и определив ее параметры;

3) пользуясь любой схемой (исходной или эквивалентной), рассчитать действующие значения токов во всех ветвях;

4) определить показание вольтметра (в схемах 4-5-6-7);

5) рассчитать активную мощность взаимной индукции, передаваемую через магнитное поле из одной обмотки в другую, и направление ее передачи;

6) для исходной схемы построить векторную или топографическую диаграмму, совмещенную с диаграммой токов.

Таблица вариантов к задаче 3.5 (схемы 2-3-4-5)

I-я цифра варианта	$U$ , В	$r_1$ , Ом	$\omega L_1$ , Ом	$1/\omega C_1$ , Ом	$r_2$ , Ом	$\omega L_2$ , Ом	$1/\omega C_2$ , Ом	$\omega M_{12}$ , Ом	$\omega M_{13}$ , Ом	$\omega M_{23}$ , Ом
0	127	10	20	10	20	10	20	14	18	20
1	220	20	12	20	24	20	10	8	6	8
2	380	24	30	20	20	20	30	24	20	25
3	660	36	30	20	20	30	40	20	25	24
4	1140	36	20	30	30	20	40	30	12	12
5	127	12	20	12	10	12	20	12	12	18
6	220	18	20	24	10	15	20	14	12	16
7	380	24	24	30	15	30	20	20	15	20
8	660	36	30	20	20	30	40	24	20	25
9	1140	24	40	20	30	40	30	30	20	30

Таблица вариантов к задаче 3.5 (схемы 0-1-6-7-8-9)

I-я цифра варианта	$U$ , В	$r_1$ , Ом	$x_1$ , Ом	$r_2$ , Ом	$x_2$ , Ом	$r_3$ , Ом	$x_3$ , Ом	$\omega M$ , Ом
0	220	5	10	10	15	12	12	10
1	380	8	12	12	18	18	12	10
2	660	10	14	20	24	24	16	12
3	127	3	6	10	16	15	20	6

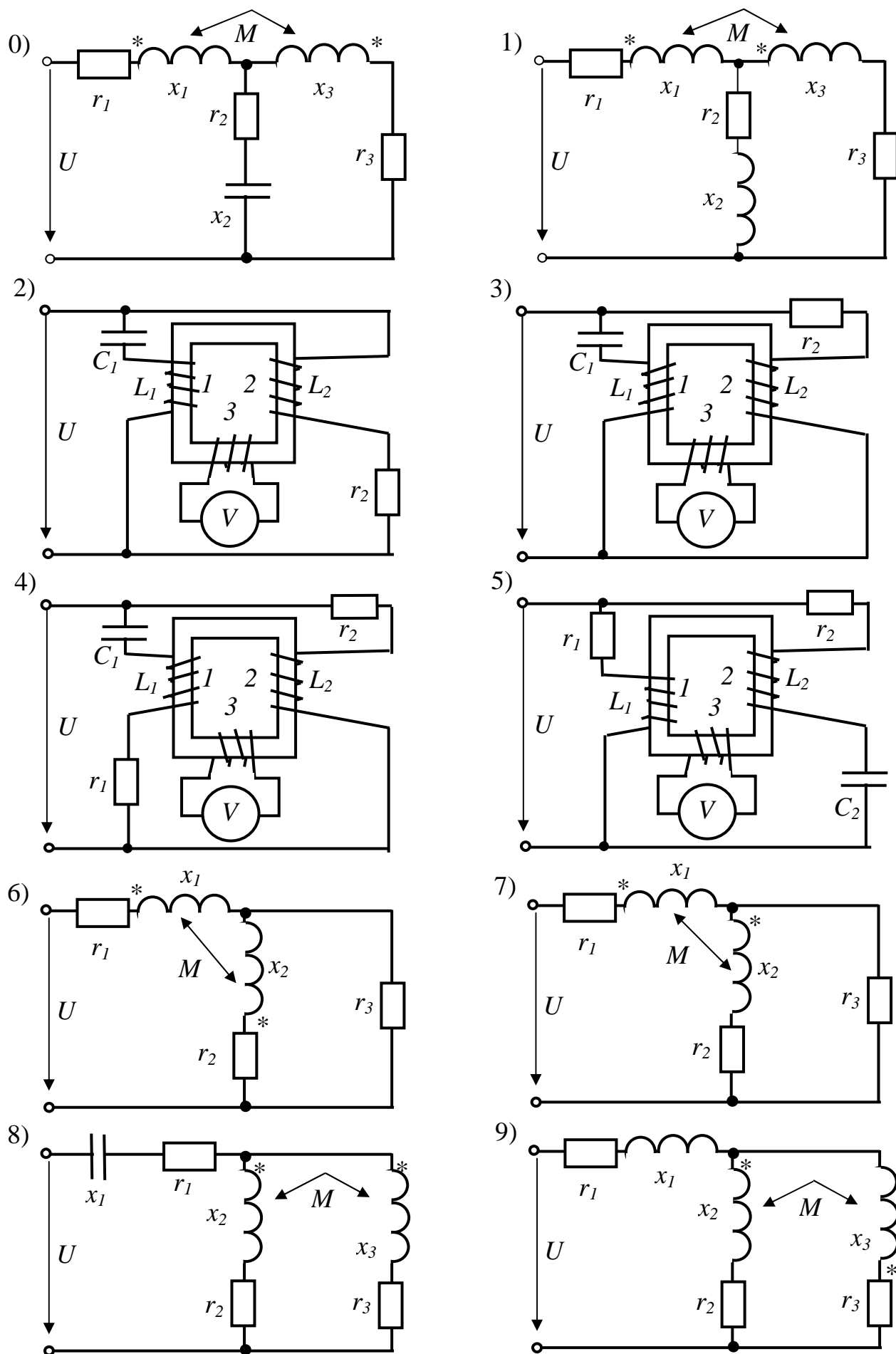


Рис. 3.4

4	1140	12	10	22	26	26	18	14
5	127	4	8	10	14	15	12	8
6	220	6	10	12	18	18	20	8
7	380	8	16	15	20	20	18	10
8	660	14	15	25	20	30	18	15
9	1140	22	18	15	30	16	40	25

Примечание: не следует учитывать параметры элементов, отсутствующих в схеме Вашего варианта.

#### 4. ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКИ И ЧАСТОТНЫЕ ФИЛЬТРЫ

ЗАДАЧА 4.1. Определить коэффициенты четырехполюсника рис.4.1 в формах  $\underline{A}$ ,  $\underline{H}$  и  $\underline{Z}$ . Вычертить Т- или П-образную схему замещения четырехполюсника и рассчитать ее параметры. Числовые значения параметров схемы четырехполюсника заданы в таблице вариантов.

Таблица вариантов к задаче 4.1

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$r$ , Ом	70	10	90	40	50	30	60	100	80	20
$x_L$ , Ом	10	60	40	80	50	50	70	30	100	50
$x_C$ , Ом	80	10	30	90	20	10	30	80	40	60
Схема замещ.	П	Т	П	Т	П	Т	П	Т	П	Т

ЗАДАЧА 4.2. В условиях задачи 4.1 определить коэффициенты четырехполюсника в формах  $\underline{A}$  и  $\underline{H}$  и рассчитать его характеристические параметры  $a$ ,  $b$ ,  $\underline{Z}_{1c}$ ,  $\underline{Z}_{2c}$ . Определить коэффициенты передачи четырехполюсника по напряжению  $K_u=U_2/U_1$  и по току  $K_i=I_2/I_1$  при сопротивлении нагрузки  $\underline{Z}_2$ , равном  $\underline{Z}_{2c}$ .

ЗАДАЧА 4.3. В условиях задачи 4.1 определить коэффициенты четырехполюсника в форме  $\underline{A}$  и построить круговую диаграмму, если действующее значение напряжения  $U_1$  равно 100 В, а сопротивление приемника  $\underline{Z}_n=r_n$  изменяется только по модулю от нуля до бесконечности. Пользуясь круговой диаграммой, определить  $I_1$ ,  $P_1$ ,  $Q_1$ ,  $S_1$ ,  $\cos\varphi_1$ ,  $I_2$ ,  $U_2$ ,  $P_2$ ,  $Q_2$ ,  $S_2$  и КПД четырехполюсника при двух сопротивлениях приемника:  $\underline{Z}_n=\underline{Z}_{2к}$  и  $\underline{Z}_n=2\underline{Z}_{2к}$ .

ЗАДАЧА 4.4. На вход реактивного фильтра типа К (схему фильтра в соответствии с вариантом следует вычертить) подано напряжение  $U_1$ , частота которого изменяется в широких пределах. Для двух случаев: а) во всем диапазоне частот фильтр согласован с нагрузкой; б) фильтр нагружен на неизменное активное сопротивление нагрузки

$r_n = \kappa \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}$  произвести расчет и в общей системе координат построить графики зависимости  $I_1(f)$  и  $U_2(f)$ . Частоту изменять в пределах  $0 \leq f \leq 3f_0$ , где  $f_0$  – частота среза фильтра, которую также следует рассчитать.

Таблица вариантов к задаче 4.4

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$L$ , Гн	0.2	0.3	0.4	0.5	0.15	0.25	0.35	0.45	0.6	0.1
$C$ , мкФ	9	8	7	6	5	4	3	2	1	10
Вторая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\kappa$	0.5	0.75	1	1.5	2	0.5	0.75	1	1.5	2
Тип фильтра	НЧ	ВЧ	НЧ	ВЧ	НЧ	ВЧ	НЧ	ВЧ	НЧ	ВЧ
Вид схемы фильтра	П	Т	П	П	Т	Т	П	П	Т	Т

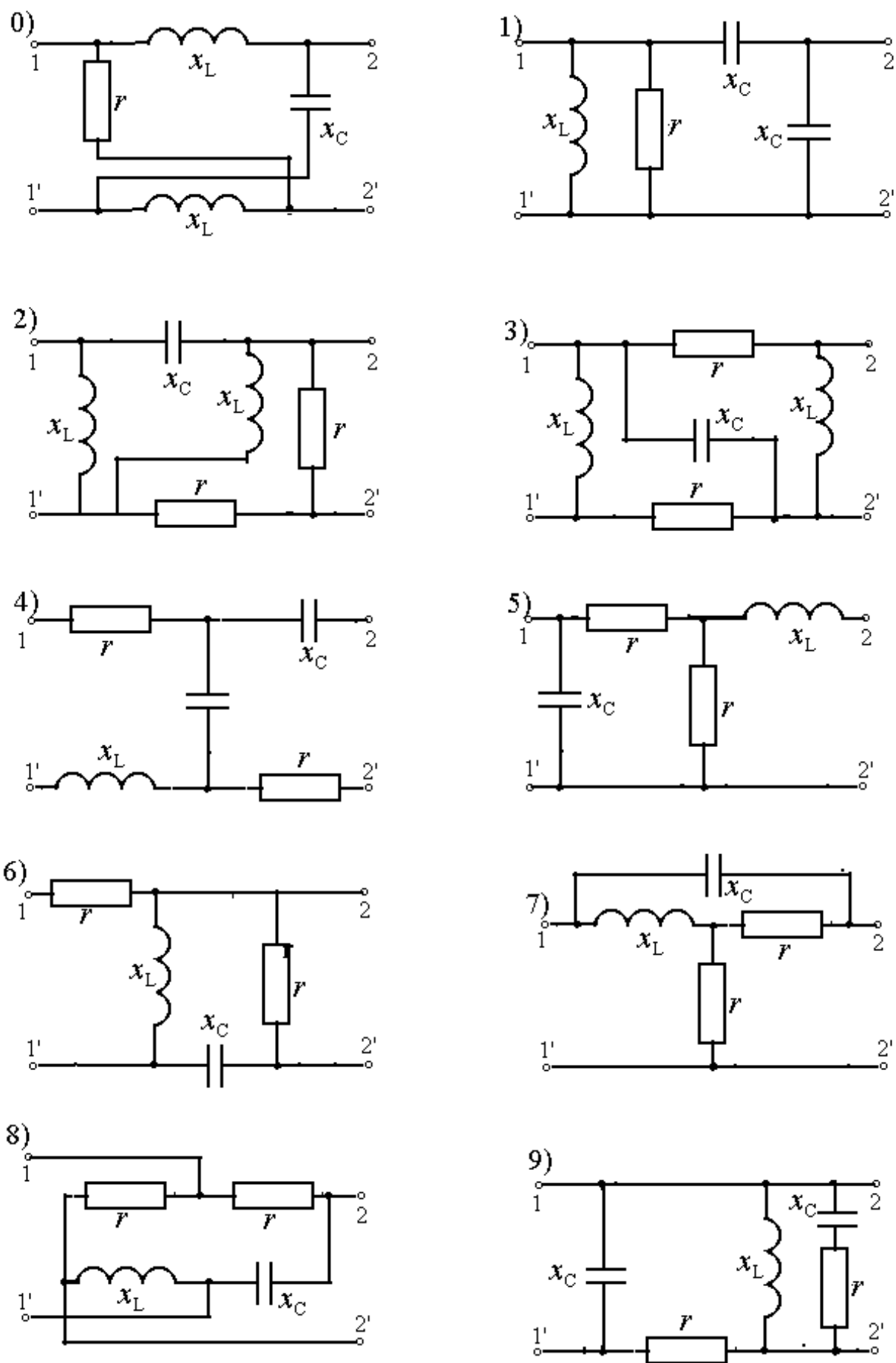


Рис. 4.1

## 5. ТРЕХФАЗНЫЕ ЦЕПИ

ЗАДАЧА 5.1. Три одинаковых приемника энергии с сопротивлениями  $r$ ,  $X_L$  и  $X_C$  каждый подключены к трехфазному генератору с линейным напряжением  $U_L$ . По заданным в таблице вариантов параметрам схемы определить фазные и линейные токи и напряжения, а также показания ваттметров для следующих случаев:

- 1) приемник соединен звездой (рис. 5.1) и
  - а) нагрузка фаз симметрична;
  - б) один провод оборван (см. табл.);
  - в) один приемник закорочен (см. табл.);
  - г) сделать вывод о влиянии обрыва провода или короткого замыкания фазы приёмника на величины токов и напряжений по сравнению с симметричным режимом;
- 2) приемник соединен треугольником (рис. 5.2) и
  - а) нагрузка фаз симметрична;
  - б) один линейный провод оборван (см. табл.);
  - в) одна фаза приемника разомкнута (см. табл.).

Для каждого случая вычертить схему и построить векторную диаграмму напряжений и токов. Сравнить активные мощности симметричного трёхфазного приемника, соединенного по схеме звезды и по схеме треугольника и питающегося от одного и того же источника.

Таблица вариантов к задаче 5.1

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_L, В$	220	380	660	1140	127	127	220	380	660	1140
Вторая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$r, Ом$	3	4	0	0	8	6	16	16	12	12
$X_L, Ом$	4	0	10	20	6	8	12	0	16	0
$X_C, Ом$	0	3	20	10	0	0	0	12	0	16
Для звезды: оборвана фаза закорочена фаза	A B	B C	C A	C B	B C	A C	A B	B A	C A	B B
Для треугольника: оборван линейный провод оборвана фаза	C AX	B CZ	A BY	C BY	B AX	A CZ	C CZ	B CZ	A AX	C BY

ЗАДАЧА 5.2. Три приемника с сопротивлениями  $Z_A$ ,  $Z_B$ ,  $Z_C$  соединены звездой и подключены к симметричному трехфазному генератору (рис. 5.3) с линейным напряжением  $U_L$ .

Определить показания приборов, активную мощность, потребляемую приемниками, и построить векторные диаграммы для двух случаев:

- а) нулевой провод включен;
- б) нулевой провод выключен.

Параметры элементов схемы заданы в таблице вариантов.

Таблица вариантов к задаче 5.2

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_L, В$	1140	660	380	220	127	1140	660	380	220	127

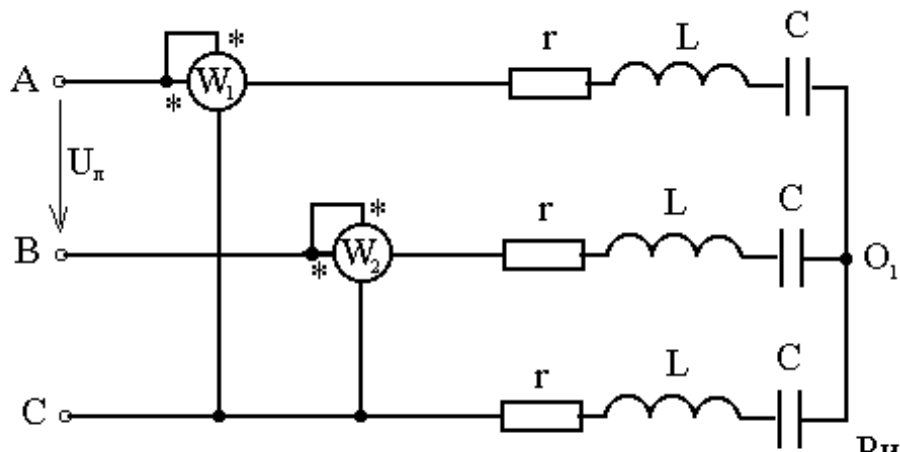


Рис.5.1

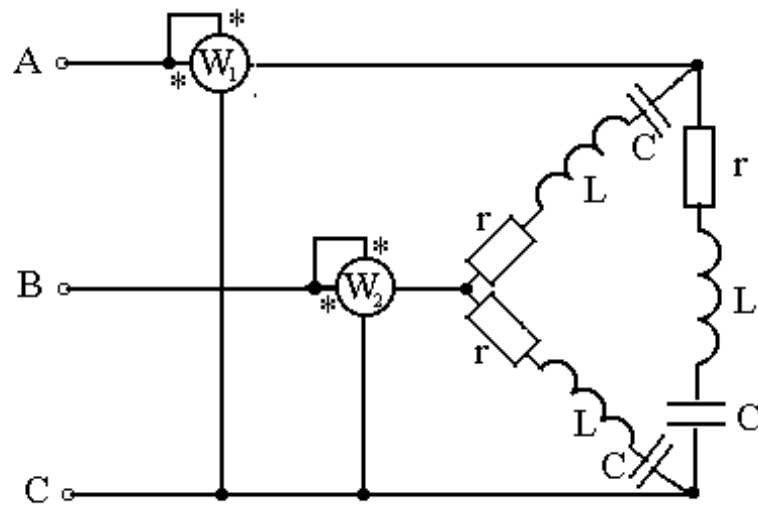


Рис.5.2

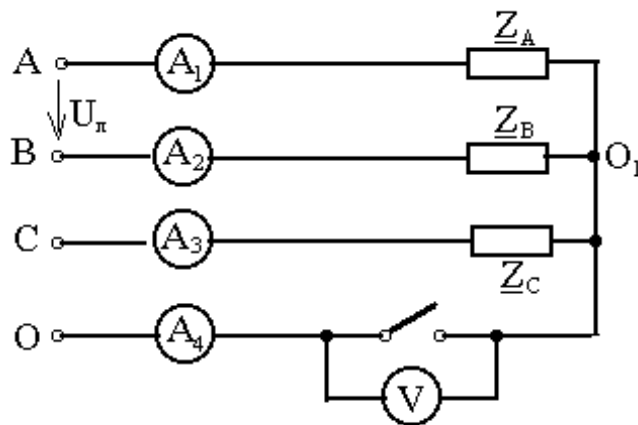


Рис.5.3

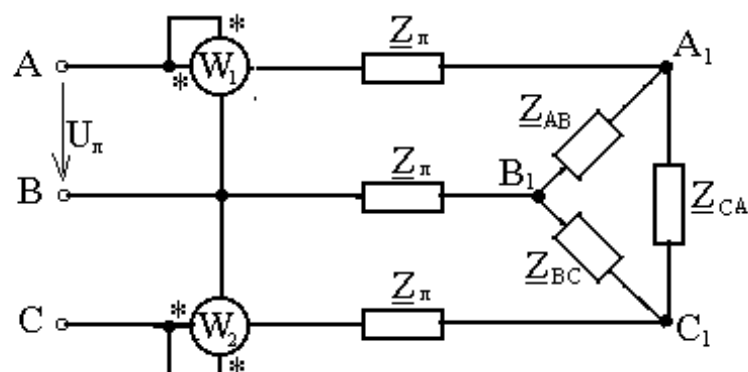


Рис.5.4

Вторая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\underline{Z}_A, \text{ Ом}$	-j10	8+j6	20	6+j8	3+j4	10	20	-j16	-j10	10
$\underline{Z}_B, \text{ Ом}$	4+j3	-j16	6+j8	10	-j10	8+j6	-j16	6+j8	13	-j13
$\underline{Z}_C, \text{ Ом}$	10	20	-j10	3-j4	5	-j10	8+j6	20	12+j5	5+j12

ЗАДАЧА 5.3. Трехфазный приемник, соединенный треугольником, питается от симметричного генератора с линейным напряжением  $U_L$  (рис. 5.4). Сопротивления фаз приемника  $\underline{Z}_{AB}, \underline{Z}_{BC}, \underline{Z}_{CA}$ , сопротивления проводов линии  $\underline{Z}_l$  и напряжение  $U_L$  заданы в таблице вариантов. Определить все токи, показания приборов и построить векторную диаграмму напряжений и токов.

Таблица вариантов к задаче 5.3

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_L, \text{ В}$	660	380	220	127	1140	660	380	220	127	1140
Вторая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\underline{Z}_{AB}, \text{ Ом}$	6+j8	8-j6	20	3+j4	25	5-j12	-j20	40	16-j12	-j10
$\underline{Z}_{BC}, \text{ Ом}$	10-j10	10	5-j12	8	5+j12	10	5+j12	12-j16	15	8+j8
$\underline{Z}_{CA}, \text{ Ом}$	20	6+j8	11+j5	8-j6	12-j5	6+j8	16	j20	6+j8	20
$\underline{Z}_l, \text{ Ом}$	1+j2	1+j3	2+j3	1+j1	j3	2	2+j2	2+j1	1+j2	j2

ЗАДАЧА 5.4. Симметричный трёхфазный приёмник с сопротивлениями прямой  $\underline{Z}_1$ , обратной  $\underline{Z}_2$  и нулевой  $\underline{Z}_0$  последовательностей питается от симметричного источника с линейным напряжением  $U_L$ . В схеме (рис.5.5) имеется участок несимметрии УН с сопротивлением  $\underline{Z}_{\text{нс}}$ , приводящий к возникновению несимметричного режима. Рассчитать все токи и напряжение на  $\underline{Z}_{\text{нс}}$  при наличии УН и сравнить их с соответствующими величинами при отсутствии УН.

Рис. 5.5

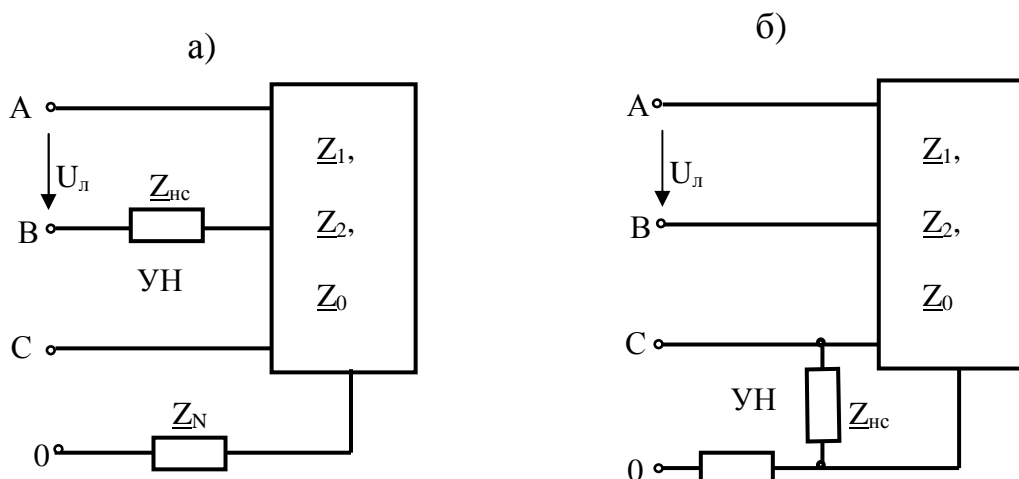


Таблица вариантов к задаче 5.4

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_L, \text{ В}$	660	380	220	127	1140	660	380	220	127	1140
$\underline{Z}_1, \text{ Ом}$	40+j30	40+j30	40+j30	40+j30	40+j30	80+j60	80+j60	80+j60	80+j60	12+j5
$\underline{Z}_2, \text{ Ом}$	3+j4	3+j4	3+j4	3+j4	3+j4	6+j8	6+j8	6+j8	6+j8	2+j1



$\underline{Z}_0$ , Ом	10+j10	10+j10	10+j10	10+j10	10+j10	20+j20	20+j20	20+j20	20+j20	1+j
Вторая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\underline{Z}_{ис}$ , Ом	$\infty$	100	j100	-j100	$\infty$	0	25	j25	-j25	0
$\underline{Z}_N$ , Ом	10	5	$\infty$	$\infty$	2+j2	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	1+j1
Схема рис.5.4	a	a	a	a	a	б	б	б	б	б

## 6. ЦЕПИ НЕСИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

ЗАДАЧА 6.1. К зажимам цепи (рис.3.1) приложено напряжение

$$u(t) = U_0 + U_{1m} \sin(\omega t + \psi_1) + U_{3m} \sin(3\omega t + \psi_3), \text{ В.}$$

Определить мгновенные и действующие значения токов во всех ветвях и напряжений  $u_{12}$  и  $u_{23}$ . Определить коэффициент мощности цепи, построить график тока  $i_1(t)$ , если основная частота тока  $f=50$  Гц.

Амплитуды и начальные фазы напряжений отдельных гармоник приведены в таблице вариантов, а параметры элементов цепи – в таблице вариантов к задаче 3.1.

Таблица вариантов к задаче 6.1

Первая цифра варианта	$U_0$ , В	$U_{1m}$ , В	$\psi_1$ , град	$U_{3m}$ , В	$\psi_3$ , град
0	32	160	+45	42	+90
1	24	140	+60	32	+30
2	60	220	+15	44	-45
3	50	127	-15	36	+45
4	48	200	-80	40	+20
5	36	180	-45	50	+60
6	60	140	+20	30	-90
7	40	310	-90	60	-20
8	30	250	+30	80	-30
9	25	190	-75	90	+75

ЗАДАЧА 6.2. В цепи рис. 6.1 действуют два источника ЭДС:  $e_1 = E_0 + E_{1m} \sin(\omega t + 30^\circ) + E_{3m} \sin(3\omega t - 90^\circ)$ , В и  $e_2 = 20 + 40 \sin 2\omega t$ , В.

Определить мгновенные и действующие значения токов, проверить баланс мощностей.

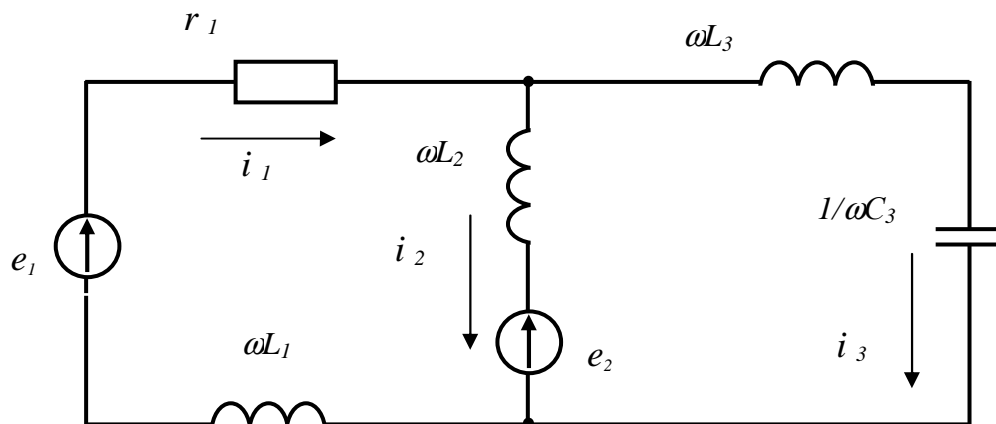


Рис. 6.1

Таблица вариантов к задаче 6.2

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$E_o, В$	80	60	40	20	30	50	70	80	60	40
$E_{1m}, В$	100	80	70	150	90	100	200	127	220	380
$E_{3m}, В$	50	60	70	30	40	80	90	70	100	110
Вторая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$r_1, Ом$	20	30	40	50	40	30	20	80	100	60
$\omega L_1, Ом$	10	20	15	30	25	12	18	35	40	20
$\omega L_2, Ом$	20	30	40	15	25	35	10	15	20	8
$\omega L_3, Ом$	10	15	20	25	30	35	20	40	30	25
$1/\omega C_3, Ом$	90	135	180	120	150	100	180	210	270	240

ЗАДАЧА 6.3. ЭДС симметричного трехфазного генератора, соединенного в звезду, изменяется по закону :  $e_A = E_m^{(1)} \sin(\omega t + \psi^{(1)}) + E_m^{(3)} \sin(3\omega t + \psi^{(3)})$ , В

Нагрузка, соединенная в звезду, симметрична (рис. 6.2). Амплитуды и начальные фазы напряжений отдельных гармоник и параметры нагрузки заданы в таблице вариантов, а  $Z_N^{(1)} = 2 + j2$  Ом.

Определить показания приборов электромагнитной системы при :

- включенном рубильнике  $P_1$  и включенном рубильнике  $P_2$ .
- включенном рубильнике  $P_1$  и выключенном рубильнике  $P_2$ .
- выключенном рубильнике  $P_1$ .

Для одного из случаев построить график линейного тока  $i_A(t)$ .

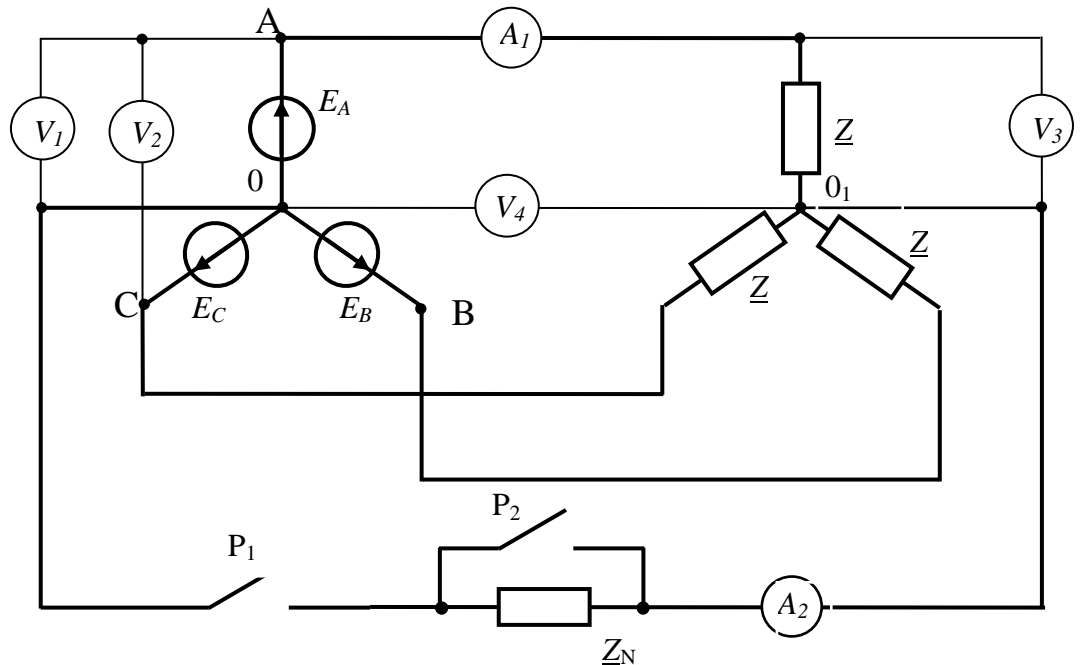


Рис 6.2

Таблица вариантов к задаче 6.3

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$E_m^{(1)}, В$	180	200	310	220	240	260	280	300	210	190
$\psi^{(1)}, град$	15	-15	90	-30	45	-45	60	-60	-90	30

$E_m^{(3)}, В$	56	60	107	100	44	48	80	90	40	72
$\psi^{(3)}, \text{град}$	-90	75	-60	45	30	0	-45	60	-75	90
Вторая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\underline{Z}^{(1)}, \text{Ом}$	$5+j2$	$10-j15$	$6-j27$	$4+j3$	$5-j12$	$8+j4$	$3-j9$	$5+j3$	$6-j9$	$12+j5$

ЗАДАЧА 6.4. Фазное напряжение симметричного трехфазного генератора, соединенного в звезду, изменяется по закону:

$$u_A(t) = U_m^{(1)} \sin(\omega t + \psi^{(1)}) + U_m^{(3)} \sin(3\omega t + \psi^{(3)}), В.$$

Нагрузка, соединенная в звезду, несимметрична (рис. 6.3). Амплитуды и начальные фазы напряжений отдельных гармоник и параметры нагрузки заданы в таблице вариантов, а  $Z_n^{(1)} = 2 - j6 \text{ Ом}$ .

Определить показания приборов электромагнитной системы при :

- включенном рубильнике  $P_1$  и включенном рубильнике  $P_2$ .
- включенном рубильнике  $P_1$  и выключенном рубильнике  $P_2$ .
- выключенном рубильнике  $P_1$ .

Для одного из случаев построить график линейного тока  $i_A(t)$ .

Таблица вариантов к задаче 6.4

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_{1m}, В$	180	200	310	220	240	260	280	300	210	190
$\psi_1, \text{град}$	15	-15	90	-30	45	-45	60	-60	-90	30
$U_{3m}, В$	56	60	40	100	44	48	80	90	107	72
$\psi_3, \text{град}$	-90	75	-60	45	30	0	-45	60	-75	90
Вторая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\underline{Z}_A^{(1)}, \text{Ом}$	5	10	$6-j27$	$4+j3$	$5-j12$	8	$3-j4$	$5+j5$	$6-j8$	$12+j5$
$\underline{Z}_B^{(1)}, \text{Ом}$	$4+j2$	$4-j27$	$3+j2$	$6-j9$	$5+j3$	$6-j27$	$4+j3$	8	$8+j8$	$5-j12$
$\underline{Z}_C^{(1)}, \text{Ом}$	$8-j4$	$8+j2$	5	6	8	$4+j3$	6	$5-j12$	10	8

ЗАДАЧА 6.5. ЭДС симметричного трехфазного генератора, соединенного в треугольник, изменяется по закону :

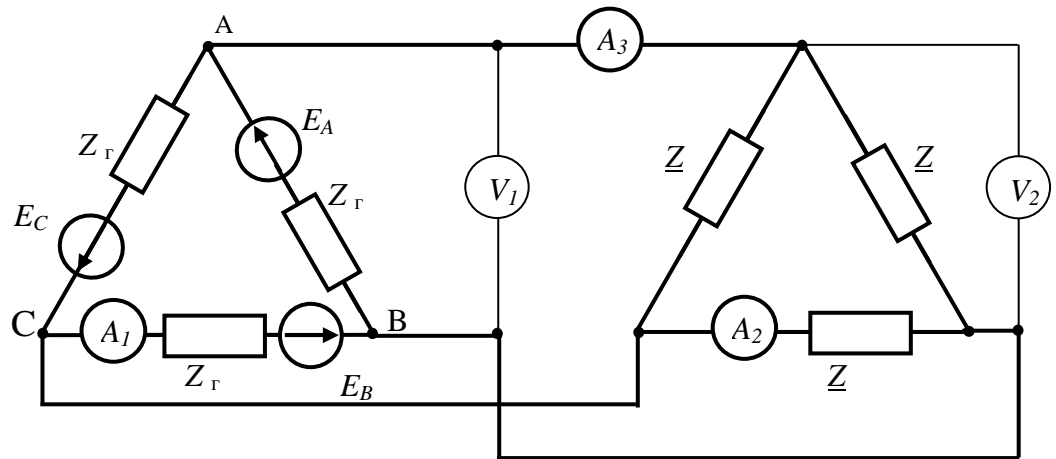
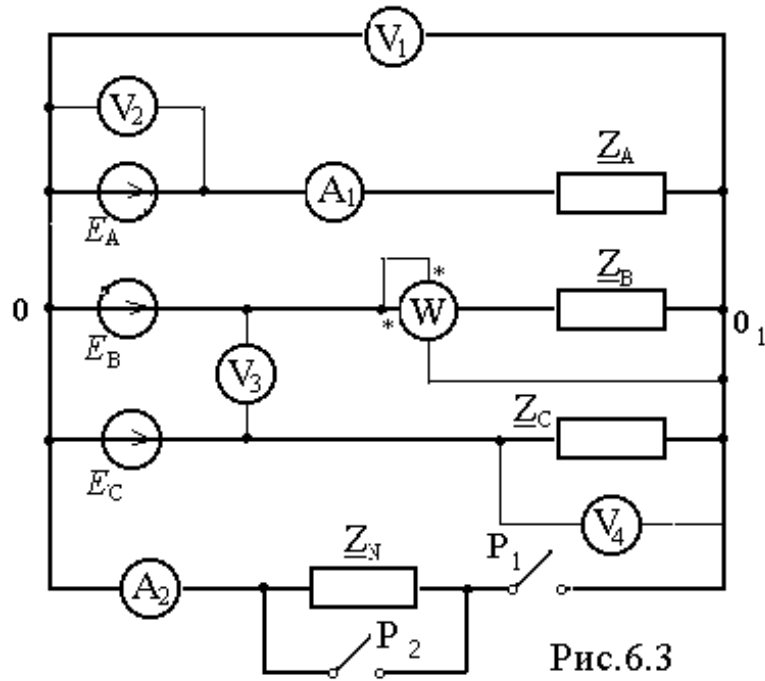
$$e_A = E_m^{(1)} \sin(\omega t + \psi^{(1)}) + E_m^{(3)} \sin(3\omega t + \psi^{(3)}) + E_m^{(5)} \sin(5\omega t + \psi^{(5)}), В$$

Нагрузка, соединенная в треугольник, симметрична (рис. 6.4). Амплитуды и начальные фазы напряжений отдельных гармоник и параметры нагрузки заданы в таблице вариантов, а внутреннее сопротивление фазы генератора  $\underline{Z}_c^{(1)} = 1 + j1 \text{ Ом}$ .

Определить показания приборов электромагнитной системы

Таблица вариантов к задаче 6.5

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$E_m^{(1)}, В$	180	200	310	220	240	260	280	300	210	190
$\psi^{(1)}, \text{град}$	15	-15	90	-30	45	-45	60	-60	-90	30
$E_m^{(3)}, В$	56	60	107	100	44	48	80	90	40	72
$\psi^{(3)}, \text{град}$	-90	75	-60	45	30	0	-45	60	-75	90
$E_m^{(5)}, В$	56	60	107	100	44	48	80	90	40	72
$\psi^{(5)}, \text{град}$	56	60	107	100	44	48	80	90	40	72
Вторая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\underline{Z}^{(1)}, \text{Ом}$	$5+j2$	$10-j25$	$6-j27$	$4+j3$	$5-j15$	$8-j15$	$3-j9$	$5+j3$	$6-j15$	$12+j4$



### 7. ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЦЕПЯХ С СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

ЗАДАЧА 7.1. Классическим методом определить напряжение на реактивном элементе и токи переходного процесса в ветвях схемы рис. 7.1, если известны постоянное напряжение источника и параметры электрической цепи (см. таблицу вариантов). Построить графики тока в резисторе  $R_1$  и напряжения на реактивном элементе в функции времени  $t$ .

Таблица вариантов к задаче 7.1

Первая цифра варианта	U, В	R <sub>1</sub> , Ом	R <sub>2</sub> , Ом	R <sub>3</sub> , Ом	L, Гн в схемах с L	C, мкФ в схемах с C
0	100	100	100	200	0.2	50
1	200	150	200	100	0.8	40
2	300	80	100	200	0.4	60
3	400	100	150	120	0.6	100

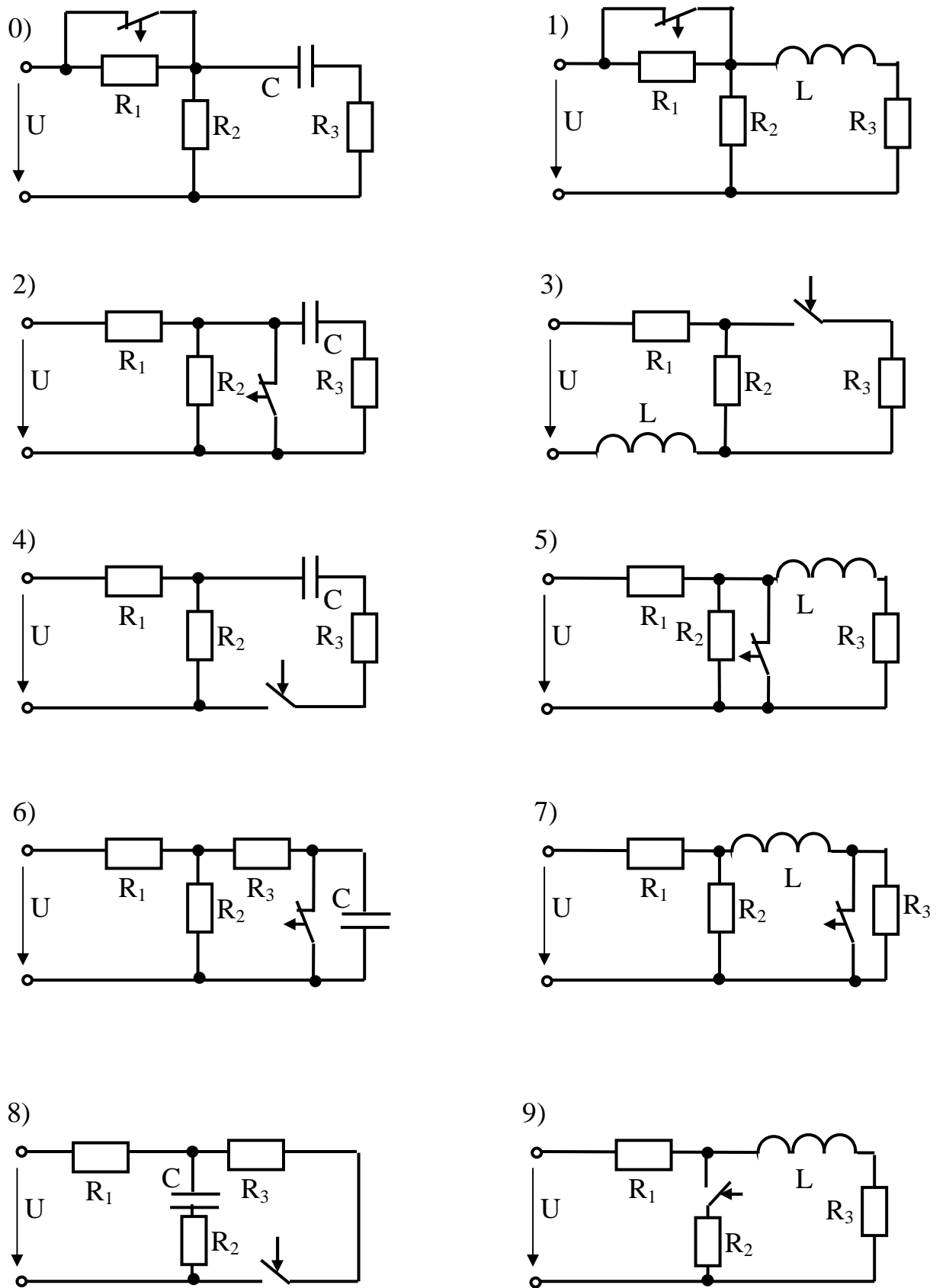


Рис. 7.1

4	500	80	200	120	0.3	80
5	150	120	100	200	0.5	50
6	250	50	100	100	0.9	90
7	120	120	200	150	0.7	80
8	220	150	120	200	0.4	40
9	180	50	120	100	0.5	60

ЗАДАЧА 7.2. Классическим методом определить токи переходного процесса в ветвях схемы рис.7.2 при известном постоянном напряжении источника и параметрах электрической цепи (см. таблицу вариантов). Построить кривую изменения тока в неразветвленной части цепи и напряжения на конденсаторе в функции времени  $t$ .

Таблица вариантов к задаче 7.2

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
U, В	200	100	300	400	500	150	250	350	120	220
R <sub>1</sub> , Ом	50	100	60	150	100	200	80	100	50	120
R <sub>2</sub> , Ом	100	120	120	100	200	80	150	200	120	150
L, Гн	0.1	0.2	0.15	0.25	0.05	0.1	0.15	0.2	0.05	0.25
C, мкФ	10	5	15	2	10	2	4	15	5	4

ЗАДАЧА 7.3. В условиях задачи 7.1 определить токи во всех ветвях схемы классическим методом, заменив источник постоянного напряжения U источником синусоидального напряжения  $u=U_m \sin(314t + \psi_u)$  согласно таблице вариантов. Построить график тока, имеющего наибольшую величину свободной составляющей.

Таблица вариантов к задаче 7.3

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
U <sub>m</sub> , В	150	200	400	300	150	400	200	300	150	100
ψ <sub>u</sub> , град	30	60	90	120	150	-30	-60	-90	-120	-150

ЗАДАЧА 7.4. В условиях задачи 7.1 рассчитать переходный процесс операторным методом.

ЗАДАЧА 7.5. В условиях задачи 7.2 рассчитать токи переходного процесса операторным методом.

ЗАДАЧА 7.6. В условиях задачи 7.1 определить входной ток при подключении цепи рис. 7.1 к источнику, напряжение которого изменяется по закону, представленному на рис 7.3 (вторая цифра варианта). Построить графики зависимости изменения напряжения источника и входного тока во времени. При решении задачи воспользоваться интегралом Дюамеля.

Примечание. Следует иметь в виду, что рубильник в схемах рис. 7.1 находится в положении, соответствующем послекоммутационному режиму, а источник напряжения подключается к входным зажимам цепи при нулевых начальных условиях.

$$\text{Указание: } \int e^{\alpha x} \cos \beta x = \frac{e^{\alpha x}}{\alpha^2 + \beta^2} (\alpha \cdot \cos \beta x + \beta \cdot \sin \beta x).$$

ЗАДАЧА 7.7. На рис. 7.4 приведены электрические схемы с источником постоянного напряжения, в которых ключ периодически включается и отключается с периодом  $T = 3L/R_2$  (в цепях с индуктивностью) или  $T = 3R_2C$  (в цепях с ёмкостью), в результате чего в схеме имеет место квазиустановившийся режим. Длительность периода  $T$  состоит из времени включения  $t_b$  и отключения  $t_o$  схемы от источника.

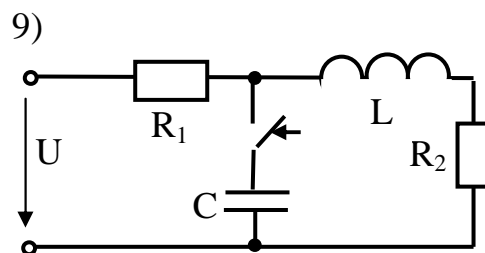
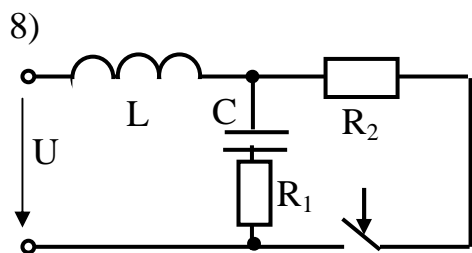
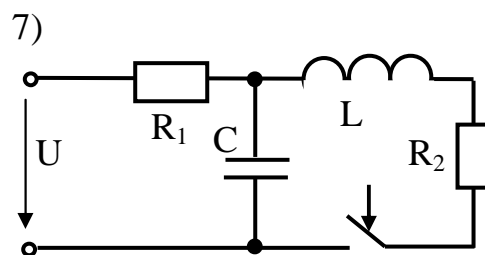
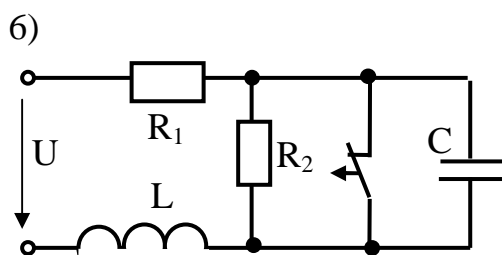
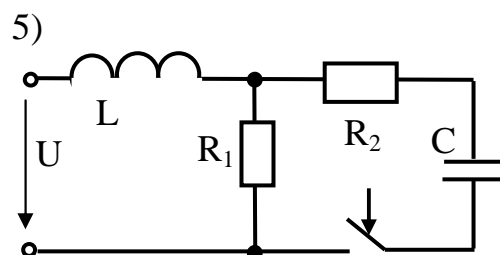
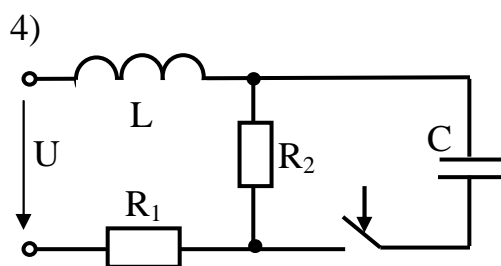
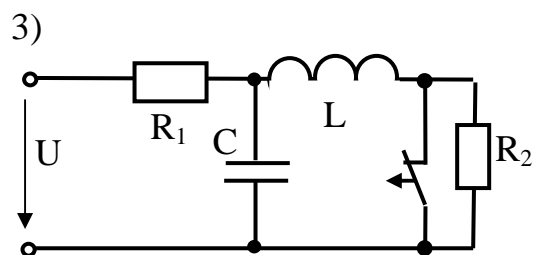
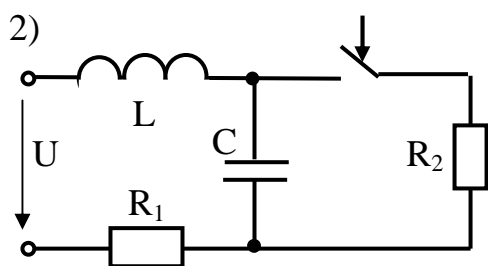
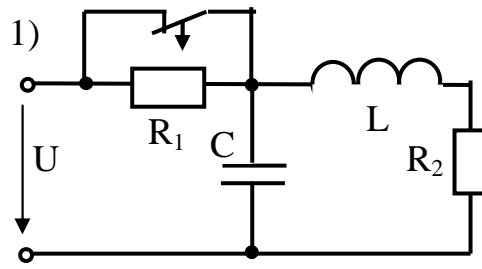
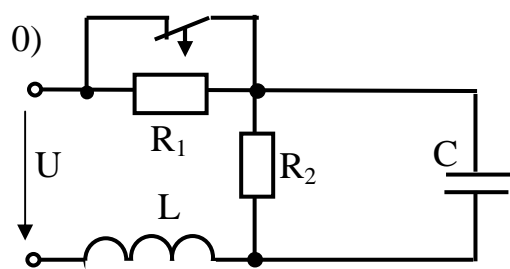


Рис. 7.2

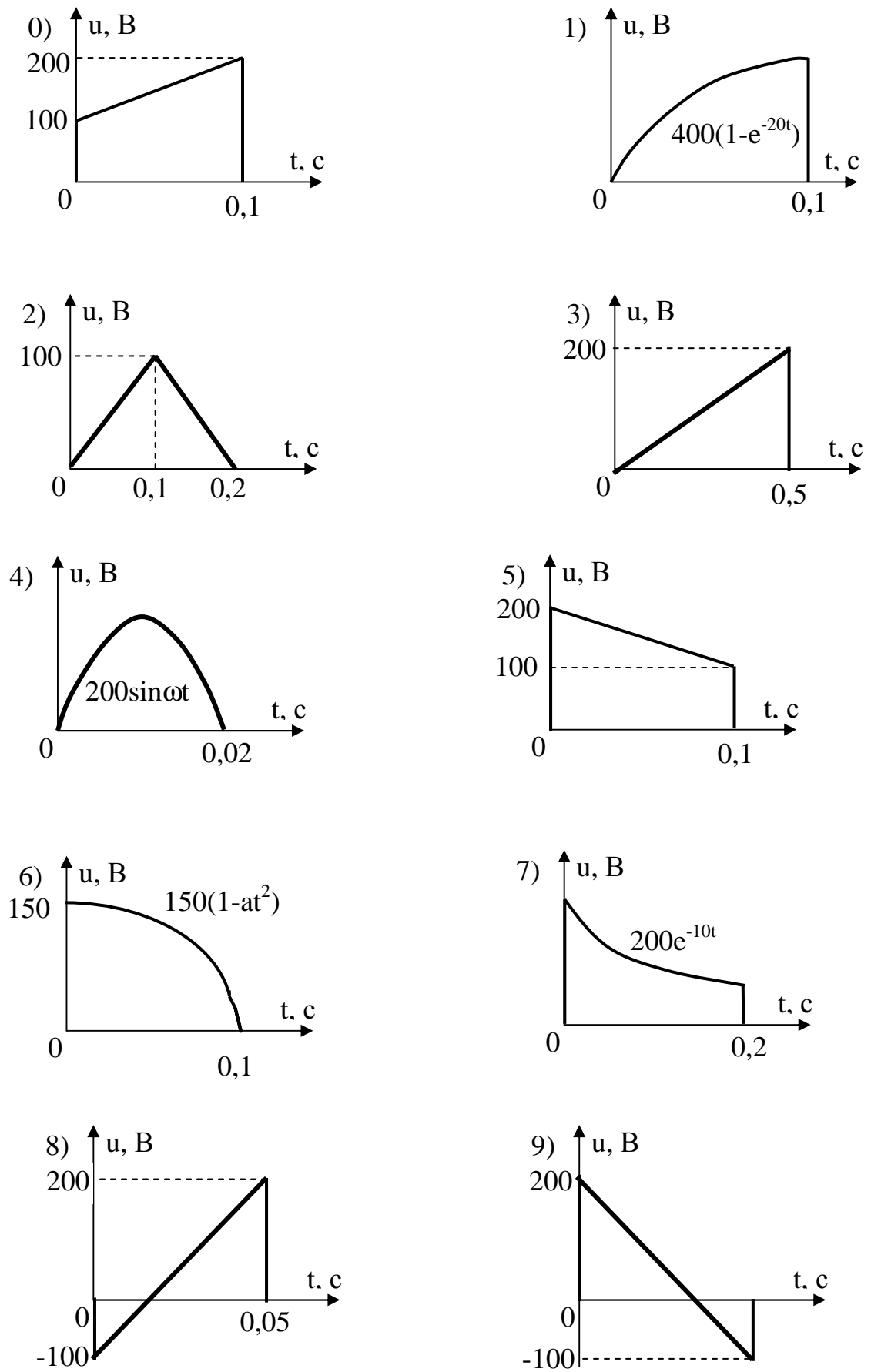


Рис. 7.3.



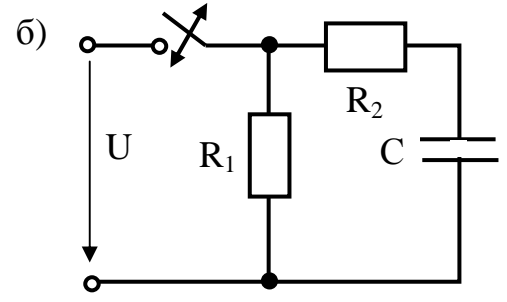
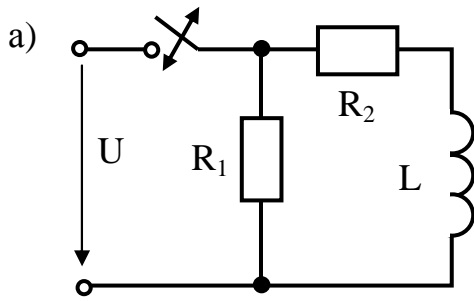


Рис. 7.4

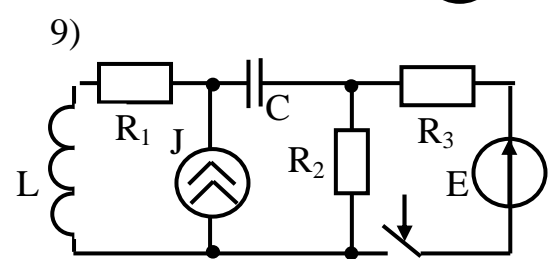
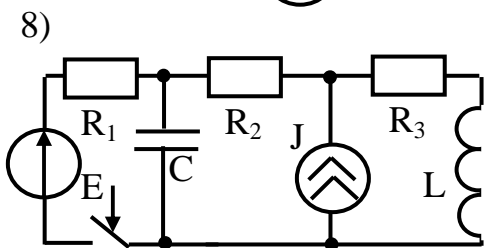
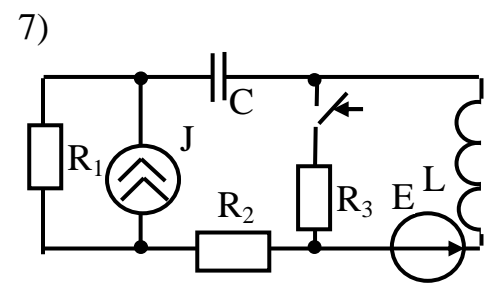
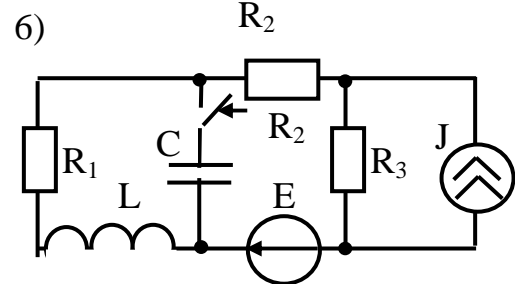
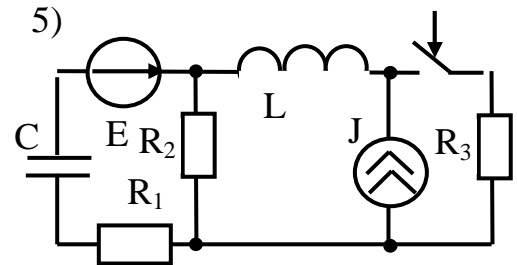
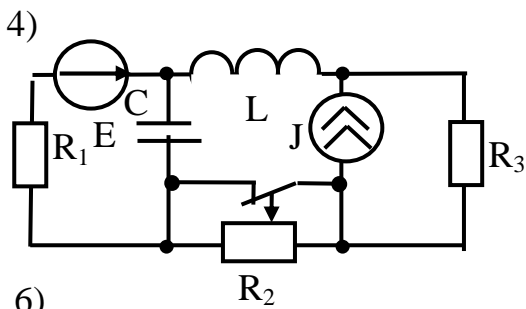
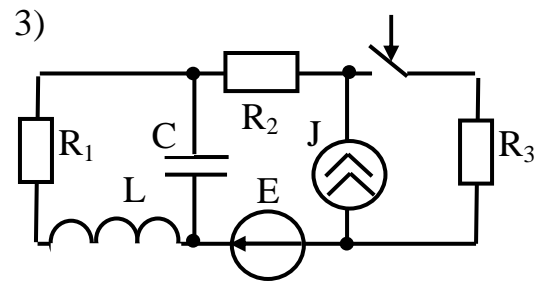
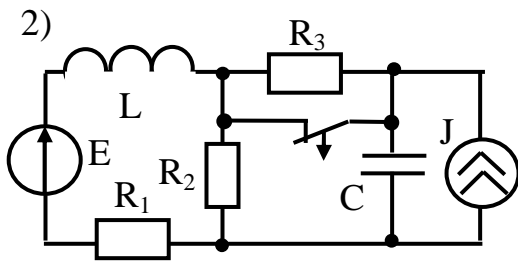
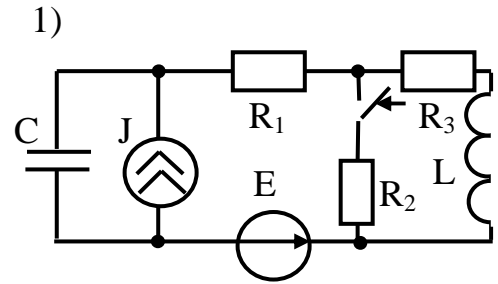
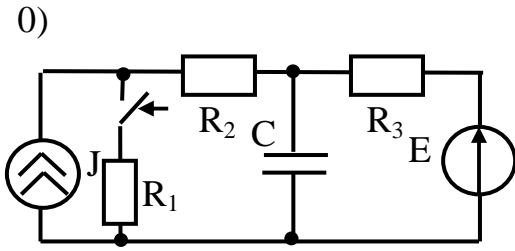


Рис. 7.5

Определить законы изменения тока и напряжения на реактивном элементе и построить их графики в функции времени  $t$ , а также вычислить средние значения этих величин.

Таблица вариантов к задаче 7.7

Первая цифра варианта	U, В	R <sub>1</sub> , Ом	R <sub>2</sub> , Ом	L, Гн в схеме с индук.	C, в схеме с ёмк.	Вторая цифра варианта	ПВ= $t_B/T$ – продолжит. включения	Номер схемы
0	100	50	100	0,1	10	0	0,3	а
1	300	100	200	0,15	15	1	0,3	б
2	200	120	150	0,2	20	2	0,4	а
3	500	150	200	0,25	15	3	0,4	б
4	400	75	100	0,3	10	4	0,5	а
5	150	100	150	0,35	20	5	0,5	б
6	250	120	240	0,4	40	6	0,6	а
7	220	150	180	0,45	30	7	0,6	б
8	180	75	120	0,6	40	8	0,7	а
9	120	50	120	0,5	25	9	0,7	б

ЗАДАЧА 7.8. Методом переменных состояния рассчитать переходный процесс в схеме рис. 7.5. До коммутации в этой схеме был установившийся режим. Параметры электрической цепи заданы в таблице вариантов. Определить зависимости напряжений на реактивных элементах и токов в ветвях схемы от времени. Построить графики напряжения на конденсаторе и тока в ветви с индуктивностью в функции времени.

Таблица вариантов к задаче 7.8

Первая цифра варианта	E, В	J, А	R <sub>1</sub> , Ом	R <sub>2</sub> , Ом	R <sub>3</sub> , Ом	L, Гн	C, мкФ
0	50	2	10	10	20	0.4	60
1	100	5	50	20	70	0.3	200
2	200	4	100	50	50	0.2	30
3	150	3	30	30	60	0.1	80
4	250	5	80	80	160	0.6	70
5	300	1	200	100	100	0.9	150
6	400	2	150	150	75	0.6	40
7	120	1	100	50	100	0.8	120
8	180	3	60	60	90	0.2	80
9	220	4	80	120	120	0.6	100

ЗАДАЧА 7.9. Источник ЭДС  $e(t)$  или тока  $j(t)$  в цепи рис.7.6 генерирует одиночный прямоугольный импульс амплитудой  $E_0$  (или  $J_0$ ) и длительностью  $t_0$ . Параметры цепи ( $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$ ), её постоянная времени  $\tau$ , амплитуда и длительность генерируемых импульсов, а также отношение взаимной индуктивности к собственной  $M/L$  заданы в таблице вариантов.

Выполнить расчет переходного процесса в цепи и в общей системе координат построить графики всех токов и напряжения  $u_{12}(t)$  для интервала времени  $0 < t < 5 \cdot t_0$ .

Таблица вариантов к задаче 7.9

Первая цифра варианта	$\tau$ , мс	$t_0/\tau$	$E_0$ , В	$J_0$ , А	Вторая цифра варианта	$r_1$ , Ом	$r_2$ , Ом	$r_3$ , Ом	M/L
0	0.2	1.0	24	0.1	0	50	-	50	-
1	0.6	0.8	36	0.12	1	-	40	40	-
2	0.3	1.2	48	0.14	2	-	100	100	-

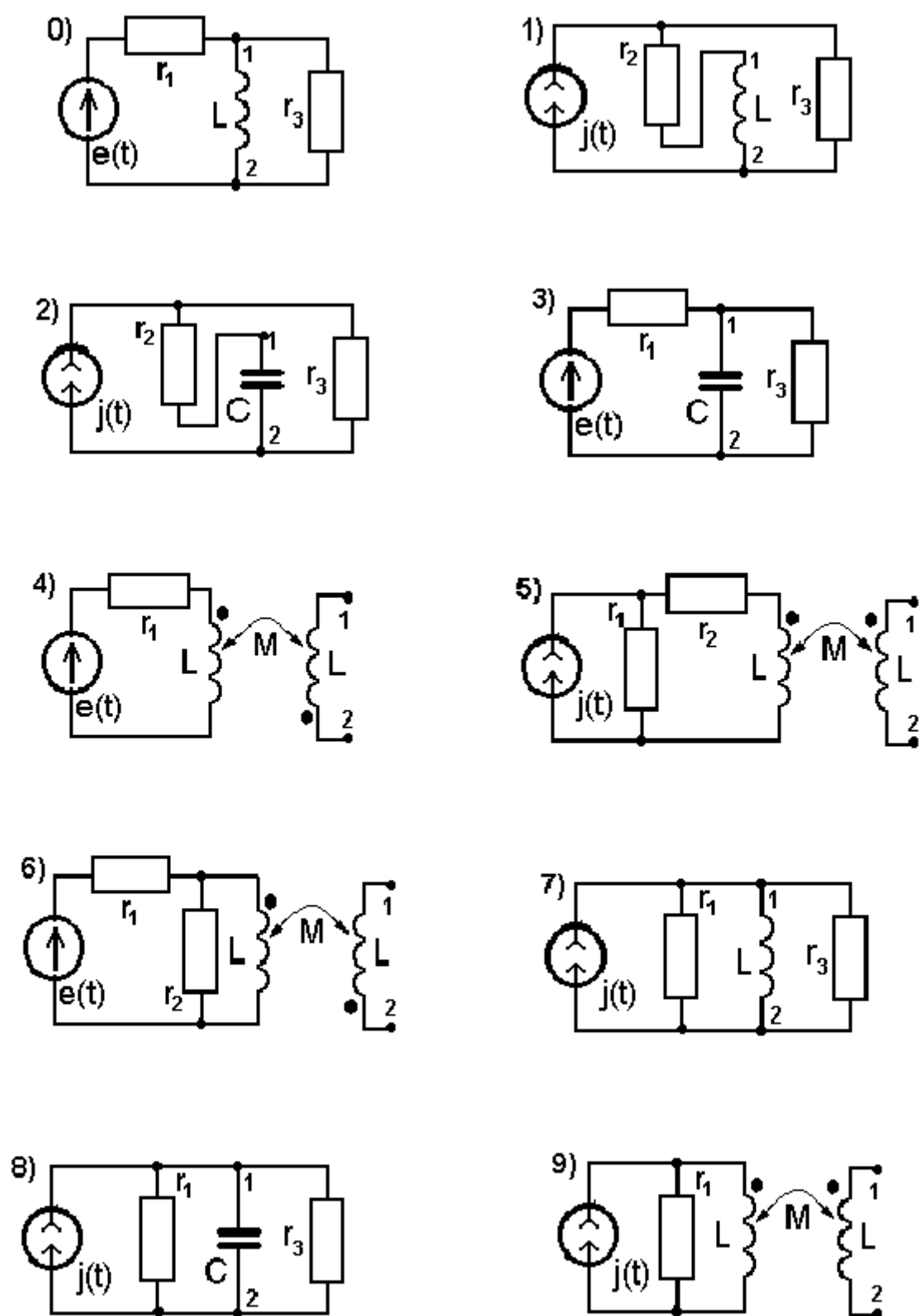


Рис. 7.6

3	0.4	1.3	10	0.16	3	60	-	60	-
4	0.8	1.4	16	0.18	4	100	-	-	0.5
5	0.7	1.5	20	0.20	5	30	30	-	0.8
6	0.1	1.6	30	0.08	6	50	50	-	0.7
7	0.6	0.7	40	0.06	7	50	-	100	-
8	0.4	0.8	12	0.24	8	40	-	40	-
9	0.5	2.0	60	0.1	9	100	-	-	0.9

**ЗАДАЧА 7.10.** Решить задачу 7.9 для квазиустановившегося режима, когда источник непрерывно генерирует прямоугольные импульсы с периодом  $T=2 \cdot t_0$ . Построение графиков выполнить для одного периода.

Студентам, имеющим навыки работы с программой Mathcad и желающим повысить свой рейтинг, предлагается выполнить одно из следующих (по желанию) добавочных заданий:

- исследовать гармонический состав напряжения на емкости или тока индуктивности;
- исследовать гармонический состав тока емкости или напряжения на индуктивности;
- исследовать зависимость среднего значения напряжения на емкости или тока индуктивности в функции относительной длительности импульса  $t_0/T = 0 \dots 1$ ; построить график этой зависимости;
- исследовать зависимость действующего значения напряжения на емкости (тока индуктивности) в функции относительной длительности импульса  $t_0/T = 0 \dots 1$ ; построить график этой зависимости.

## 8. НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

**ЗАДАЧА 8.1.** В схеме рис.8.1 известны ЭДС источников  $E_1$  и  $E_2$ , параметры линейных сопротивлений  $R$  (см. таблицу вариантов), а также вольт-амперные характеристики симметричных нелинейных сопротивлений, заданные следующей таблицей:

U, В	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	80	100	150
I, А	0	1	1.75	2.25	2.75	3.2	3.5	3.8	4	4.3	4.5	5	5.7	6.3	7

Определить токи методом двух узлов. Проверить баланс мощностей.

Таблица вариантов к задаче 8.1

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$E_1$ , В	40	60	30	20	50	48	24	50	20	42
$E_2$ , В	20	20	60	40	30	24	48	25	50	12
$R$ , Ом	12	20	15	20	12	16	10	10	20	15

**ЗАДАЧА 8.2.** В схеме рис.8.2 известны ЭДС источника напряжения  $E$ , ток источника тока  $J$ , линейные сопротивления  $R_1, R_2, R_3$ , а также вольт-амперная характеристика симметричного нелинейного сопротивления, которая задана таблицей

U, В	0	5	10	20	30	40	50	60	80	100
I, А	0	1	1.7	3	3.8	4.4	4.9	5.3	5.7	6

Определить токи во всех ветвях. Проверить баланс мощностей.

Таблица вариантов к задаче 8.2

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$E$ , В	60	80	50	40	70	90	100	60	70	80
$J$ , А	1.6	2	1.5	1.5	2	2	2	2	1.6	1.8
$R_1$ , Ом	20	60	60	40	90	40	80	80	70	40
$R_2$ , Ом	40	60	40	40	90	60	60	60	70	60
$R_3$ , Ом	60	60	20	20	90	80	100	80	70	80

Указание. Задачу решить методом эквивалентного генератора.

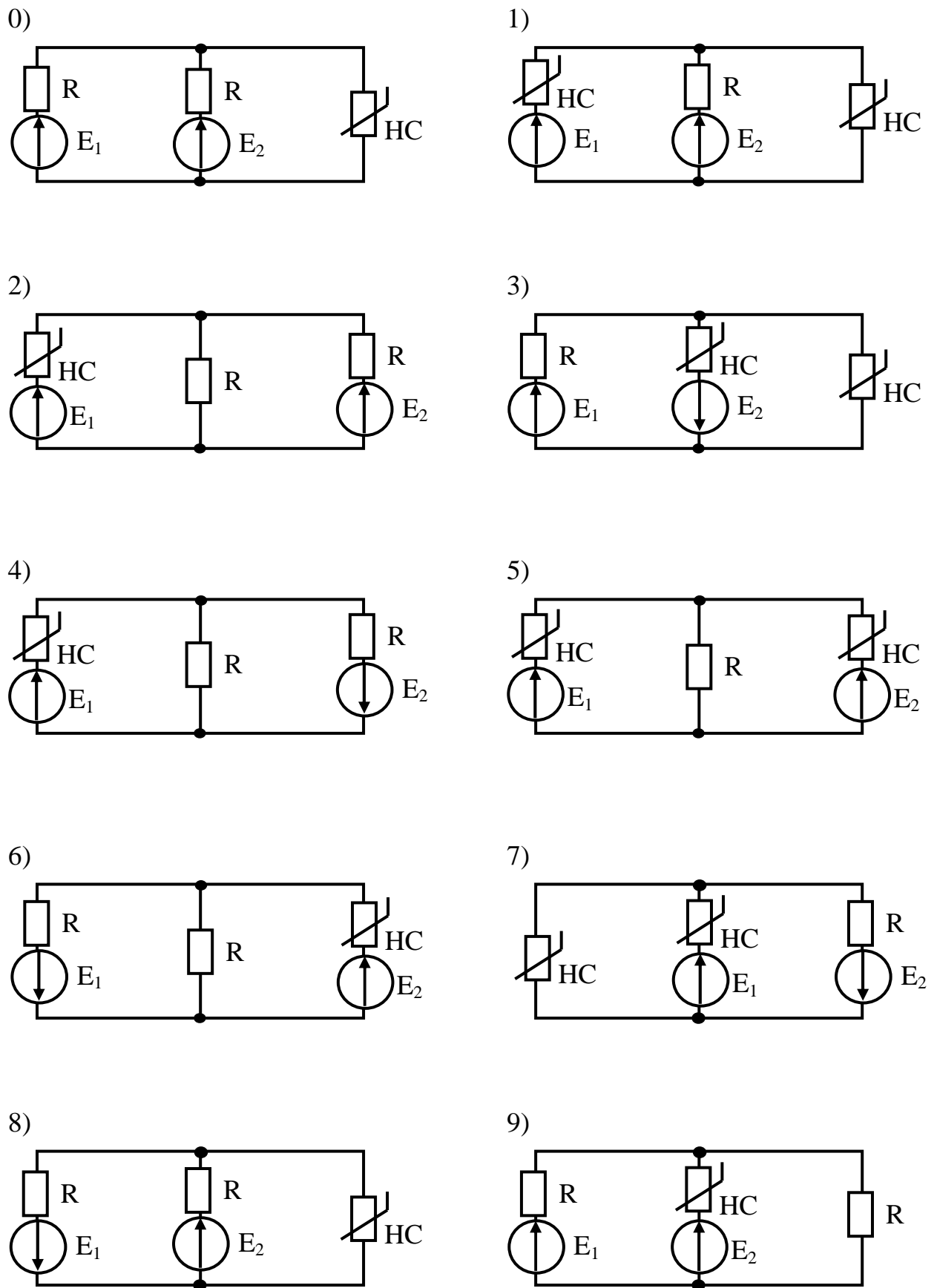


Рис. 8.1

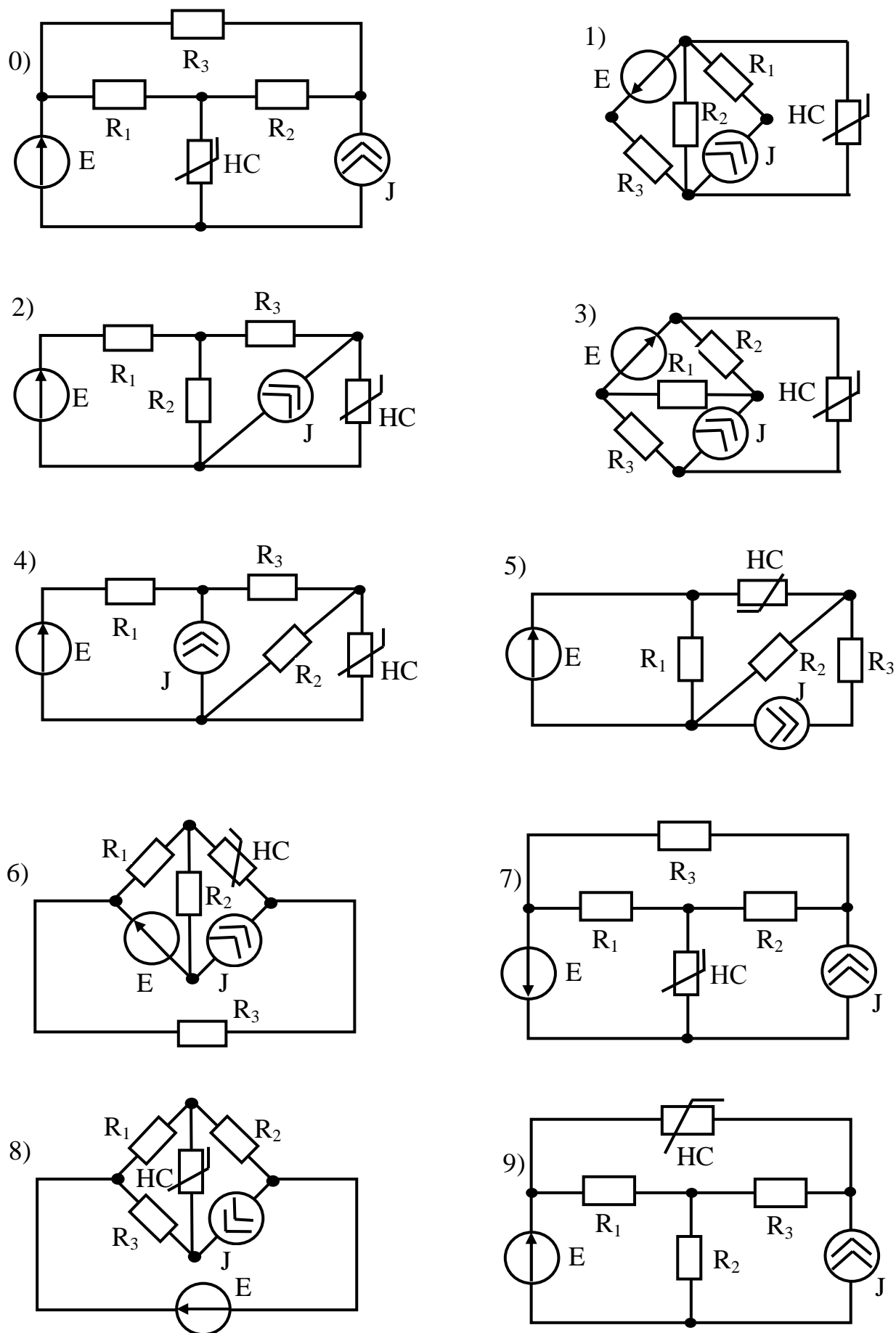


Рис. 8.2

ЗАДАЧА 8.3. В воздушном зазоре электромагнита (рис.8.3) возбуждается магнитный поток  $\Phi$ . Сердечник электромагнита изготовлен из электротехнической стали 1512, якорь - из чугуна. Длина воздушного зазора  $l_b$ . Определить ток в обмотке катушки, силу, с которой якорь притягивается к сердечнику, и индуктивность катушки. Размеры магнитной цепи даны в миллиметрах.

Кривая намагничивания стали 1512

В, Тл	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.35	1.4	1.45	1.5	1.55	1.6	1.65
H, А/см	0.25	0.5	0.65	0.8	0.95	1.15	1.5	2	3	4.65	7.4	9	12	15	22	33	49	90

Кривая намагничивания чугуна

В, Тл	0.15	0.25	0.38	0.46	0.6	0.67	0.8	1	1.12	1.2	1.35	1.45	1.48
H, А/см	5	10	15	20	25	35	60	100	150	200	300	400	500

Таблица вариантов к задаче 8.3

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\Phi \cdot 10^{-3}$ , Вб	3.2	3.1	3	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3
Вторая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
w, витков	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
$l_b$ , мм	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.4	0.45	0.5

ЗАДАЧА 8.4. На тороидальный сердечник (рис.8.4) с длиной средней магнитной линии  $l_c$  с прямоугольным сечением площадью  $S$ , имеющем воздушный зазор  $l_b$  с равномерной плотностью намотана обмотка постоянного тока с числом витков  $w$ . Полагая распределение потока по сечению сердечника равномерным, необходимо рассчитать магнитный поток в сердечнике тороида в трех случаях: а) сердечник выполнен из стали 1512; б)- из чугуна; в) - из дерева.

Сделайте вывод о влиянии материала сердечника на величину магнитного потока.

Примечание. Кривые намагничивания приведены в задаче 8.3.

Таблица вариантов к задаче 8.4

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Iw$ , А	2100	2300	2500	2900	2000	2200	2400	2600	2800	3000
$S$ , см <sup>2</sup>	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38
Вторая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$l_b$ , мм	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	75	0.8	0.85	0.9	0.95
$l_c$ , см	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125

ЗАДАЧА 8.5. Требуется рассчитать магнитные потоки, индукции и напряженности магнитного поля в разветвленной магнитной цепи (сталь 1512) постоянного тока (рис.8.5).

Таблица вариантов к задаче 8.5

Первая цифра варианта	$l_1=l_3$ , см	$l_2$ , см	$l_b$ , мм	$S_1=S_3$ , см <sup>2</sup>	$S_2$ , см <sup>2</sup>	$I_1w_1$ , А	$I_2w_2$ , А	$I_3w_3$ , А
0	41	21	0.3	20	30	300	600	850
1	38	19	0.25	20	28	350	600	800
2	34	17	0.2	20	26	400	600	750

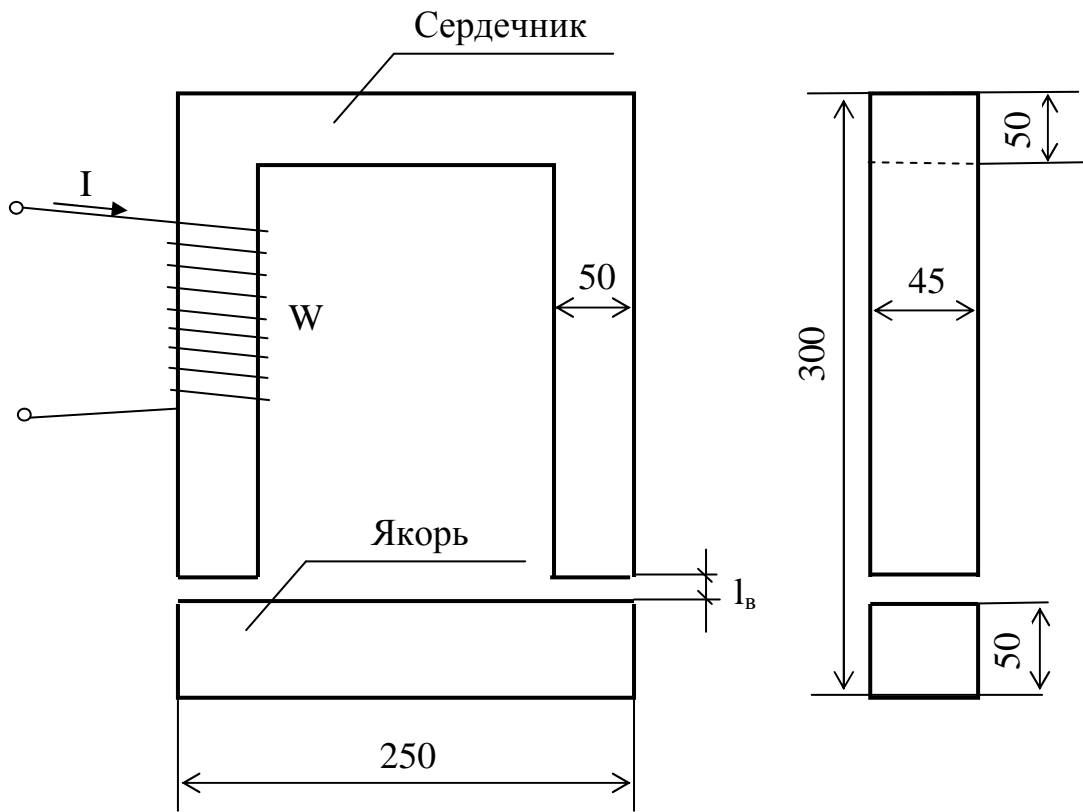


Рис. 8.3

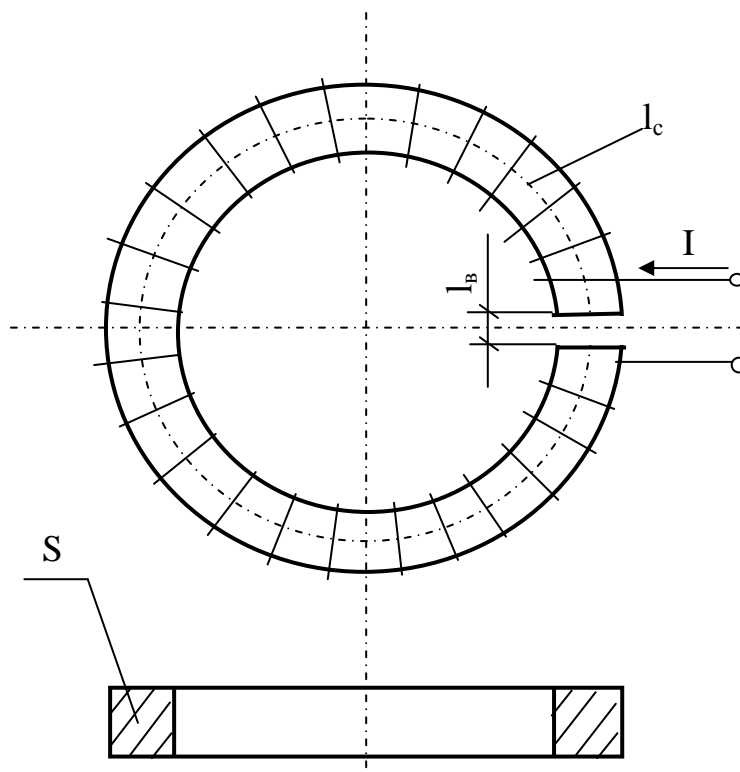


Рис. 8.4



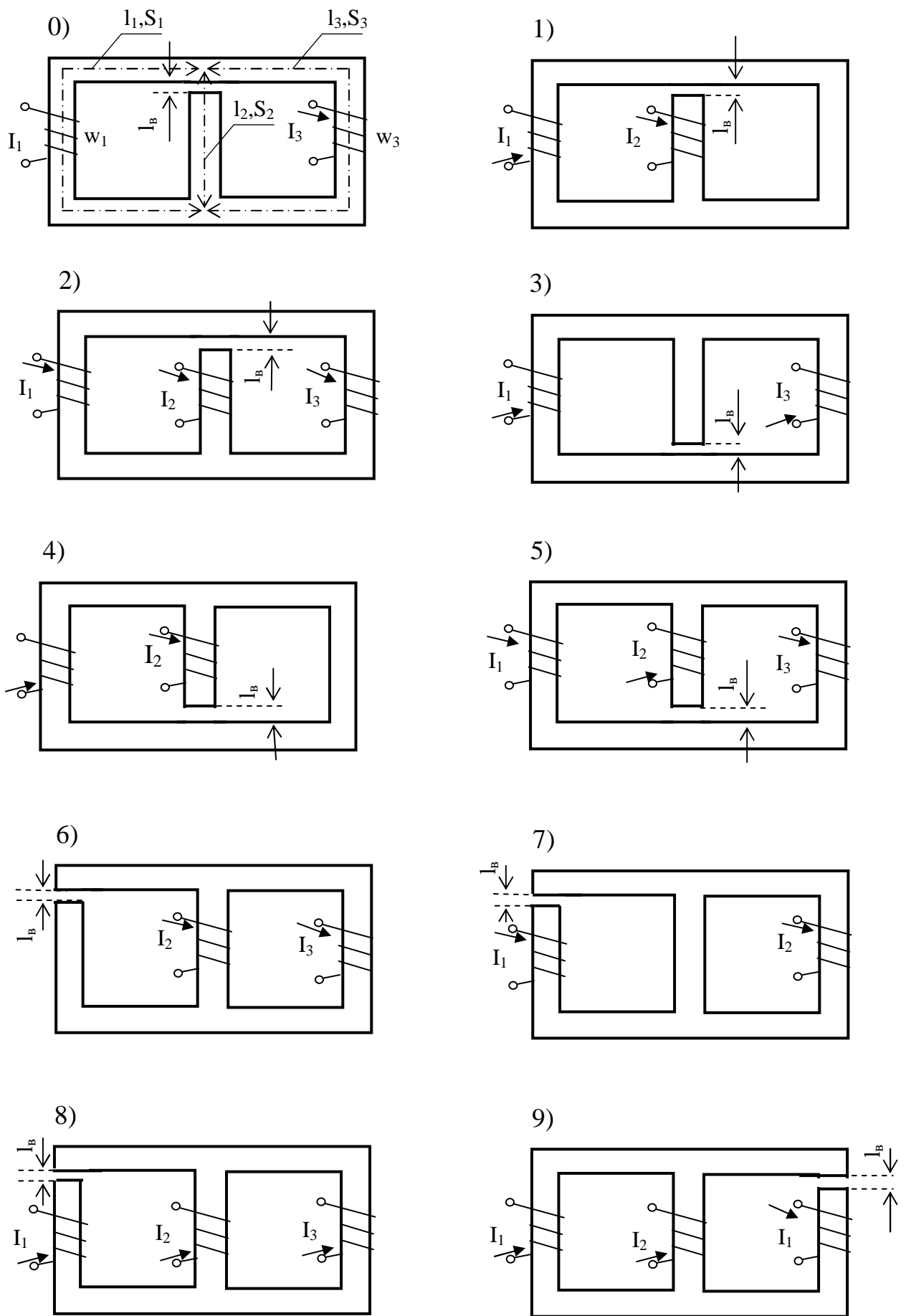


Рис. 8.5

3	30	15	0.15	20	24	450	600	700
4	26	13	0.1	20	22	500	600	650
5	28	14	0.2	20	18	550	700	600
6	32	16	0.25	20	16	600	850	600
7	36	18	0.3	20	14	650	800	600
8	40	20	0.35	20	12	700	850	600
9	44	22	0.4	20	10	750	900	600

В таблице вариантов приняты обозначения:  $l$  - длина средней магнитной силовой линии участка магнитной цепи;  $S$  - сечения участков магнитопровода;  $I_w$  - намагничивающая сила катушек.

Кривая намагничивания стали 1512 приведена в задаче 8.3. Номера участков соответствуют номерам намагничивающих сил.

### 9. НЕЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА. ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В НЕЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЯХ

ЗАДАЧА 9.1. Трансформатор с магнитопроводом из пластин стали 1512 толщиной 0.35 мм работает в режиме холостого хода (рис.9.1). Частота питающего напряжения 50 Гц. Зависимости удельных потерь мощности в стали сердечника  $P_o$  и  $Q_o$  от магнитной индукции представлены таблицей

$B_m$ , Тл	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.15	1.2	1.25	1.3	1.35	1.4	1.45	1.5	1.6
$P_o$ , Вт	2	2.1	2.3	2.5	3	3.5	4	4.3	4.6	5	5.5	6.2	7	8
$Q_o$ , Вар	3	3.5	4	5	6	7	8	8.6	9.2	10	11	12.5	14	16

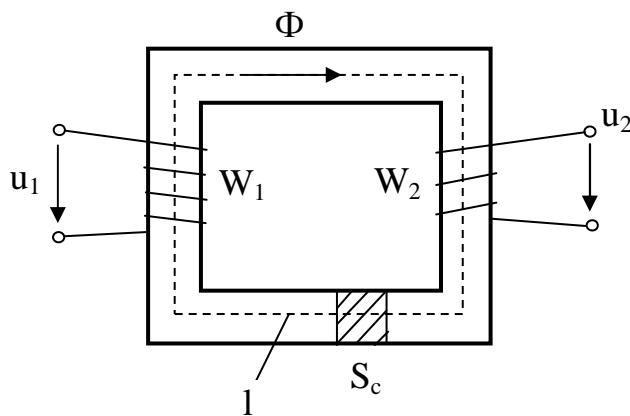


Рис. 9.1

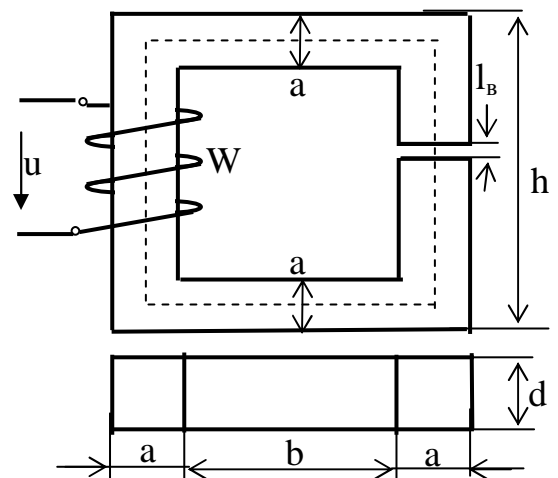


Рис. 9.2

Остальные параметры схемы и размеры сердечника - в таблице вариантов, где  $w_1$ ,  $w_2$  - числа витков обмоток;  $S_c$  - сечение;  $l$  - длина средней магнитной линии магнитопровода.

Требуется:

1. Рассчитать ток первичной обмотки трансформатора, его выходное напряжение, коэффициент мощности трансформатора.
2. Определить эквивалентную индуктивность первичной обмотки трансформатора, эквивалентную магнитную проницаемость сердечника.
3. Составить эквивалентные схемы замещения (последовательную и параллельную) трансформатора по первичной цепи.
4. Построить векторную диаграмму трансформатора.

Таблица вариантов к задаче 9.1

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_1, В$	127	220	380	660	127	220	380	660	127	220
$w_1, \text{витков}$	180	280	600	900	270	350	500	1000	240	200
$w_2, \text{витков}$	120	180	360	540	170	200	300	600	150	180
$S_c, \text{см}^2$	23	23	20	25	15	24	25	22	18	24
Вторая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$l, \text{см}$	78	85	126	90	80	80	84	95	100	96
$r_1, \text{Ом}$	4	6	3	5	7	4.5	6	7.2	5.2	4.6
$x_{1s}, \text{Ом}$	10	12	9	12	15	8	13	14	12	7

Методические указания.

1. В режиме холостого хода вторичная обмотка не оказывает влияния на режим работы первичной цепи трансформатора.
2. Задачу решить методом итераций.
3.  $r_1$  - сопротивление первичной обмотки постоянному току;  
 $x_{1s}$  - реактивное сопротивление потока рассеяния.

**ЗАДАЧА 9.2.** Катушка индуктивности с ферромагнитным сердечником, имеющим воздушный зазор  $l_b$ , подключена к идеальному источнику синусоидального напряжения (рис.9.2). Сердечник набран из листов трансформаторной стали 1512 (плотность  $7.8 \text{ г/см}^3$ ) толщиной  $0.35 \text{ мм}$  с толщиной изоляции между листами  $0.03 \text{ мм}$ . Толщина пакета пластин  $d$ , число витков катушки  $w$ , действующее значение напряжения  $U$ , частота  $f$  и другие размеры сердечника приведены в таблице вариантов. Для всех вариантов принять, что поток рассеяния составляет 5% основного потока, активное сопротивление обмотки (сопротивление постоянному току) в два раза больше реактивного сопротивления потоку рассеяния. Зависимость потерь активной мощности в сердечнике от амплитудного значения магнитной индукции принять как в задаче 9.1.

Требуется

1. Вычислить действующее значение тока в катушке.
2. Определить ее индуктивность в рабочей точке.
3. Построить векторную диаграмму.
4. Представить схемы замещения катушки, вычислить их параметры.

Таблица вариантов к задаче 9.2

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$l_b, \text{мм}$	0.5	0.1	0.2	0.3	0.09	0.08	0.35	0.45	0.07	0.12
$b, \text{мм}$	40	50	60	45	55	65	70	75	80	85
Вторая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U, В$	180	500	380	100	330	850	190	510	520	120
$f, \text{Гц}$	50	400	100	60	400	50	60	400	60	50
$d, \text{мм}$	29.9	34.2	26.6	28.5	36.1	37.9	39.9	53.2	49.4	68.4
$a, \text{мм}$	20	25	16	12	40	27	25	50	45	60
$h, \text{мм}$	120	140	140	80	240	110	120	250	180	280
$w, \text{витков}$	1000	250	1400	800	94	2800	520	90	630	95

**ЗАДАЧА 9.3.** Параллельно первичной обмотке трансформатора (рис.9.1) включен линейный конденсатор. Связь между током первичной обмотки трансформатора  $i_L$  и магнитным потоком сердечника  $\Phi$  может быть аппроксимирована полиномом  $i_L = A \cdot \Phi + B \cdot 10^6 \cdot \Phi^3$ .

Пренебрегая потоком рассеяния, потерями в обмотке и сердечнике, определить величину напряжения  $U_1$ , при котором наступит резонанс токов по первой гармонике. Рассчитать при этом также амплитуду тока третьей гармоники.

Построить график зависимости тока источника в функции напряжения  $U_2$ , если  $U_1$  меняется от  $0.8U_{1ф}$  до  $1.2U_{1ф}$ , где  $U_{1ф}$  - напряжение, при котором наступает феррорезонанс. Начальную фазу напряжения  $u_1$  рекомендуется принять равной  $90^\circ$ .

Таблица вариантов к задаче 9.3

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A, А/Вб	70	65	110	105	100	95	90	85	80	75
B, А/Вб <sup>3</sup>	175	150	170	195	165	180	155	190	185	200
Вторая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
C, мкФ	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
w <sub>1</sub> , витков	600	560	540	500	480	460	440	520	420	400
w <sub>2</sub> , витков	360	300	320	300	280	280	270	300	250	245



Рис. 9.3

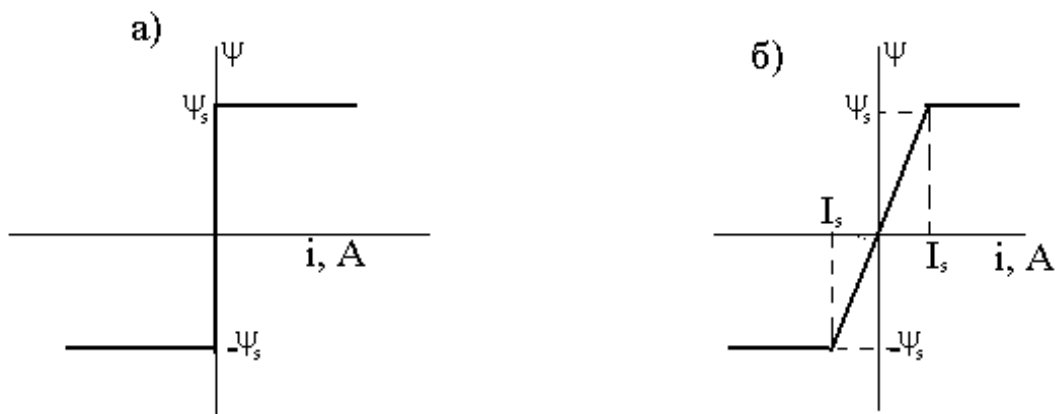


Рис. 9.4

ЗАДАЧА 9.4. На входные зажимы схем рис.9.3 подано синусоидальное напряжение  $u=U_m \sin 314t$ . Параметры схем приведены в таблице вариантов, а вебер-амперные характеристики (ВбАх) нелинейной индуктивности - на рис.9.4а,б.

Рассчитать и построить графики напряжений и токов элементов схем, а также определить действующее значение тока источника.

Таблица вариантов к задаче 9.4

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Схема рис.10.3	2	2	1	1	2	2	1	1	2	1
ВбАх рис.10.4	а	а	б	б	а	а	б	б	а	б
$\Phi_s$ , Вб	0.01	0.03	0.02	0.03	0.02	0.01	0.04	0.02	0.04	0.03

$I_s, A$	-	-	0.13	0.15	-	-	0.14	0.16	-	0.18
Вторая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_m, B$	13.4	34	30	37.8	14	27.2	36	26	18	30
$r, Ом$	40	60	60	60	40	40	35	30	40	35

ЗАДАЧА 9.5. По данным таблицы вариантов для схемы рис.9.5, содержащей источник синусоидального напряжения  $u=U_m \sin 314t$  и источник постоянной ЭДС  $E$ , рассчитать и построить график входного тока и определить его действующее значение. Диод в схеме считать идеальным. Задачу решить аналитически.

Таблица вариантов к задаче 9.5

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_m, B$	120	100	140	80	90	110	130	150	75	95
$E, B$	15	12	25	15	14	13	10	16	6	7
$r_1, Ом$	15	20	10	8	12	26	30	25	6	8
$r_2, Ом$	80	70	65	40	50	100	110	120	30	60
$r_3, Ом$	20	10	15	10	8	15	20	30	8	12

ЗАДАЧА 9.6. На рис.9.6 представлены принципиальные схемы стабилизаторов напряжения, формирователей и ограничителей с использованием полупроводниковых диодов и стабилитронов (VD). Принимая вольт-амперные характеристики этих элементов идеальными (рис.9.7: а – диода, б - стабилитрона), рассчитать и построить график тока нагрузки  $i_n(t)$ , а также определить действующие значения тока и напряжения нагрузки  $I_n, U_n$ .

Величины амплитуды  $U_m$  входного синусоидального напряжения частоты 50 Гц, ЭДС  $E_1$  и  $E_2$ , напряжения стабилизации  $U_s$  приведены в таблице вариантов.

Таблица вариантов к задаче 9.6

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_m, B$	120	100	140	80	90	110	130	150	75	95
$E_1, B$	12	10	20	6	6.5	10	12	20	6	6.5
$E_2, B$	10	6	10	5	5	12	20	30	4.5	5
$U_s, B$	24	20	24	12	12	20	24	24	12	12
$r_n, Ом$	50	40	60	30	35	40	50	60	20	30
$r_0=r_3=r_4, Ом$	10	10	10	7	8	10	10	10	7.5	10

Примечание: если в схеме Вашего варианта отсутствует какой-либо из элементов, его данные в таблице вариантов не следует принимать во внимание.

ЗАДАЧА 9.7. На входе однофазного мостового выпрямителя задано синусоидальное напряжение  $U$  промышленной частоты. Нагрузкой выпрямителя является активное сопротивление  $r$  с индуктивным фильтром  $L$  (рис. 9.8).

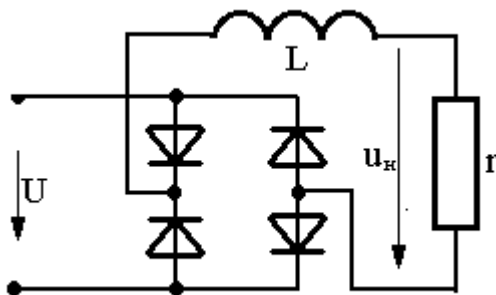


Рис.9.8

В задании требуется:

1. Рассчитать мгновенные значения напряжения  $u_n(t)$  и тока  $i_n(t)$  на сопротивлении нагрузки, определить их средние  $U_0, I_0$  и действующие  $U_n, I_n$  значения, мощность постоянной составляющей  $P_0$ , активную мощность нагрузки  $P_n$ , полную мощность выпрямителя  $S$  и его коэффициент мощности.

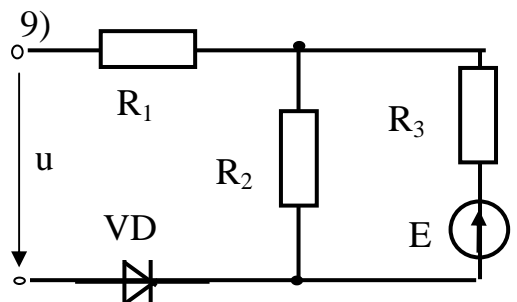
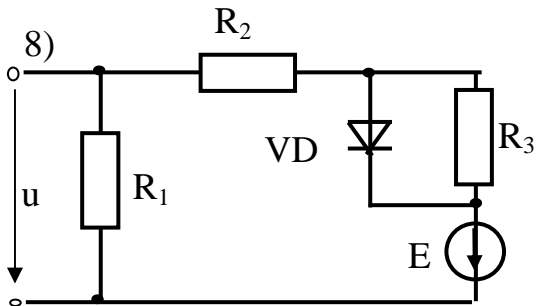
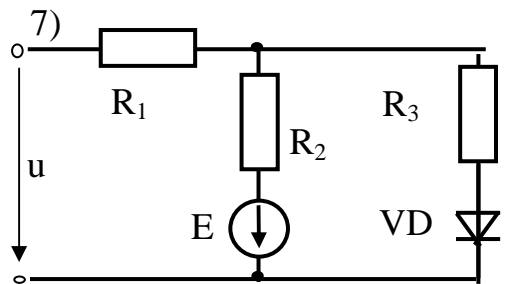
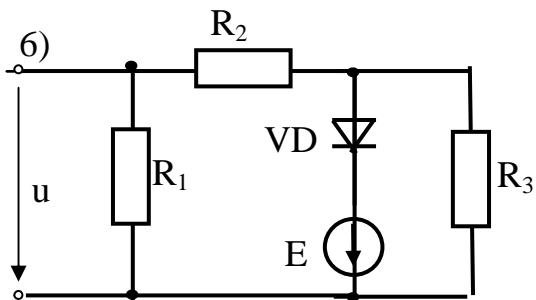
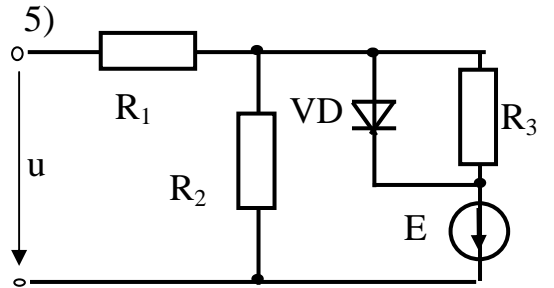
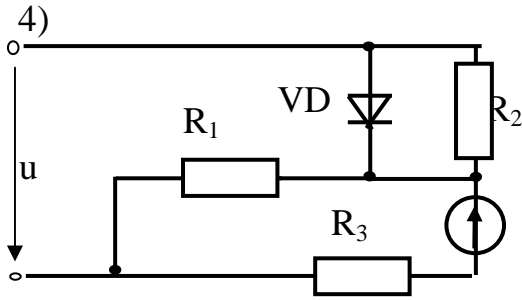
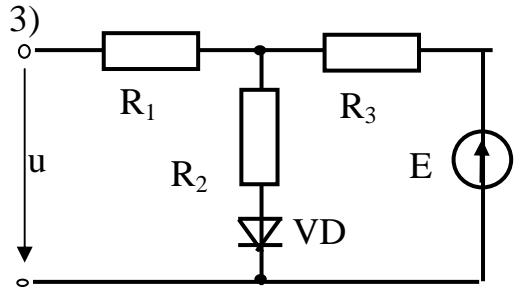
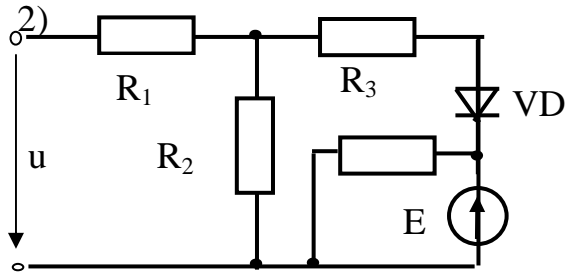
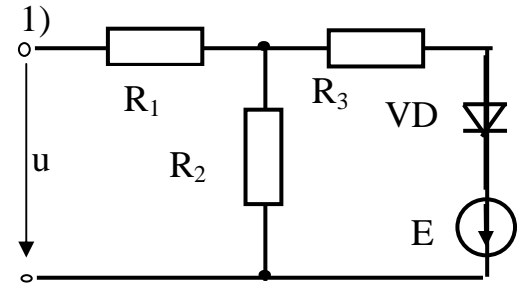
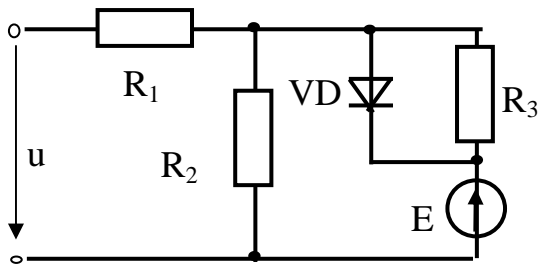


Рис. 9.5

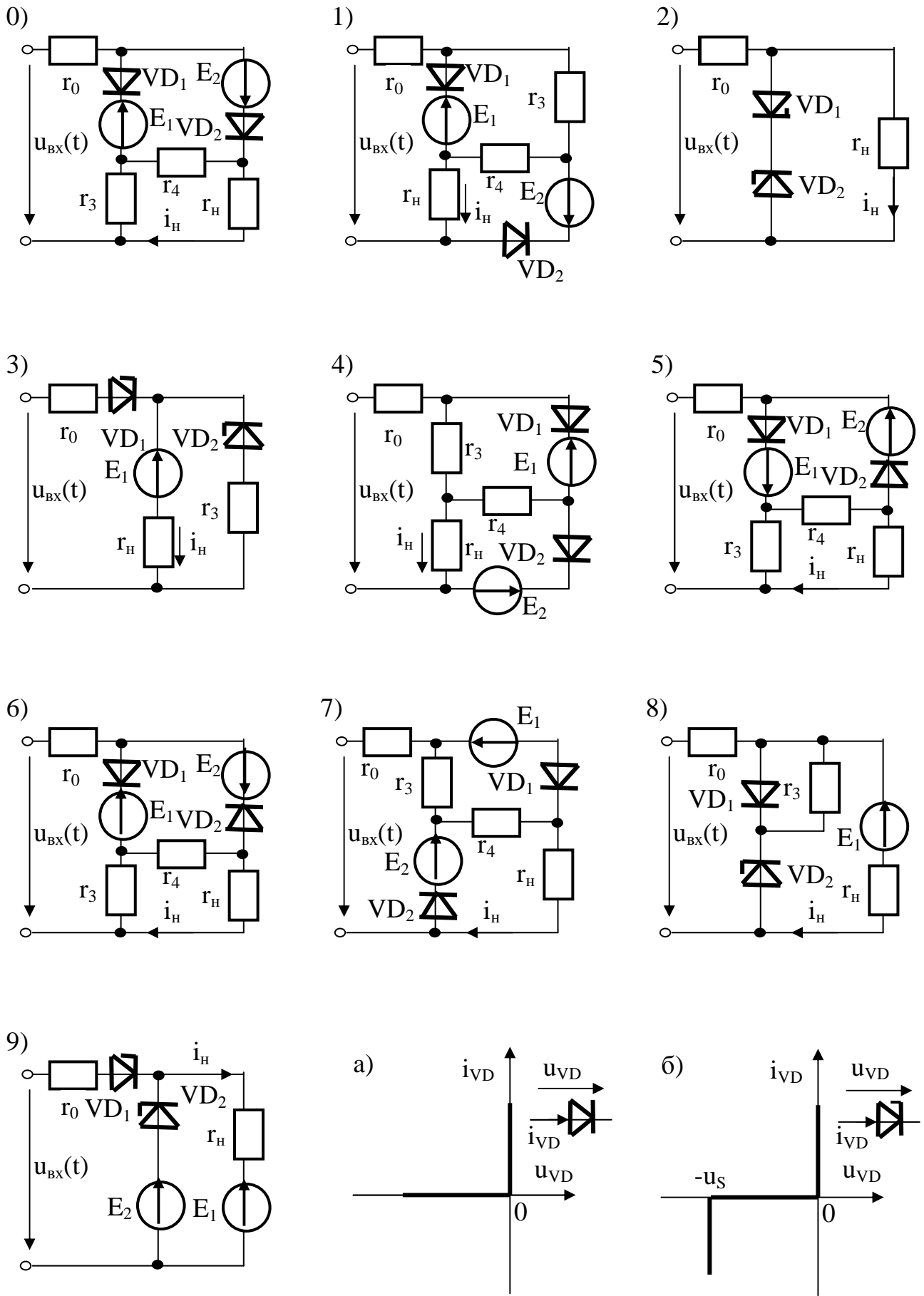


Рис. 9.6

Рис. 9.7

2. Для интервала времени, равному одному периоду, построить график напряжения  $u_n(t)$ , привести его аналитическое выражение, указать (пунктирными линиями) его среднее и действующее значения.

Таблица вариантов к задаче 9.7

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
U, В	60	80	100	120	140	70	90	110	130	150
Вторая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
r, Ом	200	180	160	140	120	100	90	110	130	150
$\tau$ , мс	30	56	22	38	46	20	14	28	10	6

Студентам, желающим повысить свой рейтинг, предлагается выполнить одно из следующих (по желанию) добавочных заданий:

- Исследовать гармонический состав напряжения  $u_n(t)$ . Как может меняться гармонический состав при увеличении постоянной времени цепи?
- Исследовать зависимость действующего значения напряжения на нагрузке в функции величины постоянной времени  $\tau$ . Построить график этой зависимости. Дать физическое толкование полученных результатов.

**ЗАДАЧА 9.8.** Однофазный выпрямитель питается синусоидальным напряжением промышленной частоты с действующим значением  $U$  и работает на активную нагрузку с сопротивлением  $R_n$ .

Требуется:

1. Рассчитать мгновенное  $u_n(t)$  и среднее  $U_0$  значения напряжения на сопротивлении нагрузки.
2. Повторить расчеты по п.1 для случая, когда параллельно сопротивлению нагрузки подключен конденсатор ёмкостью  $C=\tau/R_n$ , где  $\tau$  – постоянная времени цепи  $C$ - $R_n$ , заданная в таблице вариантов.
3. В общей системе координат (или друг под другом в одном масштабе) построить графики мгновенных значений напряжения источника  $u(t)$ , а также напряжение на сопротивлении нагрузки, рассчитанные по пп.1,2. Пунктиром показать соответствующие средние значения  $U_0$  (построения выполнить для 2-3 периодов питающего напряжения).
4. Сделать вывод о влиянии реактивного элемента (ёмкостного фильтра) на величину  $U_0$  и характер напряжения на нагрузке.

У к а з а н и е : для четных вариантов произвести расчет мостовой схемы выпрямителя, а для нечетных – однополупериодной.

Таблица вариантов к задаче 9.8

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
U, В	40	50	60	70	80	90	100	75	85	95
$R_n$ , Ом	200	400	500	600	700	800	250	300	400	350
Вторая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\tau$ , мс	20	19	18	17	16	14	15	13	12	11

Студентам, желающим повысить свой рейтинг, предлагается выполнить одно из следующих (по желанию) добавочных заданий:

- Исследовать гармонический состав напряжения  $u_n(t)$ .
- Определить полную мощность выпрямителя  $S$  и его коэффициент мощности.
- Исследовать зависимость среднего значения напряжения на нагрузке в функции величины постоянной времени  $\tau$ . Построить график этой зависимости.
- Исследовать зависимость коэффициента мощности в функции величины постоянной времени  $\tau$ . Построить график этой зависимости.



ЗАДАЧА 9.9. В схемах рис.9.9, содержащих один нелинейный элемент, возникает переходный процесс. Характеристика нелинейного резистивного элемента R для схем 0-4 задана таблицей:

u, В	0	9	15	17	19	20	21	22	23	25	26	27	28	30	32
i, А	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.4	1.6

а для схем 5-9 следующей таблицей:

u, В	0	10	16	24	30	32	35	36	38	40	42	43	44
i, А	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.2	2.4

Используя кусочно-линейную аппроксимацию характеристики нелинейного элемента двумя отрезками прямых, рассчитать закон изменения тока в нелинейном элементе и напряжения на индуктивном или ёмкостном элементе (в зависимости от схемы), построить их графики. Параметры линейных элементов и входное напряжение U источника постоянного напряжения заданы в табл. вариантов.

Таблица вариантов к задаче 9.9

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
U, В	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54
R <sub>1</sub> , Ом	6	7	7	8	8	9	9	10	10	12
R <sub>2</sub> , Ом	25	28	30	32	36	40	42	44	46	48
L, Гн	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
C, мкФ	200	250	300	350	400	450	500	500	450	400

## **10. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ В УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ**

ЗАДАЧА 10.1. При напряжении  $u_2=U_{2m}\sin\omega t$  телефонная линия подключена к согласованной нагрузке. Частота, на которой работает линия, ее длина и первичные параметры приведены в таблице вариантов.

Требуется рассчитать вторичные параметры линии, мгновенные значения тока и напряжения на входе линии, построить графики распределения действующих значений напряжения и тока вдоль линии.

Определить также длину волны и скорость ее распространения по линии, а также входное сопротивление и КПД линии.

Таблица вариантов к задаче 10.1

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
r <sub>0</sub> , Ом/км	5.5	5.4	5.1	5	5.7	4.5	4.8	5.6	4.6	4.9
L <sub>0</sub> , Гн/км	1.9	2	2.2	2.5	2.7	3	1.8	2.1	2.4	2.6
g <sub>0</sub> *10 <sup>-6</sup> , См/км	5.2	9.1	6.8	7.2	6	5.5	6.5	8.5	3.5	7.4
C <sub>0</sub> *10 <sup>-9</sup> , Ф/км	6.5	8.3	7.2	9.6	6.2	7.5	8.4	9.2	7.8	8.5
Вторая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
f, Гц	800	900	1000	1200	850	960	1100	1050	1200	1120
l, км	100	150	120	180	200	190	175	140	150	100
U <sub>2m</sub> , В	40	60	65	70	58	48	64	56	48	52

ЗАДАЧА 10.2. Экспериментальным путем удалось получить некоторые параметры линии (см.таблицу вариантов). Требуется рассчитать все первичные и вторичные параметры линии, построить Т- или П-схему замещения, определить ее элементы, а также указать, как следует изменить один из первичных параметров (L<sub>0</sub>, например), чтобы линия стала неискажающей.

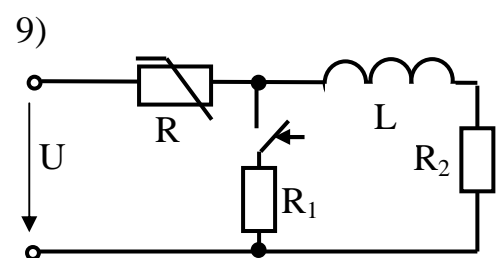
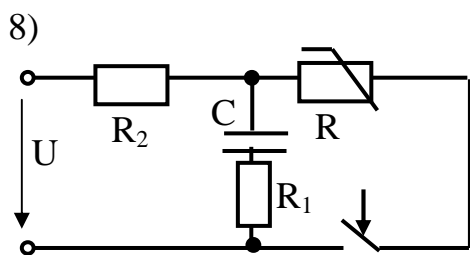
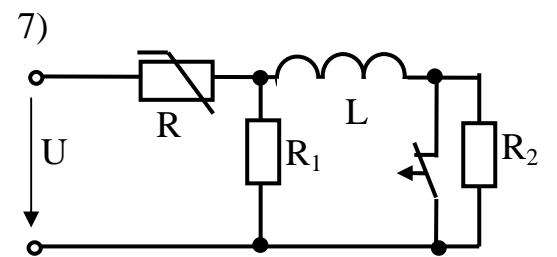
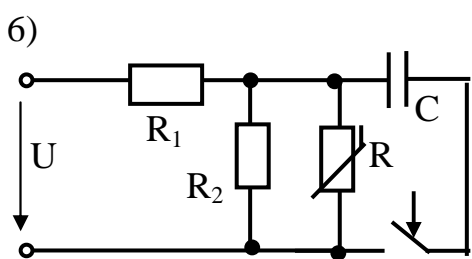
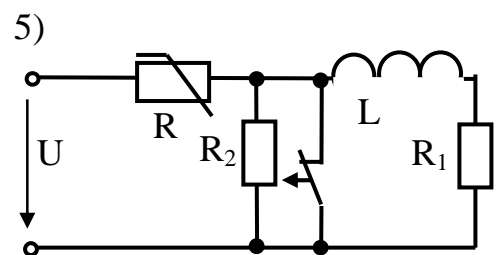
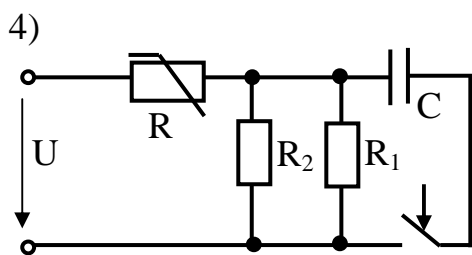
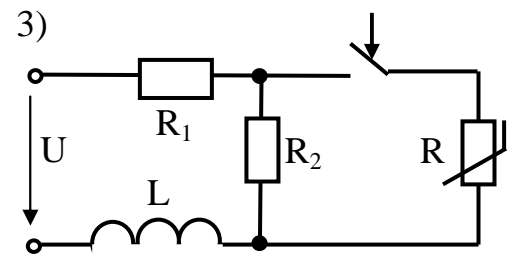
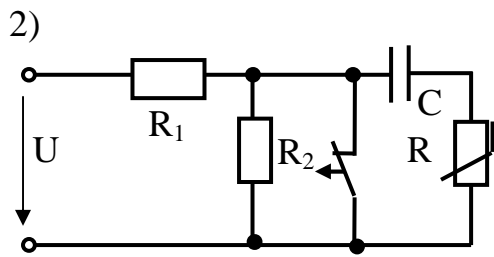
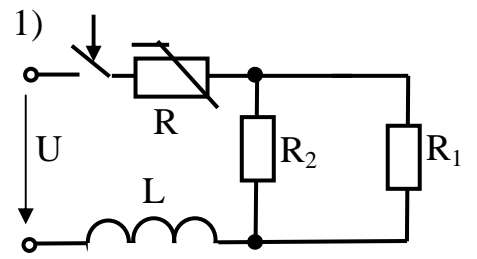
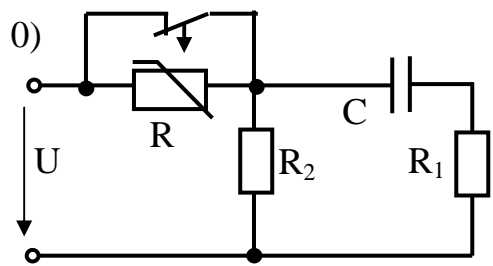


Рис. 9.9

Таблица вариантов к задаче 10.2

Первая цифра варианта	l, км	f, Гц	Вторая цифра варианта	Известные параметры линии	Схема замещ
0	100	1000	0	$Z_C=549e^{-j10^*}$ Ом; $\gamma=22 \cdot 10^{-3} e^{j77^*}$ 1/км	П-обр
1	200	800	1	$Z_C=710e^{-j9^*}$ Ом; $Z_0=19.2e^{j70^*}$ Ом/км	Т-обр
2	120	1200	2	$Z_0=88e^{j75^*}$ Ом/км; $\gamma=0.126e^{j86^*}$ 1/км	П-обр
3	140	1500	3	$Z_C=590e^{-j11^*}$ Ом; $Y_0=36 \cdot 10^{-6} e^{j88^*}$ См/км	Т-обр
4	150	2000	4	$Y_0=38 \cdot 10^{-6} e^{j85^*}$ См/км; $\gamma=0.03e^{j80^*}$ 1/км	П-обр
5	110	2500	5	$Z_{1x}=179e^{j10^*}$ Ом; $Z_{1k}=2241e^{-j20^*}$ Ом	Т-обр
6	180	800	6	$Z_C=594e^{-j11^*}$ Ом; $Z_{1x}=540e^{-j40^*}$ Ом	П-обр
7	130	5000	7	$\gamma=0.023e^{j78^*}$ 1/км; $Z_{1k}=653e^{-j18^*}$ Ом	Т-обр
8	170	1200	8	$Z_C=567e^{-j6.4^*}$ Ом; $Z_{1k}=354e^{-j38^*}$ Ом	П-обр
9	150	1000	9	$\gamma=28 \cdot 10^{-3} e^{j79^*}$ 1/км; $Z_{1x}=908e^{j25^*}$ Ом	Т-обр

ЗАДАЧА 10.3. Трехфазная линия электропередачи промышленной частоты 50 Гц при напряжении  $U_{2л}$  питает симметричную нагрузку ( $\varphi_2 > 0$ ), соединенную в звезду. Известные величины заданы в таблице вариантов.

Требуется рассчитать все вторичные параметры линии, определить ток и напряжение на входе линии, потери напряжения в линии, ее КПД.

Таблица вариантов к задаче 10.3

Первая цифра варианта	$U_{2л}$ , кВ	$P_2$ , МВт	$\cos\varphi_2$	l, км	Вторая цифра варианта	$r_0$ , Ом/км	$L_0$ , мГн/км	$g_0 \cdot 10^{-7}$ , См/км	$C_0 \cdot 10^{-9}$ , Ф/км
0	220	90	0.9	100	0	0.08	1.36	1	8.1
1	750	500	0.95	900	1	0.02	1.25	1.2	8.5
2	380	300	0.94	200	2	0.06	1.35	1.4	8.6
3	400	350	0.92	300	3	0.06	1.4	1.6	9.2
4	110	50	0.9	60	4	0.12	1.6	1.5	9
5	220	100	0.93	180	5	0.09	1.32	1.8	8.9
6	380	320	0.94	360	6	0.07	1.45	2	8.2
7	400	400	0.92	600	7	0.05	1.4	2.8	8.7
8	750	600	0.96	800	8	0.03	1.28	2.4	8.4
9	330	330	0.92	350	9	0.06	1.46	2.2	8.3

ЗАДАЧА 10.4. Линия без потерь работает на чисто реактивную нагрузку (индуктивность L или емкость C в зависимости от варианта). Параметры линии и нагрузки приведены в таблице вариантов. Требуется рассчитать и построить графики действующих значений напряжения  $U(y)$ , тока  $I(y)$  и входного сопротивления  $Z_{вх}(y)$  в функции расстояния от конца линии.

Таблица вариантов к задаче 10.4

Первая цифра варианта	$L_0$ , мГн/км	$C_0$ , нФ/км	Вторая цифра варианта	f, Гц	l, км	L, мГн	C, мкФ
0	2	40	0	800	150	20	
1	1.5	60	1	1200	200		1.5
2	0.5	60	2	1500	280	40	
3	0.8	75	3	2000	200		2
4	2.1	50	4	4000	100	25	
5	1.6	55	5	3000	150		1
6	1.2	48	6	5000	250	10	
7	1.8	72	7	1200	120		5
8	1.6	64	8	1500	180	60	
9	1.4	56	9	2500	240		3.5

Указание: при построении графиков удобно задавать координату  $u$  в долях от длины волны, напряжение  $U_2$  или ток  $I_2$  условно принять за единицу.

## **11. ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ**

**ЗАДАЧА 11.1.** Воздушная линия без потерь длиной  $l$ , обладающая волновым сопротивлением  $Z_c$  и нагруженная на  $R_n$ , подключается к источнику постоянного напряжения с ЭДС  $E$  и внутренней индуктивностью  $L$ . Все заданные параметры приведены в таблице вариантов.

Требуется построить графики распределения напряжения и тока вдоль линии в моменты времени  $t_1=0.75l/v$  и  $t_2=1.5l/v$ .

Таблица вариантов к задаче 11.1

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$E$ , кВ	100	150	200	250	120	220	110	180	160	240
$L$ , мГн	50	60	55	65	70	75	80	85	90	95
Вторая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$l$ , км	130	160	180	240	300	150	120	190	240	220
$Z_c$ , Ом	250	300	350	400	450	500	550	375	425	475
$R_n$ , Ом	1350	600	150	100	200	1500	1600	110	160	950

**ЗАДАЧА 11.2.** По воздушной линии рис.11.1 с параметрами  $Z_{c1}$ ,  $l_1$ ,  $v_1$  распространяется падающая волна  $U_{пад}$  с прямоугольным фронтом, переходя затем через корректирующие элементы в кабель с параметрами  $Z_{c2}$ ,  $l_2=0.5l_1$ ;  $v_2$ , конец которого разомкнут. Все заданные параметры приведены в таблице вариантов.

Требуется:

1. Построить график тока и напряжения в конце первой линии в функции времени.
2. Построить графики распределения вдоль обеих линий результирующих напряжений и токов для момента времени  $t_{\phi}=0.5l_2/v_2$ , считая с момента прихода волны в узел соединения линий.

Таблица вариантов к задаче 11.2

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_{пад}$ , кВ	200	220	100	120	220	127	130	220	380	130
$l_1$ , км	120	75	60	90	90	75	75	90	120	75
$Z_{c1}$ , Ом	275	210	180	240	220	250	300	300	280	200
$Z_{c2}$ , Ом	50	44	40	60	55	51	65	55	76	52
$r$ , Ом	200	300	250	360	240	200	220	300	360	180
$L$ , мГн	40	30	20	50	25	35	45	50	40	15
$C$ , мкФ	0.9	1	0.8	1.2	1.5	2	1	1.5	1.2	2.4

Примечание: из приведенных значений  $r$ ,  $L$ ,  $C$  следует использовать те, которые имеются в схеме Вашего варианта.

**ЗАДАЧА 11.3.** Нагрузка воздушной линии без потерь сформирована резистором  $r_1$ , параллельно к которому через рубильник  $P_2$  подключен резистор  $r_2$ . Переходный процесс в линии вызывается: а - включением линии с помощью рубильника  $P_1$  (рубильник  $P_2$ -разомкнут) к источнику ЭДС с параметрами  $E_0$ ,  $r_0$  (нечетные варианты); б - отключением

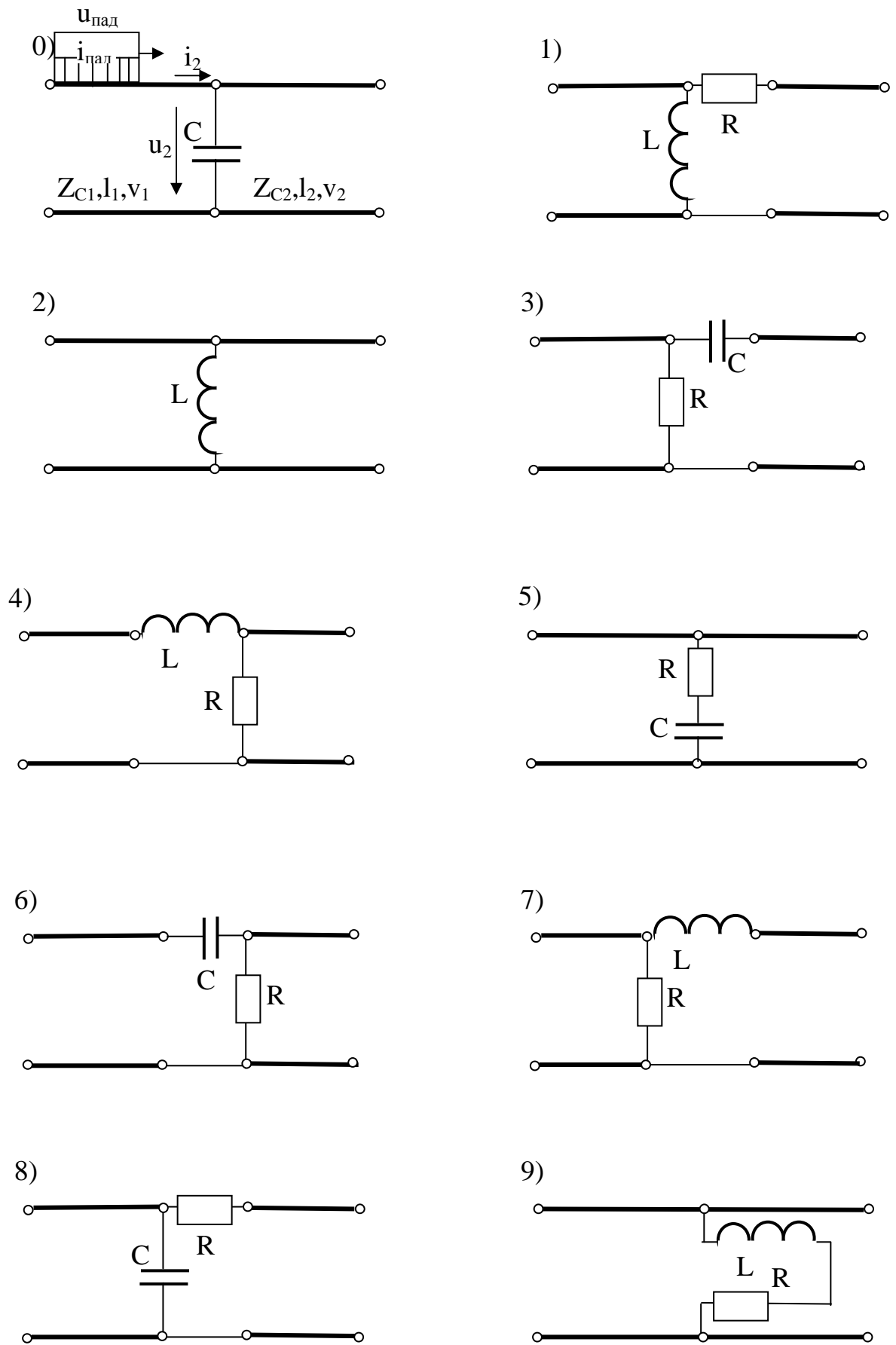


Рис. 11.1

резистора  $r_2$  нагрузки посредством рубильника  $P_2$  при включенном рубильнике  $P_1$  (четные варианты).

Параметры источника, линии и нагрузки приведены в таблице вариантов. Требуется для шести пробегов волн рассчитать и построить графики изменения тока на входе линии и напряжения на нагрузке, определить практическую длительность переходного процесса (время и количество пробегов волн вдоль линии).

Таблица вариантов к задаче 11.3

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$E_0$ , кВ	330	220	110	380	220	150	200	400	500	220
$r_0$ , Ом	90	80	50	90	40	30	40	80	90	50
$l$ , км	420	210	150	360	180	120	200	480	450	240
Вторая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Z_C$ , Ом	280	180	250	300	200	180	160	230	220	400
$r_1$ , Ом	1320	1500	400	100	50	200	220	150	60	200
$r_2$ , Ом	440	500	400	300	450	600	660	500	50	200

ЗАДАЧА 11.4. Источник энергии генерирует в линию (см. рис. 11.1) серию одинаковых прямоугольных импульсов напряжения  $U_n$  длительностью  $t_n=1/4v_1$  с паузой между импульсами, равной длительности импульса. Все заданные величины приведены в таблице вариантов. Скорость распространения волн в линии принять  $v_1=v_2=105$  км/с. Построить графики распределения тока и напряжения вдоль линии в момент, когда первый импульс полностью прошел через корректирующие элементы во вторую линию.

Таблица вариантов к задаче 11.4

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_n$ , В	800	1200	450	300	400	240	660	750	420	500
$Z_{C1}=Z_{C2}$ , Ом	320	240	300	120	160	200	175	150	210	290
$l_1=2l_2$ , км	280	300	160	100	120	110	180	240	200	220
$r$ , Ом	40	80	60	90	80	75	80	75	60	70
$L$ , мГн	40	50	30	28	25	35	45	50	40	36
$C$ , мкФ	1.5	2	1.8	3.5	3	4	3.2	2.4	1.8	2.5

## 12. ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

ЗАДАЧА 12.1. Внутри заземленного полого металлического шара (четные варианты) или металлического цилиндра длиной 10м (нечетные варианты) с внутренним и наружным радиусами  $r_4$  и  $r_5$  соответственно (рис.12.1) расположен еще один металлический шар или цилиндр радиуса  $r_1$ , причем последний несет на себе заряд  $q$ . В устройстве имеется область, заряженная равномерно с объемной плотностью  $\rho$  (за исключением схем 2 и 7), обладающая относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_{1r}$ , и область (или области) не содержащая свободных зарядов с относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_{1r}$  или  $\epsilon_{2r}$ , (см. рис 12.1). Радиусы зон устройства связаны следующими соотношениями:  $r_2=2r_1$ ;  $r_3=3r_1$ ;  $r_4=4r_1$ ;  $r_5=4.5r_1$ .

Рассчитать и построить графики зависимости напряженности электростатического поля и потенциала от расстояния до центра шара или цилиндра.

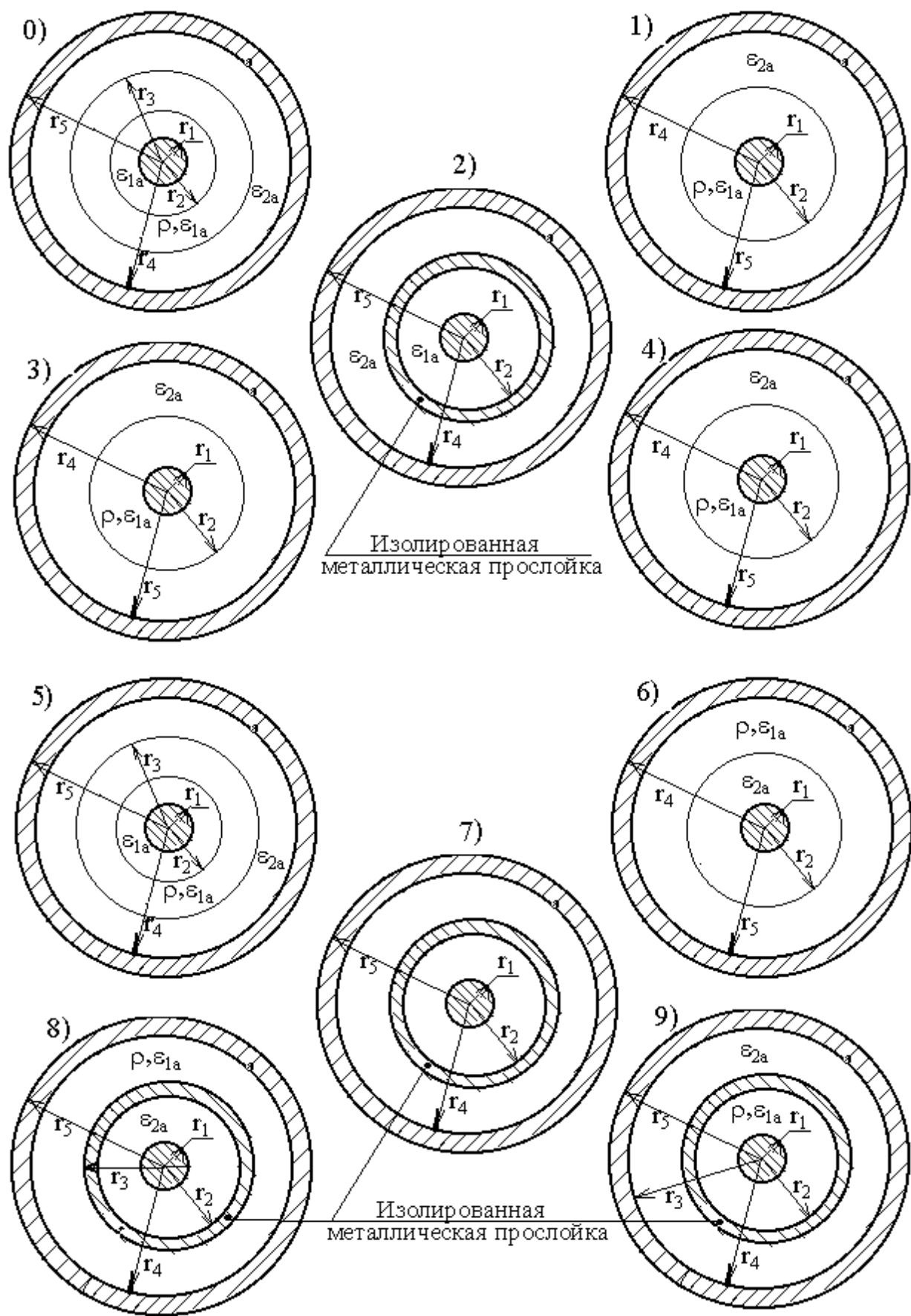


Рис.12.1

Таблица вариантов к задаче 12.1

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\rho \cdot 10^{-10}$ , Кл/см <sup>3</sup>	1	-0.6	0.8	-1	1.2	0.5	-0.9	0.3	1.1	-0.5
$q \cdot 10^{-8}$ , Кл	-2	1.5	1	2.5	3	1.4	0.5	0.8	-1.2	6
$\epsilon_{1r}$	1.5	3	1	2	5.5	2	2.5	4	1	3
$\epsilon_{2r}$	6	1	3.5	4.5	2	5.5	6	1.5	4	1.5
$r_1$ , см	0.5	0.4	0.6	0.8	2	1.8	1.6	1.4	1.2	1

Указание: в схемах 1, 3, 4, 6 радиус  $r_3$  отсутствует.

**ЗАДАЧА 12.2.** В условиях задачи 12.1, считая  $\rho=0$ , а заряд  $q$  – неизвестным, определить, какое напряжение должно действовать между внутренней и наружной частями устройства, чтобы максимальная напряженность электростатического поля составляла  $E_m=30$  кВ/см. Определить также ёмкость устройства. Номер схемы рис.12.1 принять на единицу больше, чем в задаче 12.1.

**ЗАДАЧА 12.3.** Два проводящих тела (шары, цилиндры или пластины рис.12.2) разделены двумя слоями диэлектрика с относительными диэлектрическими проницаемостями  $\epsilon_{1r}$  и  $\epsilon_{2r}$ . Радиусы зон связаны следующими соотношениями:  $r_2=2r_1$ ;  $r_3=3r_1$ ;  $r_4=4r_1$ ; для плоских систем  $d_1=r_1$ ,  $d_2=2r_1$ . Тела подключены к источнику постоянного напряжения  $U$  с полярностью указанной на рис. 12.2. Область одного из диэлектриков заполнена свободным зарядом с равномерной объёмной плотностью  $\rho$  (см рис.12.1).

Построить графики изменения напряженности электростатического поля и потенциала в зависимости от координат пространства, считая наружную оболочку заземленной (для плоских систем – заземлена правая пластина), а продольные размеры цилиндров и обкладок плоских систем значительно большими поперечных размеров.

Рассчитать также ёмкость слоя, в котором  $\rho = 0$ .

Таблица вариантов к задаче 12.3

Первая цифра варианта	$r_1$ , см	$\epsilon_{1r}$	$\epsilon_{2r}$	$U$ , кВ	$\rho \cdot 10^{-10}$ Кл/см <sup>3</sup>
0	0,4	9,0	3,5	2	8
1	0,5	8,5	3,5	3	-15
2	0,6	8,0	2,5	4	20
3	0,7	7,5	3,0	5	-25
4	0,8	7,0	2,5	6	30
5	0,9	6,5	3,0	7,5	-35
6	1,0	6,0	2,0	6,5	40
7	1,1	5,5	2,0	5,5	-45
8	1,2	5,0	1,5	4,5	50
9	1,3	4,5	1,5	3,5	-55

**ЗАДАЧА 12.4.** В системе проводников, расположенных в воздухе вблизи проводящей поверхности, действует несколько источников постоянной ЭДС, как показано на рис.12.3. Радиусы всех проводников одинаковы и равны  $r_0$ . Высота подвеса проводников  $h_1 = h_3$  и  $h_2$ , расстояние между первым и третьим проводником  $a_{13}$  приведены в таблице вариантов. Второй проводник расположен на одинаковом расстоянии от первого и третьего, т.е.  $a_{12} = a_{23}$ .

Определить потенциал и заряд на единицу длины каждого проводника.

Таблица вариантов к задаче 12.4

Первая цифра варианта	$r_0$ , см	$h_1 = h_3$ , м	$h_2$ , м	$a_{13}$ , м
-----------------------	------------	-----------------	-----------	--------------



0	1	4	6	3
1	0,5	4,5	6,5	3
2	0,1	6	4,5	2
3	1,5	7	5,5	2
4	2	8	6	3
5	0,5	4	6	2
6	1	5	6	2
7	1,5	8	6	3
8	2	7	5	3
9	1,5	6	5	2,5

ЗАДАЧА 12.5. Рассчитать ток утечки между двумя телами (рис.12.4), расположенными в разных несовершенных изолирующих средах с удельными проводимостями  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  и с относительными диэлектрическими проницаемостями  $\epsilon_{1r}$  и  $\epsilon_{2r}$  соответственно. Напряжение между телами  $U$ .

Найти удельные тепловые потери в окрестности точки М.

Найти проводимости и ёмкости между телами, построить схему замещения системы.

Примечание. Цилиндрические (плоские) системы считать весьма протяженными и расчеты произвести на единицу длины (площади).

Таблица вариантов к задаче 12.5

Первая цифра варианта	U,кВ	$\gamma_1 \cdot 10^{-8}$ , См/м	$\gamma_2 \cdot 10^{-8}$ , См/м	$\epsilon_{1r}$	$\epsilon_{2r}$	$r_1, \text{см}$	$r_2, \text{см}$	$r_3, \text{см}$
0	10	2,5	1	4	1,5	6	10	18
1	15	2,5	1,2	5	1,5	7	10	20
2	20	3	1,2	5,5	2	8	15	22
3	25	3	1,5	5,5	2,5	9	15	24
4	35	3,5	1,5	6	2,5	10	20	30
5	45	4	2	6	3	11	20	32
6	55	4	2,5	6,5	3	12	20	34
7	65	4,5	2,5	6,5	3,5	13	25	35
8	80	5	3	7	3,5	14	25	40
9	100	6	3	7	4	15	25	45

ЗАДАЧА 12.6. На рис. 12.5 изображены заземлители различной конструкции, расположенные в однородной почве с удельной проводимостью  $\gamma$ . Ток, подводимый к заземлителю,  $I$ , его радиус  $r_0$ . Цилиндрические заземлители являются весьма протяжёнными и для них задан ток, приходящийся на 1 погонный метр, а электрод, собирающий ток находится на расстоянии  $H=100\text{м}$ .

Рассчитать поле тока и сопротивление заземлителя (для цилиндрических заземлителей - при длине 1 м).

Построить график изменения потенциала на поверхности земли в окрестности заземлителя, найти максимальное шаговое напряжение.

Таблица вариантов к задаче 12.6

Первая цифра варианта	$r_0, \text{см}$	$I, \text{А}$	$h, \text{м}$	$\gamma \cdot 10^{-2}$ , См/м
0	40	200	1,5	4,2
1	45	250	1,6	3,5
2	50	300	1,8	3
3	55	400	2	2,6
4	60	350	1,9	2,2
5	75	450	2,5	1,8
6	80	500	2,2	1,6

7	30	150	1,2	4,8
8	45	300	1,7	3,8
9	40	250	2,1	4

ЗАДАЧА 12.7. В равномерное электрическое поле с напряженностью  $E_0$ , созданное в идеальном диэлектрике ( $\gamma_e=0$ ) с относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_{er}$  (чётные варианты), или созданное в несовершенной изоляции с удельной проводимостью  $\gamma_e$  и относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_{er}$  (нечетные варианты), внесено тело радиусом  $a$ , удельная проводимость и диэлектрическая проницаемость которого  $\gamma_i$  и  $\epsilon_i$  соответственно (рис.12.6).

Длина цилиндрического тела значительно больше его радиуса.

Рассчитать напряженности поля в точках А и В на поверхности тел и в точке М на расстоянии  $2a$  от центра внесенного тела.

Таблица вариантов к задаче 12.7

Первая цифра варианта	$E_0 \cdot 10^6$ , В/м	$a$ , см	$\epsilon_{er}$ (для чётных вариантов)	$\gamma_e$ , См/м (для нечётных вариантов)
0	0,4	0,2	4	0,8
1	0,6	0,25	4,5	1,2
2	0,8	0,3	5	0,6
3	1,0	0,4	8	0,7
4	1,2	0,5	7,5	0,9
5	1,4	0,6	7	1,1
6	1,8	0,7	2	1,0
7	2,5	0,8	3	0,5
8	3,0	0,9	2,5	0,4
9	3,5	1,0	3,5	0,45

ЗАДАЧА 12.8. В устройствах рис.12.7 постоянный ток  $I$  протекает по уединённому проводу (схемы 0, 1, 8 и 9), двум проводам (схемы 2, 3), трём проводам (схемы 4 и 5), коаксиальному кабелю (схемы 6 и 7) как указано на этом рисунке. Радиусы проводов и радиусы жил коаксиальных кабелей  $r_0 = 1$  см, расстояние между проводами  $d = 70$  см.

Требуется:

1. Рассчитать напряжённости магнитного поля в точках А и В, а также магнитное напряжение между ними.

2. Считая, что А и В являются точками сечениями длинных сторон прямоугольной рамки длиной  $l = 5$  м и с числом витков  $W = 200$ , найти магнитный поток рамки и взаимную индуктивность устройства и рамки.

Таблица вариантов к задаче 12.8

Первая цифра варианта	$I$ , А	Координаты точек			
		$X_A$ , см	$Y_A$ , см	$X_B$ , см	$Y_B$ , см
0	80	20	-10	-10	15
1	70	-10	20	20	-15
2	60	-10	-10	15	20
3	50	10	10	-20	-10
4	40	-5	25	25	-30
5	90	25	-40	-30	20
6	100	40	-10	30	-20
7	110	-30	-20	15	40
8	120	20	40	-35	-15
9	130	-15	30	20	-35

Примечание. Если в плоскости прямоугольной рамки окажется проводник с током, его поперечными размерами по сравнению с длиной рамки АВ пренебречь.

ЗАДАЧА 12.9. Постоянный ток  $I$  замыкается по устройствам, показанным на рис. 12.8. Устройства изготовлены из материала с относительной магнитной проницаемостью  $\mu_r$  и находится в воздухе. Удельная проводимость устройств 1, 2, 4, 5, 6, 9 составляет  $\gamma$ , устройства 0, 3, 7, 8 – биметаллические ( $\gamma$  и  $3\gamma$ ).

Построить графики зависимости векторного магнитного потенциала и напряженности магнитного поля в функции координат.

Используя векторный магнитный потенциал, рассчитать магнитный поток, замыкающийся по прямоугольной рамке длиной  $l = 1$  м, точками пересечения которой с плоскостью чертежа являются А и В.

Таблица вариантов к задаче 12.9.

Первая цифра варианта	$I$ , А	$a$ , мм	$\mu_r$
0	200	5	3
1	250	10	3,5
2	300	15	2,5
3	350	20	5,5
4	400	25	1,5
5	450	30	2
6	150	12	6
7	120	14	5
8	100	16	4,5
9	80	18	4

ЗАДАЧА 12.10. По уединённой стальной шине или по двум близко расположенным шинам замыкается синусоидальный ток или магнитный поток частоты  $f$ . Действующее значение тока  $I$  или потока  $\Phi$ , их направление указано на рис. 12.9. Удельная проводимость стали  $\gamma$ , а относительная магнитная проницаемость  $\mu_r$ , окружающая среда – воздух.

Найти закон распределения действующих значений напряженности электрического и магнитного полей по сечению шины, построить их графики.

Рассчитать активное и индуктивное сопротивление одной шины с учетом поверхностного эффекта и эффекта близости (рис.1, 2, 3, 6, 9) или мощность тепловых потерь на вихревые токи (рис. 0, 4, 5, 7, 8).

Таблица вариантов к задаче 12.10

Первая цифра варианта	$\gamma \cdot 10^6$ См/м	$\mu_r$	$a$ , см	$h$ , см	$f$ , Гц
0	1	900	0,7	18	50
1	0,8	1000	0,65	20	75
2	1,2	800	0,6	22	100
3	2	900	0,55	25	125
4	3	1100	0,5	30	150
5	4	1200	0,45	25	175
6	5	1300	0,4	22	200
7	2,5	1600	0,35	20	225
8	1,5	1400	0,3	18	250
9	4,5	2000	0,25	16	275

ЗАДАЧА 12.11. Плоская электромагнитная волна распространяется в воздухе ( $\epsilon_{1r} = 1$ ,  $\mu_{1r} = 1$ ,  $\gamma_1 = 0$ ) по направлению оси  $Z$  перпендикулярно плоской поверхности второго диэлектрика ( $\epsilon_{2r}$ ,  $\mu_{2r}$ ,  $\gamma_2 = 0$ ), размеры которого не ограничены. Частота сигнала  $f$ , амплитуда вектора напряженности магнитного поля на границе сред  $H_m$ , или электрического  $E_m$ .

Найти законы изменения в зависимости от координаты  $Z$  действующих значений  $H$  и  $E$  в обеих средах, построить их графики.

Для устранения отражённого сигнала поверхность второго диэлектрика покрыта диэлектрической пленкой. Найти толщину пленки  $d$  и её свойства. Доказать, что при Вашем решении отсутствует отражённая волна.

Таблица вариантов к задаче 12.11

Первая цифра варианта	$\mu_{2r}$	$\epsilon_{2r}$	$f \cdot 10^9$ , Гц	$H_m$ , мА/м	$E_m$ , мВ/м
0	6	1,2	8	60	-
1	8	1,4	7	-	150
2	10	1,6	6	80	-
3	12	1,8	5	-	200
4	14	2	4	100	-
5	16	2,5	13	-	250
6	20	3	17	120	-
7	25	3,5	23	-	300
8	30	4	27	140	-
9	40	4,5	32	-	350

**ЗАДАЧА 12.12.** Плоская гармоническая волна распространяется в воздухе ( $\epsilon_{1r} = 1$ ,  $\mu_{1r} = 1$ ,  $\gamma_1=0$ ) в направлении оси  $Z$  перпендикулярно хорошо проводящей поверхности ( $\gamma=\infty$ ). Действующее значение напряженности магнитного поля на поверхности раздела сред  $H$ , частота сигнала  $f$ . Найти мгновенные и действующие значения напряженностей поля в воздухе. Построить графики их действующих значений вдоль координаты  $Z$ .

Для устранения отраженного сигнала проводящую поверхность покрыли диэлектрической пленкой со свойствами  $\epsilon_{3r}$ ,  $\mu_{3r} = 1$ ,  $\gamma_3 = 0$  толщиной  $d_3$ , на которую напылили алюминиевый слой толщиной  $d_4$  с проводимостью материала  $\gamma_4$ . Найти толщины  $d_3$  и  $d_4$ , привести схему установки. Доказать отсутствие отраженного сигнала.

Таблица вариантов к задаче 12.12

Первая цифра варианта	$H$ , мА/м	$f \cdot 10^{10}$ Гц	$\epsilon_{3r}$	$\gamma_4 \cdot 10^6$ См/м
0	70	9	1,4	0,2
1	90	8	1,6	0,5
2	110	7	1,8	0,8
3	130	6	2	1
4	150	5	2,2	5
5	170	4	2,4	10
6	190	3	2,6	15
7	210	2	2,8	20
8	230	1	3	25
9	250	0,75	3,5	30

ЛИТЕРАТУРА  
с примерами решения задач РГР

1. Рибалко М.П., Есауленко В.О. Нелінійні електричні та магнітні кола в усталених і перехідних режимах. Навч. посібник.- К.: ІСДО, 1994. -196с.
2. Рибалко М.П., Есауленко В.О. Перехідні процеси в лінійних електричних колах із зосередженими параметрами. Навч. посібник.-Донецьк: ДонДТУ, 1999. -172с.
3. Рыбалко Н.П. Линейные цепи постоянного и однофазного синусоидального токов в установившихся режимах. Методы анализа и расчета: Киев, УМК ВО,- 1991, - 136 с.
4. Рыбалко Н.П. Трёхфазные цепи синусоидального тока: Киев, УМК ВО,- 1991, - 64 с.
5. Шебес М.Р., Каблукова М.В. Задачник по теории линейных электрических цепей. – М.: Высш. шк., 1990,- 544 с.
6. Сборник задач по теоретическим основам электротехники: (Учебн. пособие) Бессонов Л.А., Демидова И.Г., Заруди М.Е. и др.: Под ред Л.А.Бессонова. – М.: Высш. шк., 1988, - 543 с.
7. Методические указания, типовые примеры и контрольные задания по курсам «Теоретические основы электротехники», «Основы теории электрических цепей», «ТОЭ и электроника». Ч.1 и Ч.2. – Донецк, ДПИ, 1991