

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра «Электромеханика и ТОЭ»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
и индивидуальные задания  
по теоретической электротехнике**

для студентов программы профессионального образования «бакалавриат» заочной формы обучения по направлениям подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств», 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», 11.03.01. «Радиотехника», 10.03.01 «Информационная безопасность», 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника», 01.03.04 «Прикладная математика»

**РАССМОТРЕНО**  
на заседании кафедры  
электромеханики и ТОЭ  
Протокол № 4 от 30.11.2017

**УТВЕРЖДЕНО**  
на заседании Учебно-издательского  
совета ДОННТУ  
Протокол № 8 от 18.12.2017г.

Донецк  
2017

УДК 621.3.01(076)

ББК 31.21я7

М54

**Рецензенты:**

Чорноус Виталий Петрович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электромеханика и ТОЭ»;

Ларина Инна Ивановна - кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрические системы».

**Составители:**

Корощенко Александр Владимирович - кандидат технических наук, доцент кафедры «Электромеханика и ТОЭ»;

Журавель Елена Анатольевна - кандидат технических наук, доцент кафедры «Электромеханика и ТОЭ»;

Михайлов Владимир Евгеньевич - кандидат технических наук, доцент кафедры «Электромеханика и ТОЭ»;

Апухтин Михаил Владимирович – старший преподаватель кафедры «Электромеханика и ТОЭ»;

Чорноус Евгений Витальевич - старший преподаватель кафедры «Электромеханика и ТОЭ».

М54

**Методические указания и индивидуальные задания по теоретической электротехнике** [Электронный ресурс] : для студентов программы профессионального образования «бакалавриат» по направлениям подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств», 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», 11.03.01. «Радиотехника», 10.03.01 «Информационная безопасность», 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника», 01.03.04 «Прикладная математика» заочной формы обучения / ГОУВПО «ДОННТУ», Каф. электромеханики и ТОЭ ; сост.: А. В. Корощенко, Е. А. Журавель, В. Е. Михайлов [и др.]. – Электрон. дан. (1 файл: 1,5 Мб). - Донецк : ДОННТУ, 2017. – Систем. Требования: Acrobat Reader.

Методические указания и индивидуальные задания предназначены для студентов заочной формы и содержат задания для контрольных работ и указания по их выполнению по следующим разделам дисциплин, которые могут быть объединены понятием «Теоретическая электротехника» (ТОЭ, теория электрических и магнитных цепей, теория электрических цепей и сигналов и др.): «Линейные цепи постоянного и однофазного синусоидального тока», «Четырехполосники», «Трехфазные цепи», «Цепи несинусоидального тока».

УДК 621.3.01(076)

ББК 31.21я7

## СОДЕРЖАНИЕ

Общие указания к выполнению контрольных работ .....	4
1. Линейные цепи постоянного тока .....	6
2. Однофазные цепи синусоидального тока .....	8
3. Трёхфазные цепи .....	16
4. Четырёхполюсники .....	18
5. Цепи несинусоидального тока .....	20
6. Переходные процессы в электрических цепях с сосредоточенными параметрами .....	22
7. Электрические цепи с распределёнными параметрами .....	24
8. Нелинейные цепи постоянного тока .....	28
8. Нелинейные цепи переменного тока .....	32
Список литературы .....	36

## ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Контрольные задания выполняются после изучения студентами соответствующих разделов курса по учебнику или учебному пособию с учетом следующих требований.

1. Задачи с небольшой расчетной частью рекомендуется решать в общем виде и затем в полученные формулы подставлять числовые значения величин.

2. Для задач с громоздкими вычислениями необходимо сначала показать общий метод решения, составить соответствующие уравнения, которые удобнее затем решать с подставленными числовыми значениями.

3. Все графические построения необходимо выполнять тщательно (с применением чертежных принадлежностей) и с обязательным указанием принятых масштабов.

4. Результаты, полученные при решении задачи, по возможности рекомендуется проверить несколькими методами.

5. Если при решении задачи или при изучении теоретического материала возникнут трудности, необходимо обратиться за консультацией к преподавателю, указывая при этом свои соображения по решению задач.

Работа над контрольным заданием помогает студентам проверить степень знания курса, вырабатывает навыки четко и кратко излагать свои мысли.

Для успешного достижения этой цели необходимо руководствоваться следующими правилами:

- начиная решение задачи, необходимо иметь четкое представление о том, какие физические законы или расчетные методы положить в основу ее решения;

- тщательно продумать, какие буквенные символы использовать при решении задачи, причем необходимо пояснить значение каждого символа словами или же соответствующими изображениями на схеме;

- если одна и та же задача решается двумя методами, то в обоих случаях одна и та же величина должна обозначаться одинаково;

- промежуточные и окончательные результаты должны быть выписаны на отдельных строчках и ясно выделены из общего текста;

- решение задачи не следует перегружать приведением всех алгебраических преобразований и арифметических расчетов;

- при вычерчивании электрических схем следует строго соблюдать обозначения и размеры, предусмотренные ГОСТом;

- каждый этап решения задачи должен сопровождаться соответствующими пояснениями;

- при построении графиков на осях координат надо наносить равномерные шкалы и указывать величины, откладываемые по осям координат, а также единицы их измерения.

На титульном листе контрольного задания следует указать фамилию, имя и отчество студента, шифр и домашний адрес.

Контрольная работа должна быть подписана студентом.

### **Выбор варианта контрольной работы.**

Номер варианта определяется двумя последними цифрами шифра студента. Например, если шифр студента 23862, то номер его варианта 62. Цифру 6 следует считать первой цифрой варианта, а цифру 2 – второй. Если в задаче предлагается 10 схем и 10 вариантов численных данных, то номер схемы выбирается по второй цифре варианта, а номер варианта численных данных – по первой. Если же в задаче предлагается только одна схема, то численные данные выбираются как по первой, так и по второй цифрам варианта.

Выбор задач, подлежащих обязательному решению, производится в соответствии с учебно-методической картой дисциплины, которая должна выдаваться каждому студенту на установочных лекциях.

## 1. ЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

**ЗАДАЧА 1.** Для схемы электрической цепи постоянного тока, представленной на рис. 1, необходимо выполнить следующее:

- выполнить анализ цепи, указав количество уравнений, которые придётся решать по основным расчётным методам;
- на основании законов Кирхгофа составить систему уравнений для определения токов во всех ветвях (решать их не следует);
- выполнить расчёт токов методом контурных токов. Правильность расчёта проверить составлением баланса мощностей цепи;
- рассчитать токи методом узловых потенциалов. В качестве проверки построить потенциальную диаграмму для любого контура, включающего в себя ветвь с источником ЭДС;
- рассчитать токи методом наложения;
- ток в ветви, указанной в таблице вариантов, рассчитать методом эквивалентного генератора.

Параметры источников и других элементов цепи приведены в табл. 1.

Таблица 1

Первая цифра варианта	$E, В$	$J, А$	$r_1, Ом$	$r_2, Ом$	$r_3, Ом$	$r_4, Ом$	$r_5, Ом$	По МЭГ проверить ток в
0	18	1,2	12	18	12	4	6	$r_1$
1	20	2,0	15	12	18	6	4	$r_2$
2	36	2,5	20	20	18	6	6	$r_3$
3	24	2,0	12	16	20	5	7	$r_4$
4	20	1,8	20	10	16	8	4	$r_1$
5	12	1,5	10	8	12	5	3	$r_2$
6	24	1,6	12	18	10	6	4	$r_3$
7	48	2,4	40	20	24	8	12	$r_4$
8	24	2,0	16	12	18	5	12	$r_1$
9	18	1,2	24	20	10	8	16	$r_2$

Методические рекомендации по решению задачи по теме «Линейные цепи постоянного тока»

При решении задачи 1 прорабатываются следующие темы раздела «Цепи постоянного тока»: метод непосредственного применения законов Кирхгофа, метод контурных токов, метод узловых потенциалов, метод наложения, метод эквивалентного генератора, баланс мощностей, построение потенциальной диаграммы. В качестве примеров взять задачи 1.9, 1.14, 1.15, 1.20, 1.28, 1.42, 1.48 [1], 2.9, 2.14, 2.15, 2.20, 2.28, 2.46, 2.51, 2.52 [3, 4], 2.2.1, 2.2.2 [5]

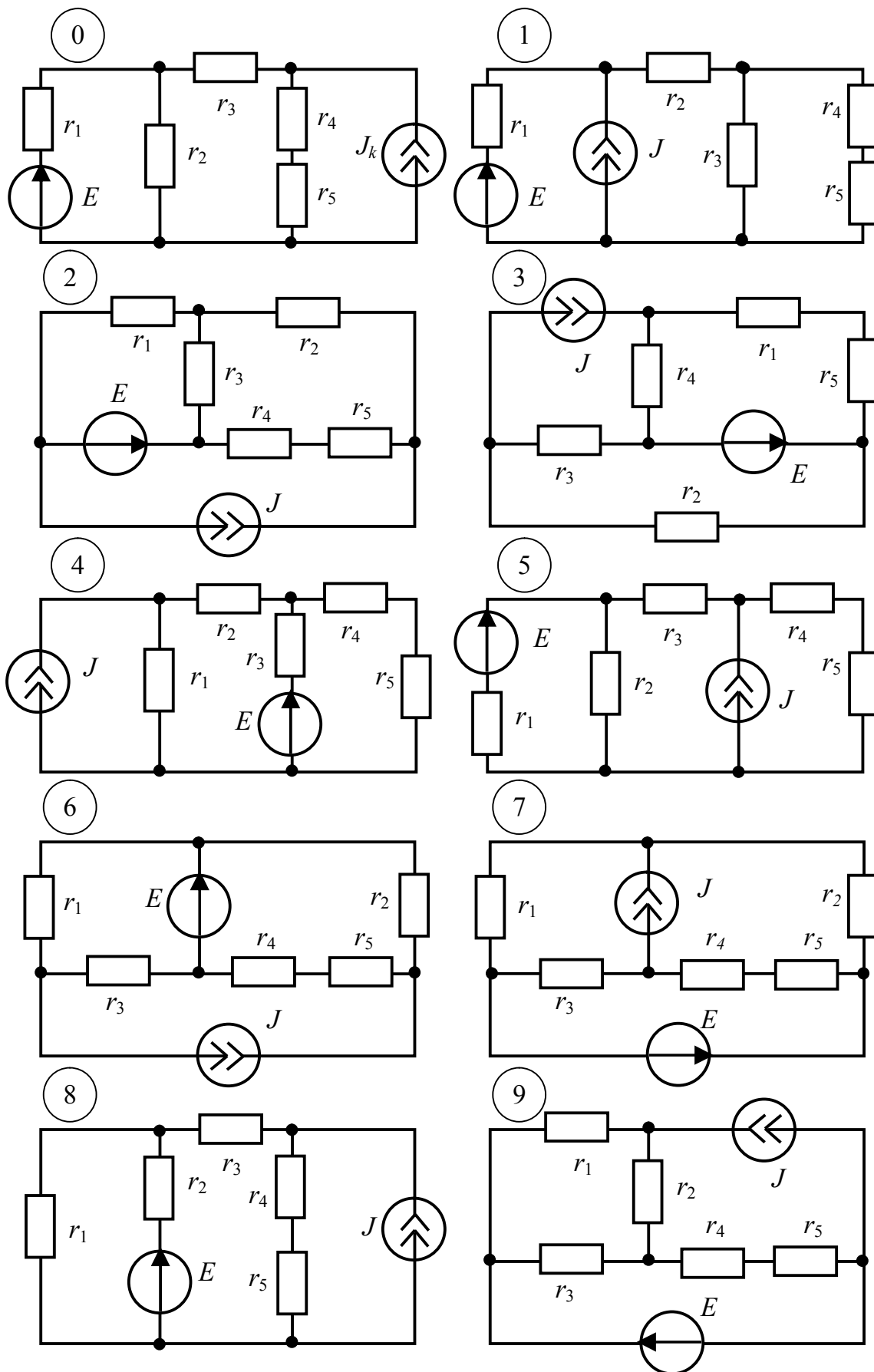


Рис. 1

## 2. ОДНОФАЗНЫЕ ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

**ЗАДАЧА 2.** В схеме рис. 2 заданы напряжение на участке цепи или ток в одной из ветвей. По известным параметрам цепи (см. табл. 2) 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, а также коэффициент мощности цепи;
- 3) записать мгновенное значение тока в одной из ветвей или напряжения на участке цепи (см. таблицу вариантов);
- 4) построить векторную диаграмму напряжений, совмещенную с диаграммой токов.

**ЗАДАЧА 3.** Два электродвигателя переменного тока  $D_1$  и  $D_2$  подключены параллельно к сети с напряжением  $U_2$  (рис. 3) и работают с низким коэффициентом мощности  $\cos\varphi$ . Измерительные приборы в цепи каждого электродвигателя показывают токи  $I_1$  и  $I_2$ , мощности  $P_1$  и  $P_2$ .

Провода линии электропередачи имеют активное сопротивление  $r_0$  и индуктивное  $x_0$ . Коэффициент мощности заданной установки может быть повышен путём включения параллельно двигателям батареи конденсаторов. Числовые значения всех величин для расчета приведены в табл. 3.

Необходимо:

1. Рассчитать заданную электрическую цепь и определить (до подключения конденсаторов):

- а) ток в линии;
- б) напряжение в начале линии;
- 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.

2. Рассчитать компенсационную установку для получения  $\cos\varphi_k = 0,95$  и определить для указанного значения коэффициента мощности емкость и мощность батареи конденсаторов.

3. Выполнить расчет цепи при условии работы компенсационной установки и найти все величины, которые были найдены до включения батареи конденсаторов.

Полученные результаты свести в табл. 4 и сравнить для различных режимов работы электродвигателей (до компенсации – режим А и с  $\cos\varphi_k = 0,95$  – режим В). Отметить, какие выгоды дает повышение коэффициента мощности установки.



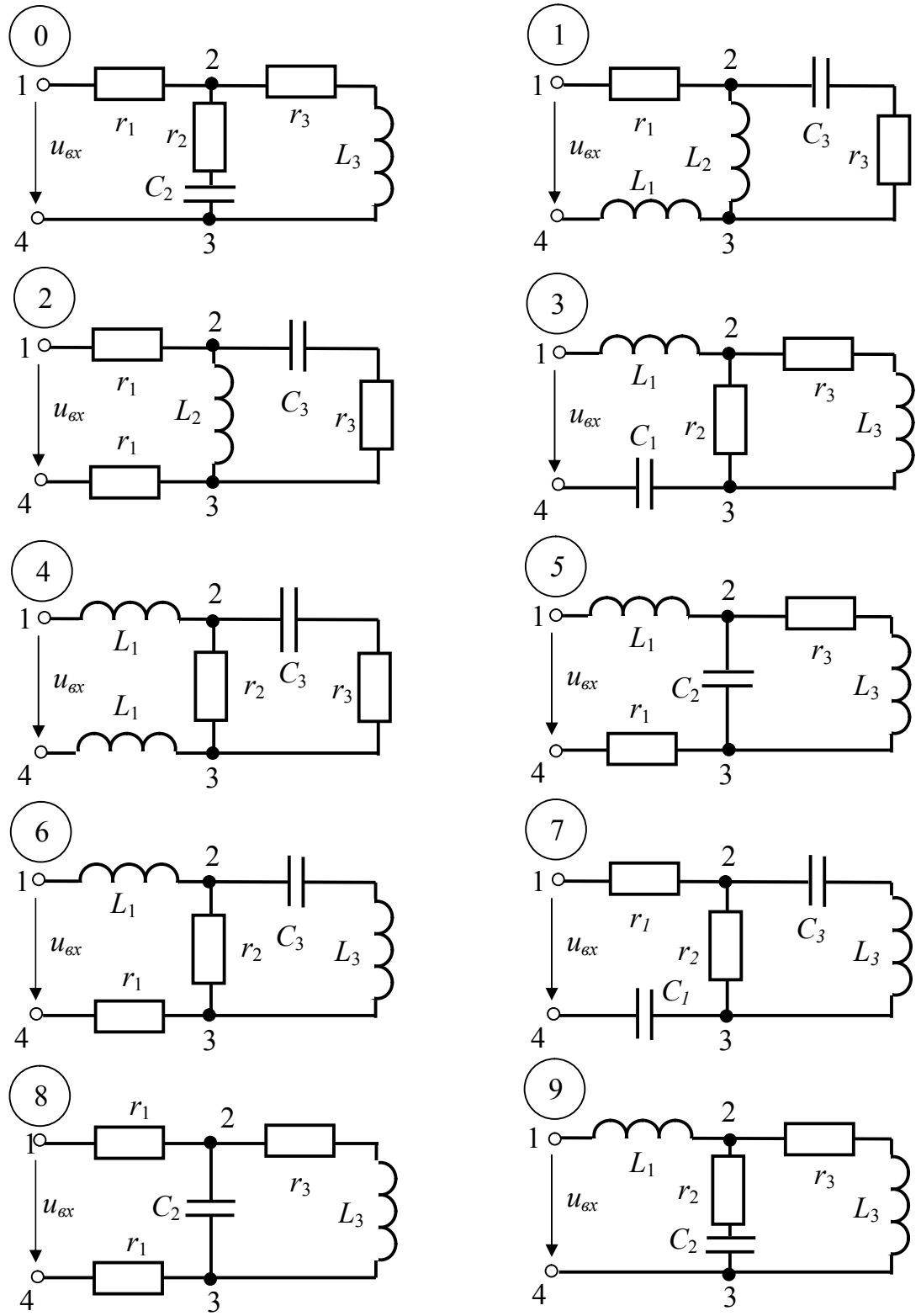


Рис. 2

Таблица 2

Первая цифра варианта	Заданное напряжение или ток, $V$ или $A$	$r_1$ , Ом	$L_1$ , Гн	$C_1$ , мкФ	$r_2$ , Ом	$L_2$ , Гн	$C_2$ , мкФ	$r_3$ , Ом	$L_3$ , Гн	$C_3$ , мкФ	Требуется определить
0	$u_{23} = 80\sin(314t - 20^\circ)$	3	0,015	460	20	0,04	160	6	0,03	240	$i_1(t)$
1	$u_{ex} = 120\sin(314t + 20^\circ)$	3	0,024	420	18	0,03	140	7	0,02	200	$i_1(t)$
2	$i_3 = 4\sin(314t - 15^\circ)$	4	0,022	380	16	0,05	120	8	0,03	275	$u_{ex}(t)$
3	$i_2 = 5\sin(314t - 45^\circ)$	5	0,02	360	14	0,04	180	9	0,02	300	$u_{ex}(t)$
4	$u_{ex} = 220\sin(314t + 45^\circ)$	5	0,018	480	12	0,03	150	10	0,02	280	$i_1(t)$
5	$i_3 = 3\sin(314t - 60^\circ)$	4	0,016	450	10	0,05	160	8	0,04	280	$u_{ex}(t)$
6	$u_{23} = 60\sin(314t + 60^\circ)$	3	0,011	500	18	0,04	170	6	0,03	300	$i_1(t)$
7	$i_2 = 4\sin(314t + 15^\circ)$	4	0,014	480	16	0,03	180	9	0,02	260	$u_{ex}(t)$
8	$i_1 = 4\sin(314t - 30^\circ)$	2	0,01	500	12	0,04	190	10	0,03	240	$u_{ex}(t)$
9	$u_{ex} = 200\sin(314t + 30^\circ)$	3	0,012	400	10	0,05	200	8	0,04	200	$i_1(t)$

Примечание: Сопротивления элементов, не указанных на схеме, принять равными нулю.

Таблица 3

Первая цифра варианта	$r_0$ , Ом	$x_0$ , Ом	Вторая цифра варианта	$I_1$ , А	$I_2$ , А	$P_1$ , кВт	$P_2$ , кВт	$U_2$ , В
0	0,02	0,03	0	82	65	20	15	380
1	0,04	0,06	1	65	80	10	5	127
2	0,06	0,04	2	75	85	12	9	220
3	0,05	0,06	3	85	95	20	24	380
4	0,06	0,08	4	95	82	35	28	660
5	0,04	0,08	5	100	60	6	8	127
6	0,05	0,1	6	90	70	15	12	220
7	0,03	0,05	7	80	75	20	25	380
8	0,05	0,08	8	70	90	30	40	660
9	0,03	0,08	9	60	100	10	20	200

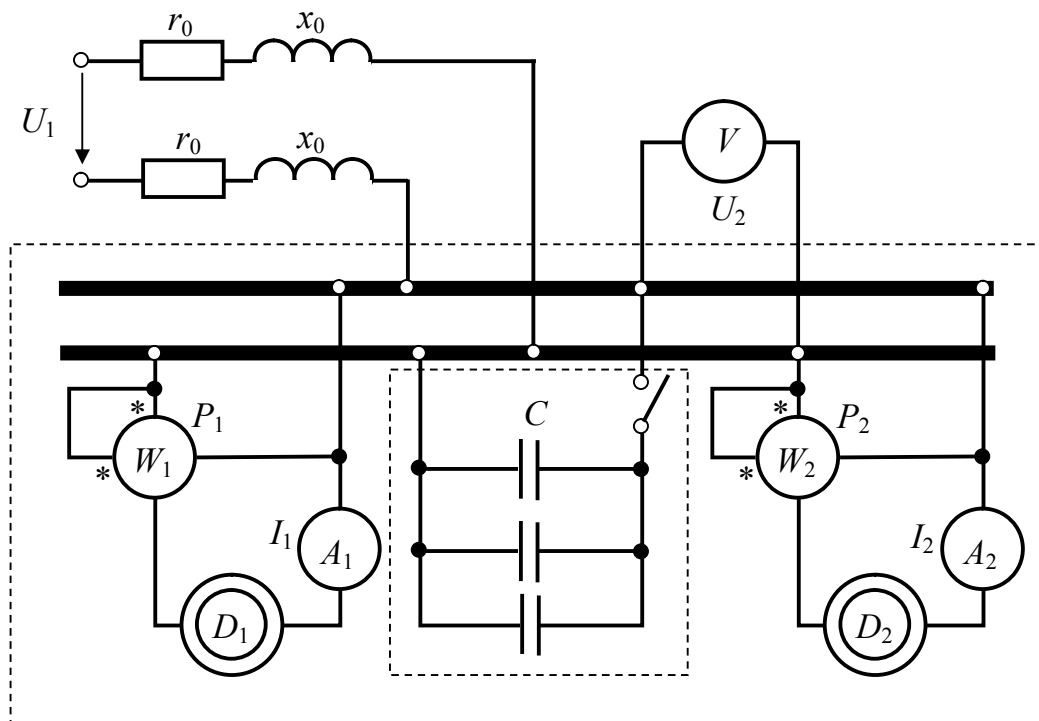


Рис. 3

## Указания

1. При всех расчетах напряжение в конце линии  $U_2$  и мощности двигателей  $P_1$  и  $P_2$  считать неизменными.

2. Потерю напряжения и мощность потерь в линии выразить в процентах от заданных значений напряжения  $U_2$  и мощности  $P_n$  ( $P_n = P_1 + P_2$ ). Значение тока в линии можно найти, применив символический метод. Для этого следует ток каждого двигателя выразить в комплексной форме. Комплекс тока в линии равен сумме комплексов токов отдельных электродвигателей. Нельзя

складывать арифметически модули токов электродвигателей, так как последние работают с неодинаковыми коэффициентами мощности.

**ЗАДАЧА 4.** На рис. 4 изображена схема электрической цепи, содержащая индуктивно связанные обмотки (третья обмотка в схемах 0-1-2-3 замкнута на вольтметр с очень большим внутренним сопротивлением, током которого можно пренебречь).

Напряжение сети и параметры схемы приведены в таблицах вариантов (табл. 4 и 5).

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 показания вольтметра (в схемах 0-1-2-3);
- 5) найти активную мощность, передаваемую через магнитное поле из одной обмотки в другую;
- 6) для исходной схемы построить векторную (или топографическую) диаграмму напряжений цепи, совмещенную с векторной диаграммой токов.

Таблица 4 (схемы 0-1-2-3)

Первая цифра варианта	$U, V$	$r_1, Ом$	$\omega L_1, Ом$	$\frac{1}{\omega C_1}, Ом$	$r_2, Ом$	$\omega L_2, Ом$	$\frac{1}{\omega \square_2}, Ом$	$\omega M_{12}, Ом$	$\omega M_{23}, Ом$	$\omega M_{31}, Ом$
0	220	18	20	24	10	15	20	14	16	12
1	380	24	24	30	15	30	20	20	20	15
2	127	10	20	10	20	10	20	14	20	18
3	660	36	30	20	20	30	40	24	25	20
4	127	12	20	12	10	12	20	12	18	12
5	220	20	10	20	24	20	10	8	8	6
6	380	24	30	20	20	20	30	24	25	20
7	220	16	20	20	10	16	18	14	12	12
8	1140	24	40	20	30	40	30	30	30	20
9	660	24	30	24	20	24	20	18	16	12

Таблица 5 (схемы 4-5-6-7-8-9)

Первая цифра варианта	$U, B$	$r_1, Ом$	$x_1, Ом$	$r_2, Ом$	$x_2, Ом$	$r_3, Ом$	$x_3, Ом$	$\omega M, Ом$
0	380	8	12	12	18	18	12	10
1	220	6	10	12	18	18	20	8
2	127	4	8	10	14	15	12	8
3	1140	12	10	22	26	26	18	8
4	660	8	16	15	20	20	18	10
5	380	10	14	20	24	24	16	12
6	220	5	12	12	20	8	15	10
7	120	6	10	12	18	18	20	8
8	380	10	14	20	24	24	16	10
9	127	4	8	8	12	10	14	6

Примечание. Сопротивления элементов, не указанных на схемах, принять равными нулю.

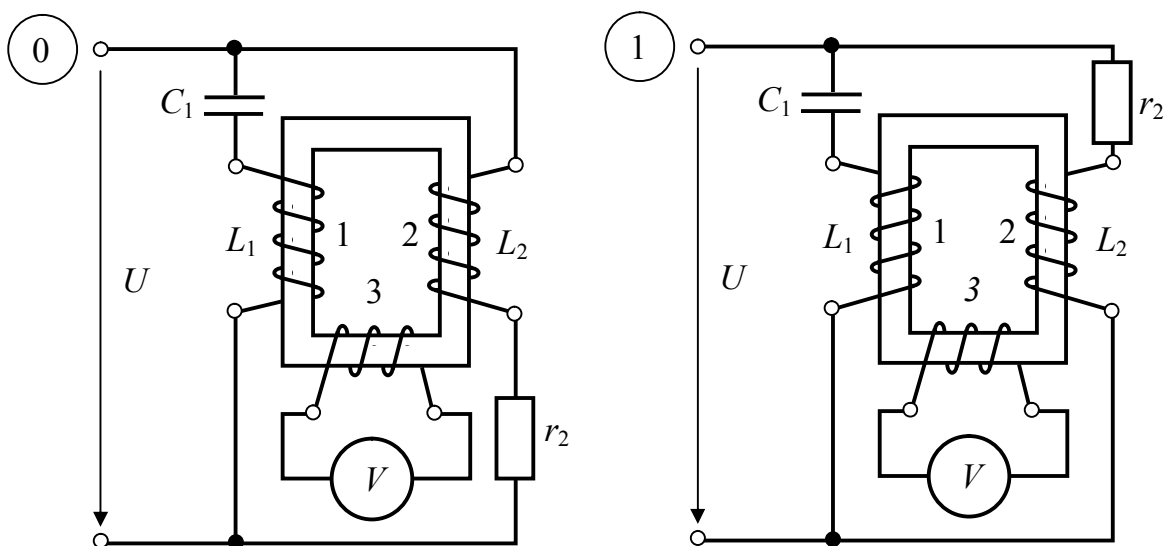


Рис. 4 (начало)

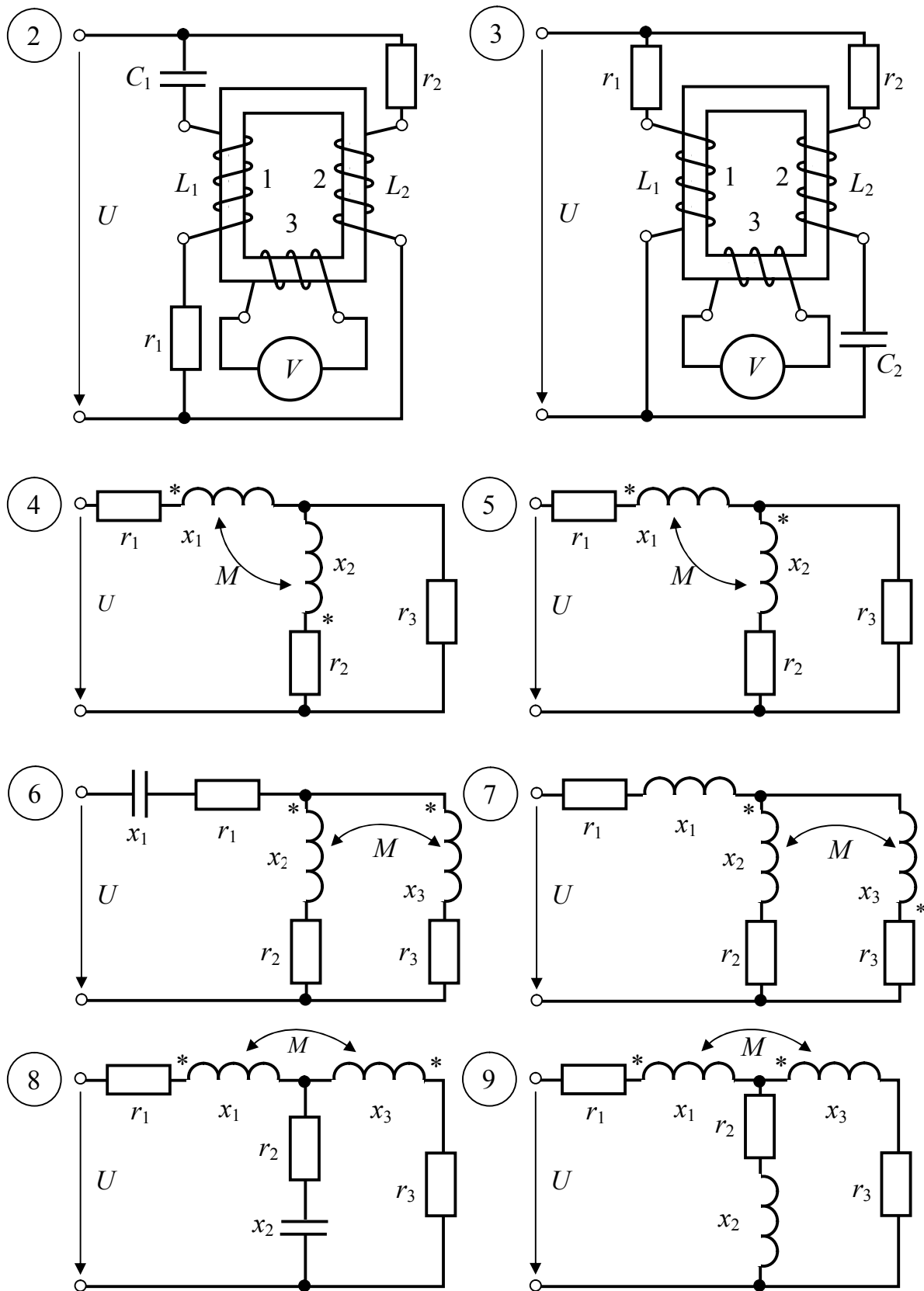


Рис. 4 (окончание)

Методические рекомендации по решению задач по теме «Однофазные цепи синусоидального тока»

Все задачи этой темы предполагают использование символического (комплексного) метода. Примеры для задачи 2: 3.32, 3.39, 3.45 [1], 3.32, 3.39, 3.45 [3, 4], 2.2.6 [5].

Задача 3 на тему «повышение коэффициента мощности нагрузки путём подключения параллельно к ней конденсатора (конденсаторной батареи)». При выполнении п.2 задачи 3 рекомендуется воспользоваться следующими рассуждениями. Для получения  $\cos\varphi_k=0,95$  необходимо обеспечить реактивную составляющую тока  $I_{pk}=I_a \cdot \operatorname{tg}\varphi_k$ , где  $I_a$  – активная составляющая тока линии, величина которой не изменяется при подключении конденсатора. С другой стороны  $I_{pk}=I_p - I_C$ , где  $I_p$  – реактивная составляющая тока до компенсации,  $I_C$  – ток конденсаторной батареи. С учетом того, что  $x_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{U_2}{I_C}$ , определяется емкость батареи  $C = \frac{1}{\omega x_C}$ . Мощность конденсаторной батареи определяется выражением  $Q_C = U_2 I_C$ .

Задача 4 на тему «цепи переменного тока с индуктивной связью». Примеры для задачи 4: 3.49, 3.51, 3.53, 3.54 [1], 3.49, 3.51-3.54 [3, 4], 2.2.8 [5].

### 3. ТРЁХФАЗНЫЕ ЦЕПИ

**ЗАДАЧА 5.** Три приемника с параметрами  $\underline{Z}_A$ ,  $\underline{Z}_B$ ,  $\underline{Z}_C$  соединены звездой и подключены к симметричному трехфазному генератору (рис. 5), линейные напряжения которого  $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_L$ .

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

- нулевой провод замкнут;
- нулевой провод разомкнут.

Параметры элементов схемы заданы в табл. 6.

Таблица 6

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_L$ , В	1140	380	220	127	660	110	440	250	500	580
Вторая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\underline{Z}_A$ , Ом	-j10	10	-j10	8+j6	20	6+j8	3+j4	10	20	-j16
$\underline{Z}_B$ , Ом	13	-j13	4+j3	-j16	6+j8	10	-j10	8+j6	-j16	6+j8
$\underline{Z}_C$ , Ом	12+j5	5+j12	10	20	-j10	-j20	5	-j10	8+j6	20

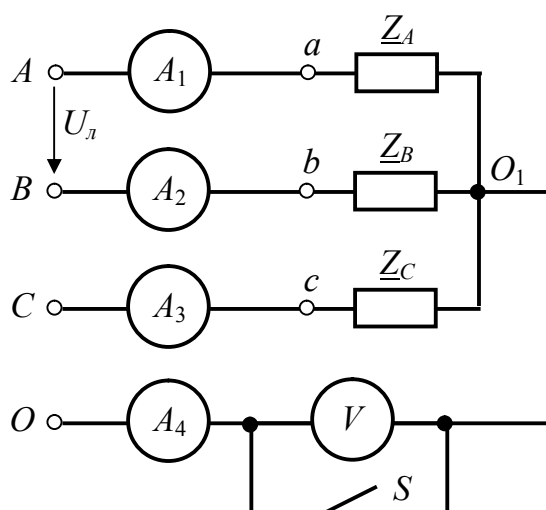


Рис. 5

**ЗАДАЧА 6.** Трехфазный приемник, соединенный треугольником, питается от симметричного генератора с линейным напряжением  $U_L$  (рис. 6). Сопротивления фаз приемника  $\underline{Z}_{ab}$ ,  $\underline{Z}_{bc}$ ,  $\underline{Z}_{ca}$  и напряжение  $U_L$  заданы в табл. 7.

Определить показания приборов и построить векторную диаграмму напряжений и токов.



Таблица 7

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_{Л}, В$	500	440	200	250	110	127	220	580	660	1140
Вторая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Z_{ab}, Ом$	-j10	8-j6	40	-j20	5-j12	25	3+j4	20	8+j6	6+j8
$Z_{bc}, Ом$	10	6+j8	j40	5+j12	5+j12	j20	10	5-j12	6-j8	10-j10
$Z_{ca}, Ом$	6+j8	20	-j20	13	13	12-j16	-j10	j20	10	-j20

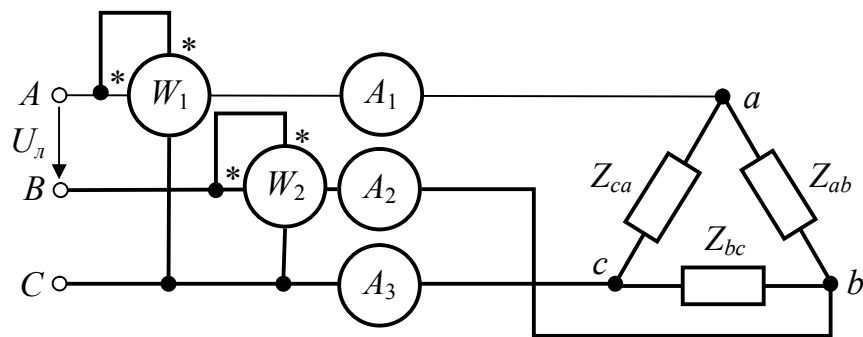


Рис. 6

Методические рекомендации по решению задач по теме «Трёхфазные цепи»  
 В качестве примеров взять задачи 4.14-4.16 [1], 4.13-4.15 [3, 4], 2.2.10 [5].

#### 4. ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКИ

**ЗАДАЧА 7.** Определить коэффициенты четырехполюсника рис. 7 в формах  $\underline{A}$ ,  $\underline{H}$  и  $\underline{Z}$ . Рассчитать параметры и вычертить Т- или П-образную схему замещения. Числовые значения параметров схемы четырехполюсника заданы в табл. 8.

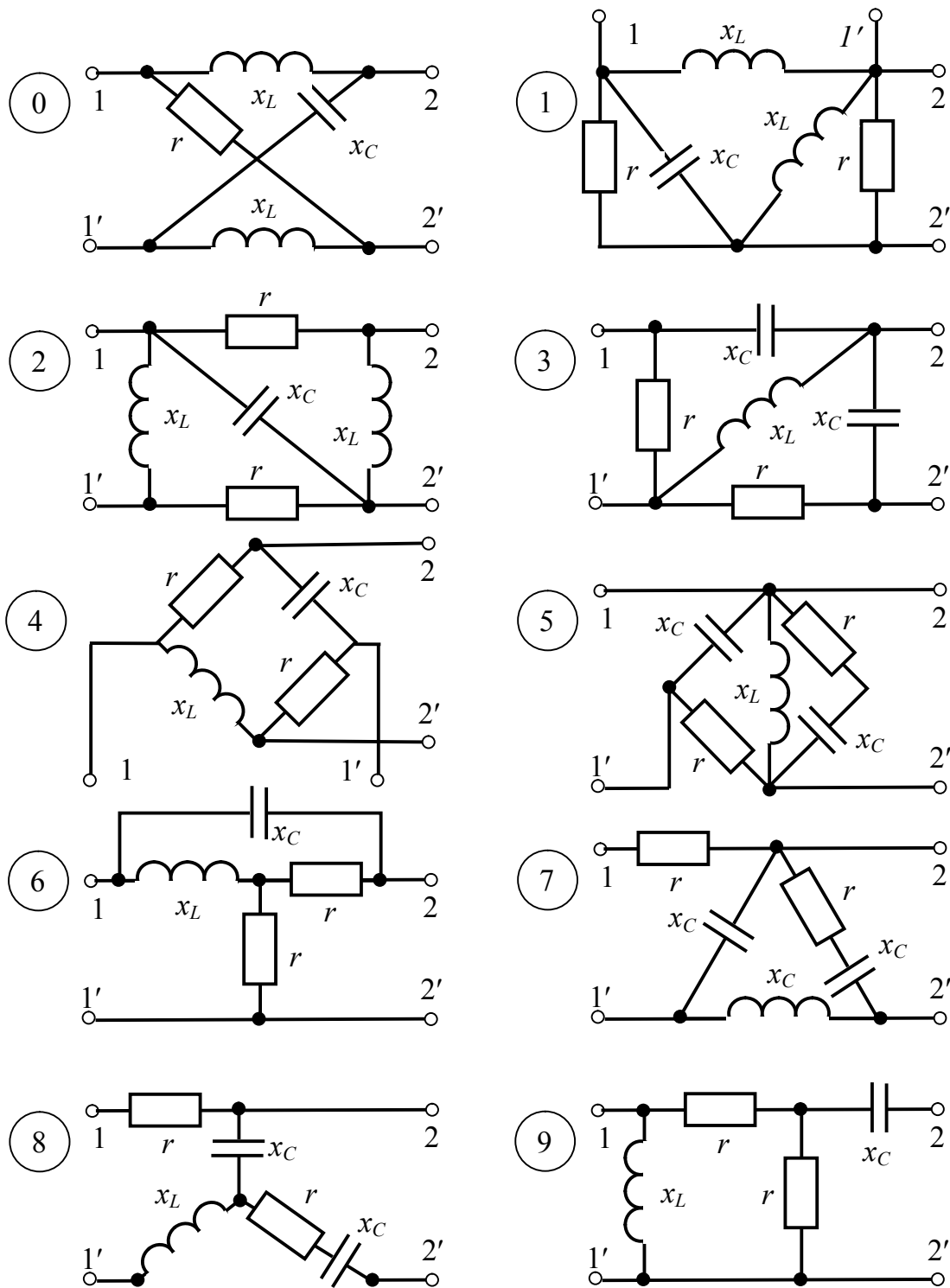


Рис. 7

Таблица 8

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$r$ , Ом	10	20	30	40	50	60	50	40	30	20
$x_L$ , Ом	60	20	70	30	50	10	40	80	90	15
$x_C$ , Ом	10	60	10	80	20	70	90	25	30	70
Схема замещ.	Т	П	Т	П	Т	П	Т	П	Т	П

Методические рекомендации по решению задач по теме «Четырёхполюсники»

В качестве примеров взять задачи 5.1-5.3, 5.8 [1], 5.1-5.3, 5.8 [3, 4], 2.2.14 [5].

## 5. ЦЕПИ НЕСИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

**ЗАДАЧА 8.** К зажимам цепи рис. 2 приложено напряжение  $u = U_0 + U_{1m} \sin(\omega t + \psi_1) + U_{3m} \sin(3\omega t + \psi_3)$ .

Рассчитать мгновенные и действующие значения токов во всех ветвях цепи, а также мгновенные значения напряжений  $u_{12}$  и  $u_{23}$ . Определить коэффициент мощности цепи. Построить график тока в неразветвленной части схемы в функции времени  $t$ , если основная частота тока  $f=50$  Гц.

Амплитуды и начальные фазы напряжений отдельных гармоник приведены в табл. 9, а параметры цепи – в табл. 2.

Таблица 9

Первая цифра варианта	$U_0, B$	$U_{1m}, B$	$U_{3m}, B$	$\psi_1, \text{град}$	$\psi_3, \text{град}$
0	60	$220\sqrt{2}$	$70\sqrt{2}$	-20	90
1	55	$200\sqrt{2}$	$65\sqrt{2}$	45	-90
2	50	$180\sqrt{2}$	$60\sqrt{2}$	-45	60
3	48	$160\sqrt{2}$	$50\sqrt{2}$	20	-60
4	40	$140\sqrt{2}$	$48\sqrt{2}$	60	-20
5	36	$127\sqrt{2}$	$40\sqrt{2}$	-60	20
6	32	$120\sqrt{2}$	$36\sqrt{2}$	15	-30
7	30	$110\sqrt{2}$	$32\sqrt{2}$	-15	30
8	24	$100\sqrt{2}$	$30\sqrt{2}$	30	-100
9	20	$127\sqrt{2}$	$25\sqrt{2}$	-30	100

**ЗАДАЧА 9.** Фазное напряжение фазы  $A$  симметричного трехфазного генератора, обмотки которого соединены в звезду, изменяется по закону  $u_A = U_{1m} \sin(\omega t + \psi_1) + U_{3m} \sin(3\omega t + \psi_3)$ .

Нагрузка, соединенная в звезду (рис. 8), несимметрична. Определить показания приборов электромагнитной систем при: 1) нулевой провод включен; 2) нулевой провод выключен. Для первого случая построить график линейного тока  $i_A$  в функции времени  $t$ .

Амплитуды и начальные фазы напряжений отдельных гармоник, а также комплексы сопротивлений приемника для основной гармоники приведены в табл. 10.

Таблица 10

Первая цифра варианта	$U_{1m}, B$	$\psi_1, \text{град}$	$U_{3m}, B$	$\psi_3, \text{град}$	Вторая цифра варианта	$\underline{Z}_a = \underline{Z}_b, \text{Ом}$	$\underline{Z}_c, \text{Ом}$
0	$220\sqrt{2}$	15	110	-90	0	$12+j5$	$-j10$
1	300	-15	$100\sqrt{2}$	90	1	$4-j27$	$j10$
2	$127\sqrt{2}$	30	100	-60	2	$6+j9$	$3-j4$
3	200	-30	$80\sqrt{2}$	60	3	$6-j8$	$j5$
4	$200\sqrt{2}$	45	90	-30	4	$-j12$	$8+j6$
5	250	-45	$70\sqrt{2}$	30	5	$5-j12$	$j6$
6	$110\sqrt{2}$	60	80	-45	6	$4+j3$	$6-j27$
7	150	-60	$60\sqrt{2}$	45	7	$-j15$	$9+j5$
8	$150\sqrt{2}$	90	70	-15	8	$8+j8$	$-j18$
9	220	-90	$50\sqrt{2}$	15	9	$j10$	$5-j12$

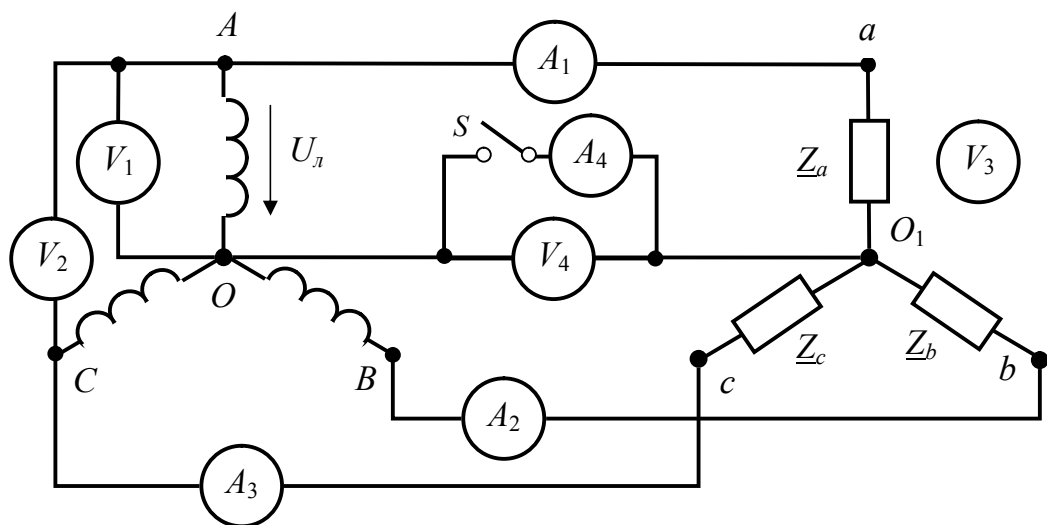


Рис. 8

Методические рекомендации по решению задач по теме «Цепи несинусоидального тока»

В качестве примеров взять задачи 6.13, 6.14, 6.16 [2], 6.13, 6.14, 6.16 [3, 4], 2.3.2 [5].

## 6. ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ С СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

**ЗАДАЧА 10.** Классическим методом рассчитать токи переходного процесса в цепи постоянного тока, изображенной на рис. 9. Параметры элементов приведены в табл. 11. Построить графики токов.

Таблица 11

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U, В$	110	220	300	380	500	660	110	400	380	220
$r, Ом$	20	30	55	60	80	100	25	40	65	120
$L, Гн$	0,1	0,4	0,2	0,5	0,3	0,6	0,8	0,9	1,0	0,7
$C, мкФ$	40	100	50	80	150	70	20	125	200	60

**ЗАДАЧА 11.** Решить задачу 10 операторным методом.

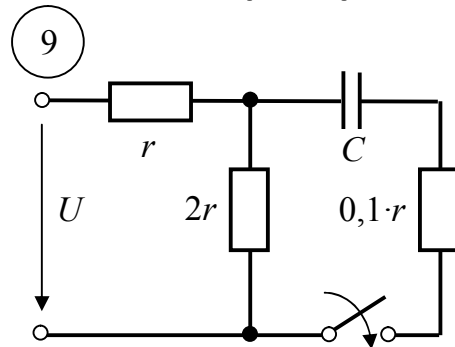
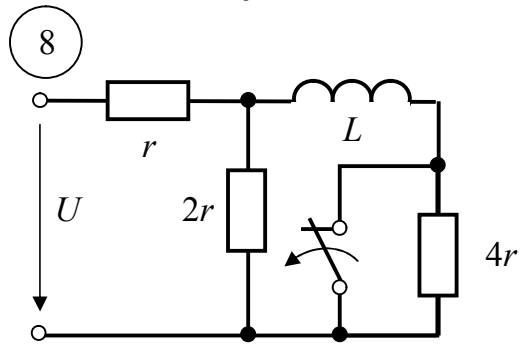
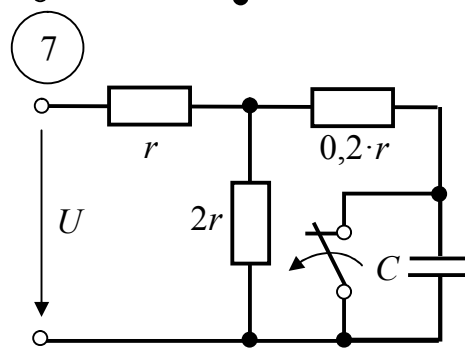
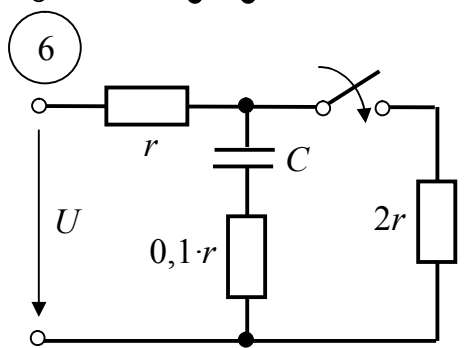
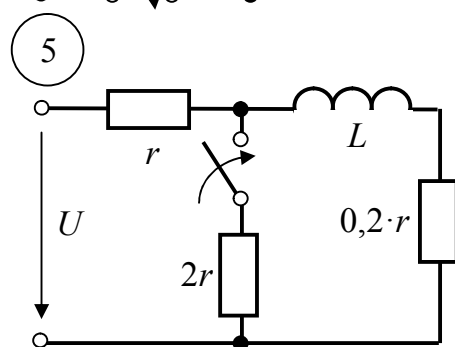
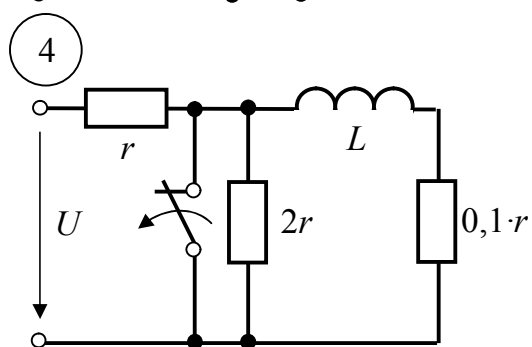
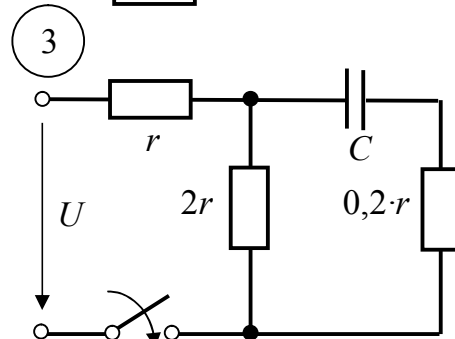
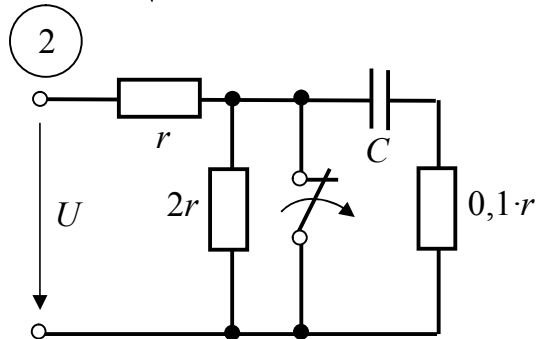
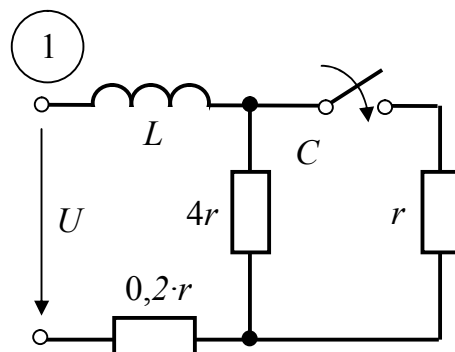
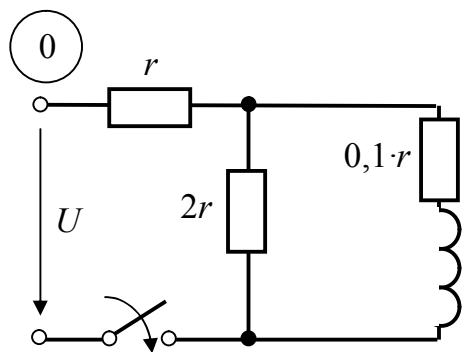
**ЗАДАЧА 12.** Классическим методом рассчитать токи переходного процесса и напряжения на реактивном элементе в цепи (рис. 9), полагая  $u_{\square}(t) = U_m \cdot \sin(\omega t + \psi_u)$ . Построить график тока, имеющего наибольшую величину свободной составляющей. Действующее значение напряжения источника и его начальная фаза приведены в табл. 12, а параметры остальных элементов – в табл. 13.

Таблица 12

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U, В$	660	127	1140	220	127	220	380	660	1140	220
$\psi_u, град$	0	30	90	-90	-30	60	-60	180	120	45

Методические рекомендации по решению задач по теме «Переходные процессы в электрических цепях с сосредоточенными параметрами»

В качестве примеров взять задачи 7.1, 7.9, 7.10, 7.15, 7.46, 7.47 [2], 7.1, 7.9, 7.10, 7.15, 7.16, 7.46-7.48 [3, 4], 2.4.1, 2.4.2 [5].



*Puc. 9*

## 7. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ С РАСПРЕДЕЛЁННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

**ЗАДАЧА 13.** Трёхфазная линия электропередачи промышленной частоты 50 Гц работает на симметричную нагрузку, соединённую в звезду. Известные параметры линии и нагрузки приведены в табл. 13.

Таблица 13

Первая цифра варианта	Характеристики режима работы линии							
	$U_{1л},$ кВ	$P_1,$ МВт	$\cos\varphi_1$	$U_{2л},$ кВ	$I_2,$ А	$P_2,$ МВт	$Z_n, Ом$	$\cos\varphi_2$
0	--	--	--	35	--	9	--	0,90
1	220	75	0,90	--	--	--	--	--
2	--	--	--	--	210	--	168∠-18,2°	--
3	--	--	--	110	--	30	--	0,86
4	--	--	--	--	245	--	450∠-25.84°	--
5	220	90	0,87	--	--	--	--	--
6	--	--	--	--	168	9	--	0,88
7	110	36	0,92	--	--	--	--	--
8	--	--	--	220	--	90	--	0,88
9	--	--	--	--	257	45	--	0,92

Примечание. Значения  $\cos\varphi_2$  заданы при  $\varphi_2 > 0$ , а значения  $\cos\varphi_1$  при  $\varphi_1 < 0$ .

Продолжение таблицы 13

Вторая цифра варианта	Параметры линии					ЛБИ	ЛБП
	$l,$ км	$r_0,$ Ом/км	$g_0 \cdot 10^6,$ См/км	$L_0,$ мГн/км	$C_0,$ нФ/км	Корректир параметр	Нагрузка, режим работы
0	75	0,27	0,01	1,40	8,90	$L_0$	1 мкГн
1	80	0,21	0,01	1,38	9,10	$r_0$	ХХ
4	100	0,105	0,01	1,31	9,79	$C_0$	КЗ
5	50	0,33	0,20	0,382	287	$L_0$	1,6 мкГн
7	60	0,26	0,22	0,382	290	$L_0$	КЗ
8	80	0,17	0,30	0,382	296	$C_0$	0,002 мкФ

Окончание таблицы 13

Вторая цифра варианта	Параметры линии					ЛБИ	ЛБП
	$l,$ км	$Z_C,$ Ом	$\gamma,$ 1/км	$Z_x,$ Ом	$Z_k,$ Ом	Корректир параметр	Нагрузка, ре- жим работы
2	100	--	--	4211∠ -89,74°	34,42∠ 66,6°	$r_0$	ХХ
3	100	370∠ -9,3°	$1,04 \cdot 10^{-3}$ ∠ 80,5°	--	--	$L_0$	0,001 мкФ
6	80	--	--	178 ∠ -88,5°	14,6 ∠ 28,65°	$r_0$	ХХ
9	80	42,6 ∠ -23,6°	$4,172 \cdot 10^{-3}$ ∠ 66,1°	--	--	$L_0$	1 мкГн



Требуется:

1. Определить недостающие первичные и вторичные параметры линии, длину волны  $\lambda$  и фазовую скорость  $v_\phi$  её распространения в линии.

2. Рассчитать полную характеристику режима работы линии, т.е. найти  $U_1, I_1, P_1, U_2, I_2, P_2$ , КПД линии, оценить согласованность нагрузки с линией.

3. Рассчитать величину регулируемого параметра линии, указанного в таблице вариантов, чтобы при найденных ранее трёх остальных первичных параметрах линия стала бы неискажающей (ЛБИ).

4. Принять параметры  $r_0$  и  $g_0$  равными нулю, а частоту  $f = 2,5 \text{ кГц}$ . Для полученной таким образом линии без потерь (ЛБП) определить её вторичные параметры и длину волны. С учётом нагрузки или режима работы, указанных в последнем столбце табл. 13, построить график входного сопротивления  $Z_{ex}(y)$  в функции расстояния от её конца. При построении графика координату “ $y$ ” удобно задавать в долях от длины волны, а напряжение  $U_2$  или ток  $I_2$  условно принять равным единице.

**ЗАДАЧА 14.** По воздушной линии (рис. 10) с параметрами  $Z_{C1}, l_1, v_1$  распространяется падающая волна  $u_{над}$  с прямоугольным фронтом, переходя затем через корректирующие элементы в кабель с параметрами  $Z_{C2}, v_2, l_2 = 0.5l_1$ , конец которого разомкнут. Требуется:

- построить графики изменения тока  $i_2(t)$  и напряжения  $u_2(t)$  в сечении “2-2” в функции времени;

- построить графики распределения вдоль линий результирующего напряжения и тока для момента времени  $t_\phi = 0.5l_2/v_2$ , считая с момента прихода первой волны в сечение “2-2”.

Параметры всех элементов приведены в табл. 14. Из  $L, r, C$  - элементов, указанных в табл. 14, использовать те, которые имеются в вашем варианте схемы.

Таблица 14

Первая цифра варианта	$u_{над}, \text{кВ}$	$l, \text{км}$	$Z_{C1}, \text{Ом}$	$Z_{C2}, \text{Ом}$	$r, \text{Ом}$	$L, \text{мГн}$	$C, \text{мкФ}$
0	200	150	280	50	200	40	0,8
1	220	120	210	44	240	30	1,0
2	127	120	180	40	250	20	0,8
3	120	105	240	60	280	35	0,75
4	220	120	220	55	240	25	0,5
5	127	90	250	48	200	28	0,4
6	130	105	300	75	225	32	0,5
7	220	150	300	60	280	50	0,75
8	380	180	280	75	320	40	0,6
9	130	90	200	56	180	15	0,8

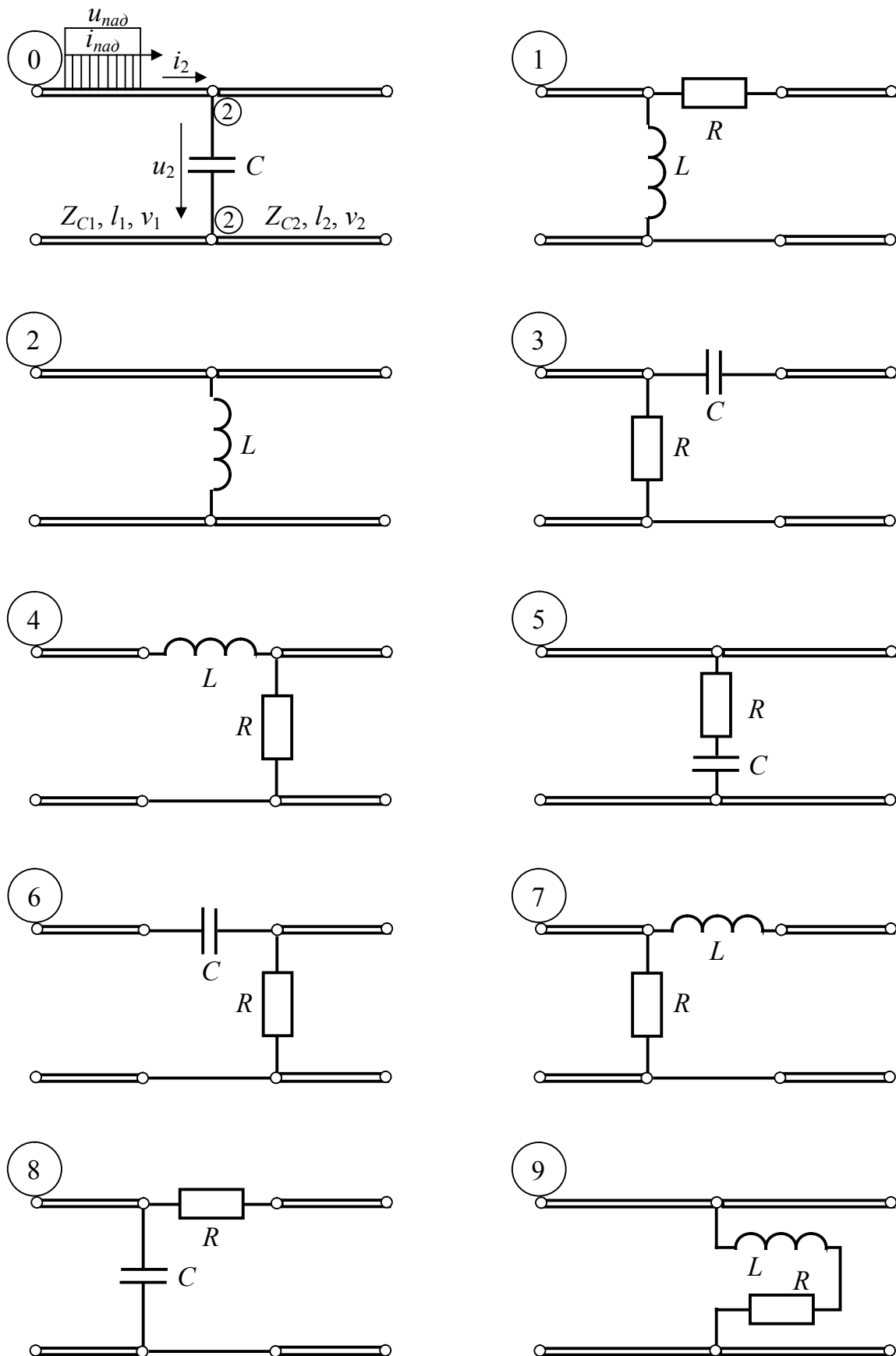


Рис. 10

Методические рекомендации по решению задач по теме «Электрические цепи с распределёнными параметрами»

В качестве примеров взять задачи 8.3, 8.7, 8.27, 8.45-8.47 [2], 8.1, 8.3, 8.7, 8.27, 8.45-8.47 [3, 4], 2.4.8 [2].

## 8. НЕЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

**ЗАДАЧА 15.** В схеме с нелинейными элементами (рис. 11) действуют источники постоянного напряжения. Параметры линейных элементов схемы приведены в табл. 15, вольтамперные характеристики нелинейных элементов заданы табл. 16 и 17.

Рассчитать токи всех ветвей схемы и проверить баланс мощностей электрической цепи.

Таблица 15

Первая цифра варианта	$E_1, В$	$E_2, В$	$J, А$	$r_1, Ом$	$r_2, Ом$	$r_3, Ом$	$r_4, Ом$
0	100	60	0,8	20	20	40	80
1	120	50	1,0	20	20	80	70
2	130	40	1,2	80	70	10	70
3	140	70	1,0	60	100	40	60
4	120	80	0,8	20	30	50	50
5	100	50	1,0	90	10	80	30
6	140	60	1,2	10	40	90	40
7	150	80	0,8	30	20	90	70
8	100	40	1,0	20	300	100	40
9	100	50	1,2	50	40	60	90

Таблица 16

$\pm U_{нэ1}, В$	0	20	40	60	80	100	110	120
$\pm I_{нэ1}, А$	0	0,1	0,25	0,5	1	1,75	2,5	3,4

Таблица 17

$\pm U_{нэ2}, В$	0	10	30	50	90	140
$\pm I_{нэ2}, А$	0	0,1	0,25	0,5	1	1,75

**ЗАДАЧА 16.** Требуется рассчитать магнитные потоки  $\Phi_i$ , индукции  $B_i$  и напряженности  $H_i$  магнитного поля каждого участка разветвленной магнитной цепи постоянного тока, приведенной на рис. 12. В табл. 18 приведены численные значения, характеризующие магнитную цепь и намагничивающие силы:  $l_i$ - длина средней линии участка магнитопровода,  $S_i$ - сечение магнитопровода,  $I_i W_i$ -ампервитки катушек.

Длины воздушных зазоров указаны на соответствующих рисунках. Кривая намагничивания материала приведена в табл. 18.

Примечание. В схемах 2, 4, 5 также необходимо рассчитать намагничивающую силу  $I_3 W_3$ .

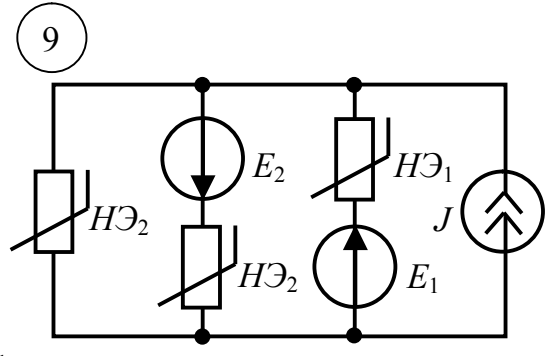
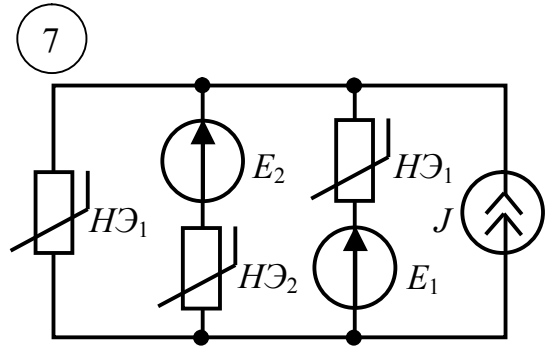
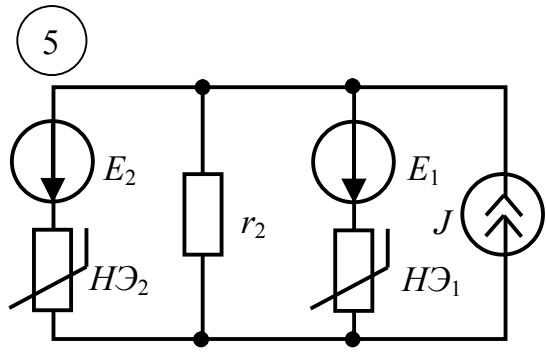
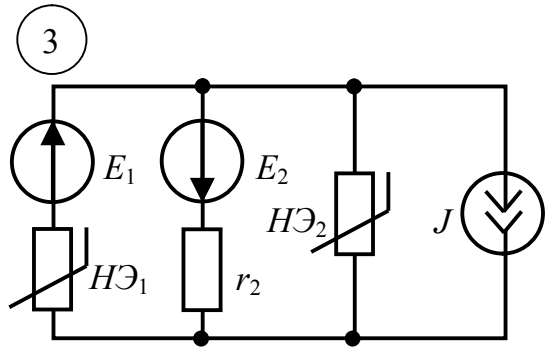
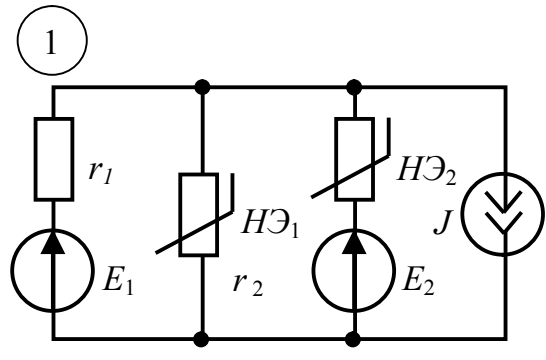
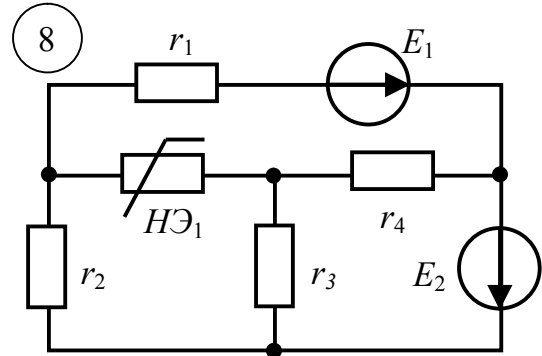
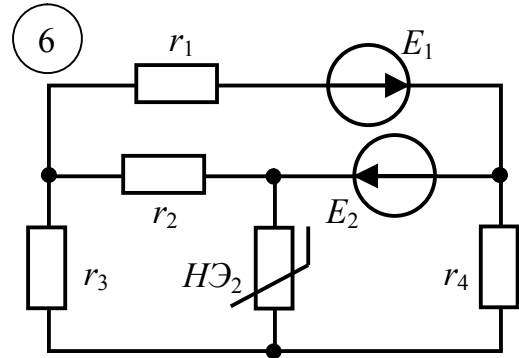
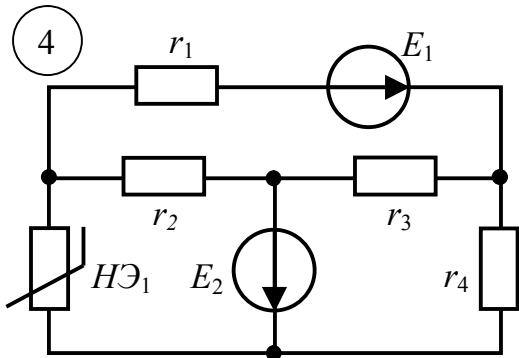
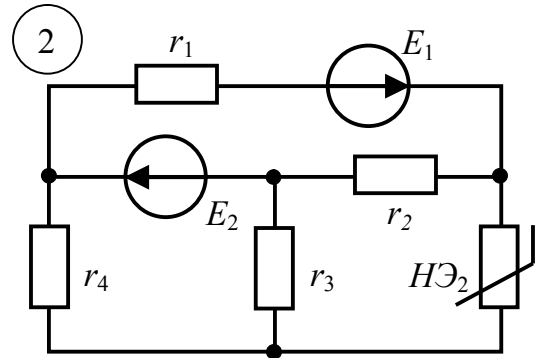
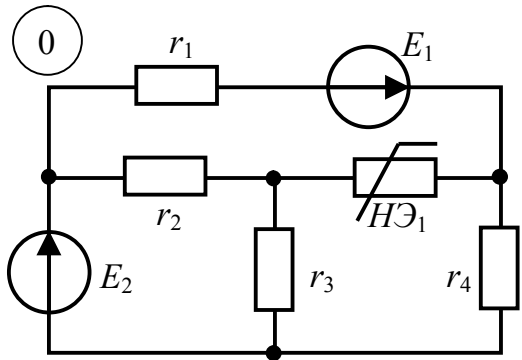


Рис. 11

Таблица 18

Первая цифра варианта	$l_1,$ □□	$S_1,$ □□ <sup>2</sup>	$I_1W_1,$ $A$	$l_2,$ □□	$S_2,$ □□ <sup>2</sup>	$I_2W_2,$ $A$	$l_3,$ □□	$S_3,$ □□ <sup>2</sup>
0	20	4	450	12	6	350	30	3,5
1	80	5,7	200	25	4	300	80	9,5
2	20	4	40	10	8	60	30	5,6
3	45	15	300	22	10	200	40	15
4	40	3	60	12	5	100	40	8
5	25	5	100	15	5	150	32	10
6	100	6	220	33	4	180	10	10
7	32	14	400	25	10	300	40	15
8	35	3	80	10	4	120	45	8
9	90	6	250	30	4	180	85	10

Таблица 19

Кривая намагничивания стали Э1512

$B, Тл$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7
$H, А/м$	25	50	75	96	102	114	129	148	168	192
$B, Тл$	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0	1,05	1,1	1,15	1,2
$H, А/м$	220	254	289	325	367	414	470	538	625	730
$B, Тл$	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45	1,5	1,55	1,6	1,65	1,7
$H, А/м$	870	1080	1410	1940	2700	3850	500	6700	9300	13000
$B, Тл$	1,75	1,8								
$H, А/м$	18000	23000								

Методические рекомендации по решению задач по теме «Нелинейные цепи  
постоянного тока»

В качестве примеров взять задачи 2.7, 2.10, 2.29, 2.30 [1], 9.8, 9.11, 9.30, 9.31 [3, 4], 2.5.1, 2.5.4 [5].

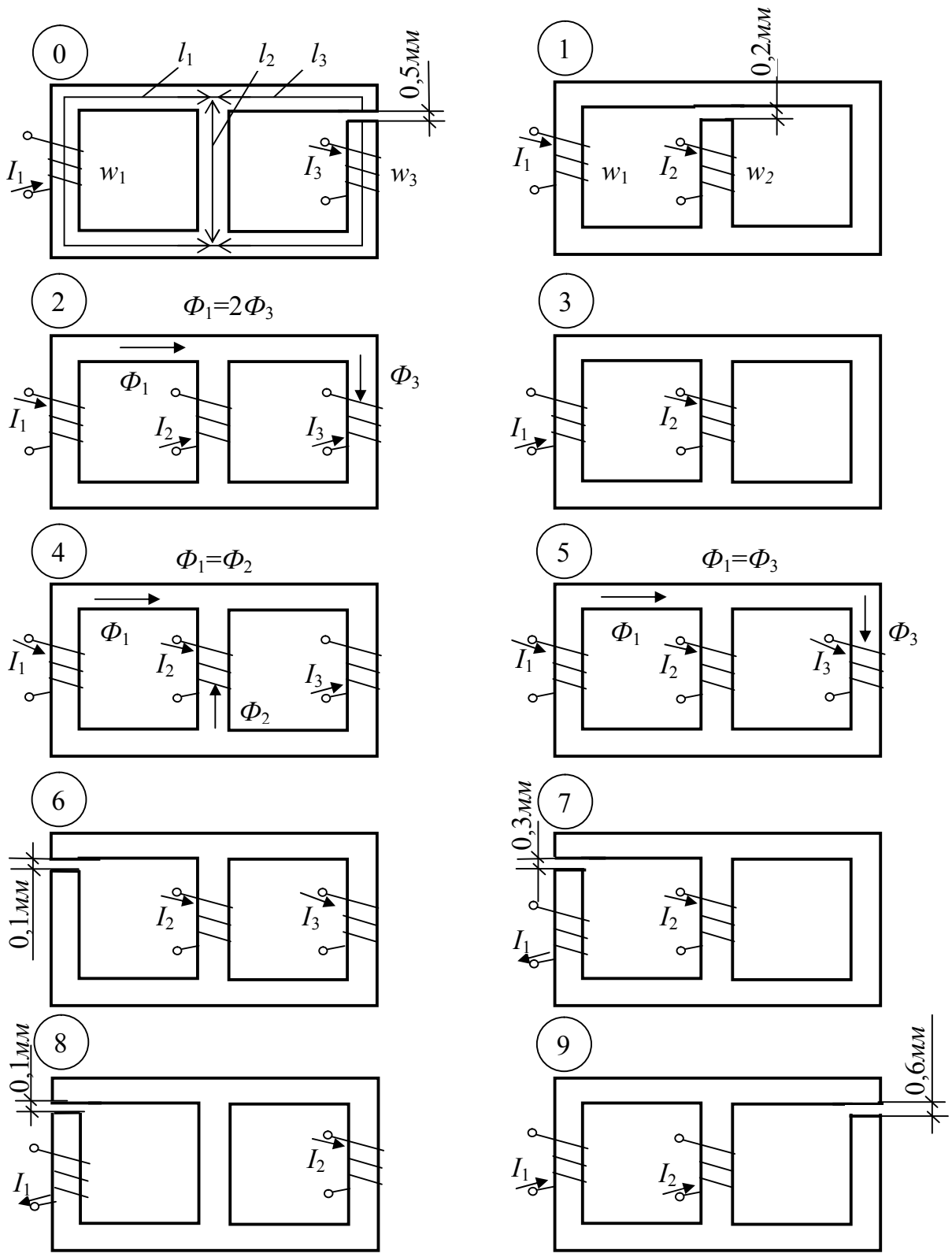


Рис. 12

## 9. НЕЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

**ЗАДАЧА 17.** По данным табл. 20 для схемы электрической цепи рис. 13 с активными сопротивлениями, а также источниками синусоидального напряжения  $u(t) = U_m \sin(\omega t)$  и постоянного напряжения  $E_0$ , рассчитать мгновенное и действующее значение тока источника синусоидального напряжения, а также среднее значение тока диода и его максимальное обратное напряжение, считая диод идеальным. Построить кривую тока источника синусоидального напряжения.

Таблица 20

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_m, B$	240	200	300	150	180	220	260	360	330	280
$E_0, B$	100	80	110	90	95	125	130	125	150	120
$r, Ом$	60	65	110	50	55	75	70	100	90	80

**ЗАДАЧА 18.** Обмотка катушки с сердечником из электротехнической стали (кривая намагничивания приведена в табл. 19) состоит из  $w$  витков, сечение сердечника  $S$ , длина средней линии магнитопровода  $l$ , длина воздушного зазора  $l_g = 0,3$  мм.

Активное сопротивление обмотки  $r_m$ , реактивное сопротивление рассеяния  $x_s$ . Указанные параметры в зависимости от варианта приведены в табл. 20. К катушке приложено синусоидальное напряжение частотой  $f = 50$  Гц, действующее значение которого  $U$ .

Рассчитать ток катушки, активную и реактивную мощности. Построить векторную диаграмму катушки. Привести последовательную и смешанную схемы замещения катушки, рассчитать параметры этих схем замещения.

Таблица 21

Первая цифра варианта	$U, B$	$w$	$S, см^2$	Вторая цифра варианта	$l, см$	$r_m, Ом$	$x_s, Ом$
0	127	180	23	0	78	4	10
1	220	280	23	1	85	6	12
2	380	600	20	2	128	3	9
3	660	900	25	3	90	5	12
4	127	270	15	4	80	7	15
5	220	350	24	5	80	4	8
6	380	500	25	6	84	6	13
7	660	1000	22	7	95	7	15
8	127	240	18	8	100	5	14
9	220	300	24	9	95	4	12

**У к а з а н и е.** При решении задачи можно воспользоваться кривыми удельных потерь мощности в стали сердечника  $P_0(B_m)$  и удельной реактивной мощности намагничивания сердечника  $Q_0(B_m)$ , приведенными на рис. 14,а, а



также кривой поправочных коэффициентов  $\xi (B_m)$  (рис. 14,б), позволяющей рассчитать действующее значение несинусоидального тока  $I$  катушки через его

максимальное значение  $I_{\max}$ : 
$$I = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2} \cdot \xi}.$$

Методические рекомендации по решению задач по теме «Нелинейные цепи переменного тока»

Задача 17 на тему «применение метода кусочно-линейной аппроксимации при расчёте цепей с вентилями». В качестве примеров взять задачи 9.25 [2], 9.58 [3, 4], 2.5.11 [5].

Задача 18 на тему «расчёт реальной катушки с ферромагнитным сердечником». В качестве примеров взять задачи 9.70 [3, 4], 2.5.10 [5].

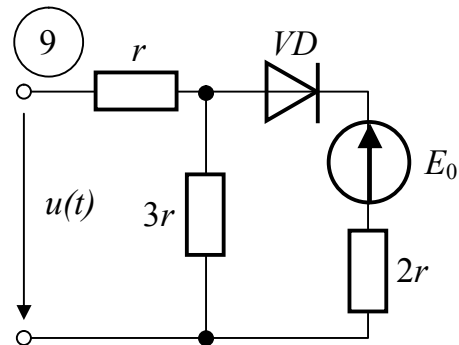
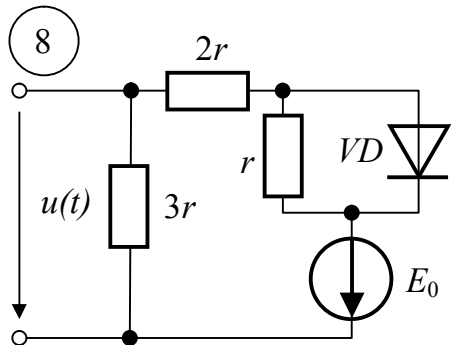
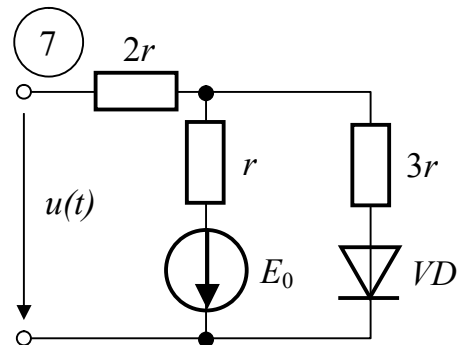
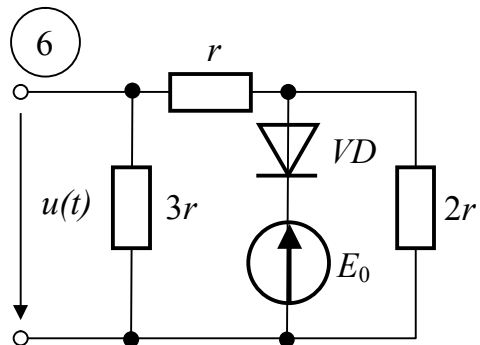
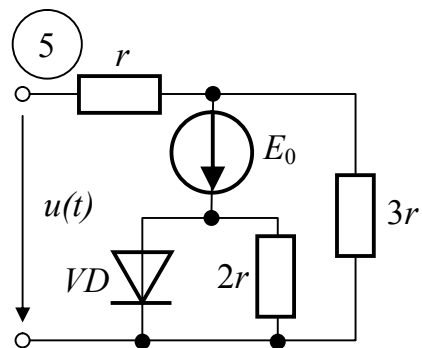
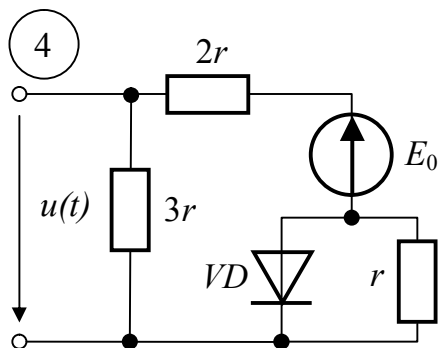
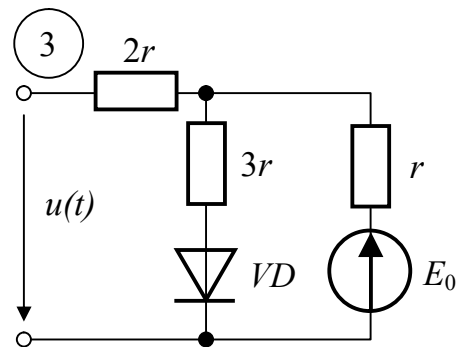
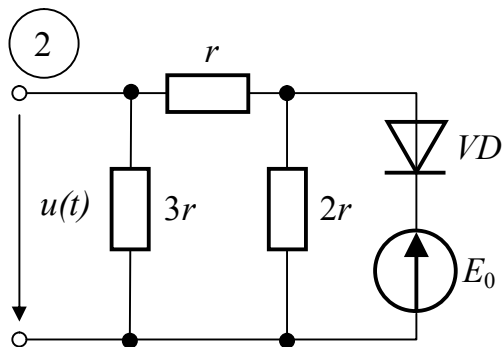
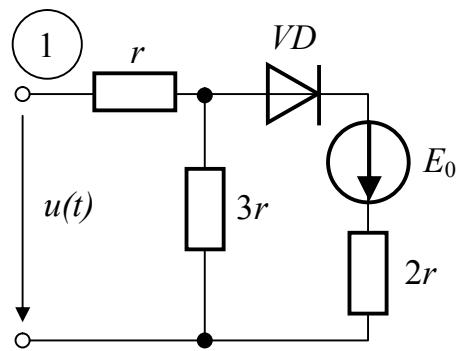
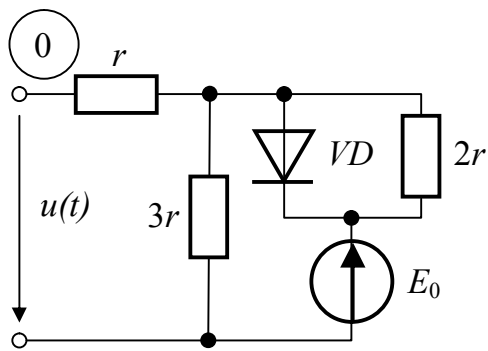


Рис. 13

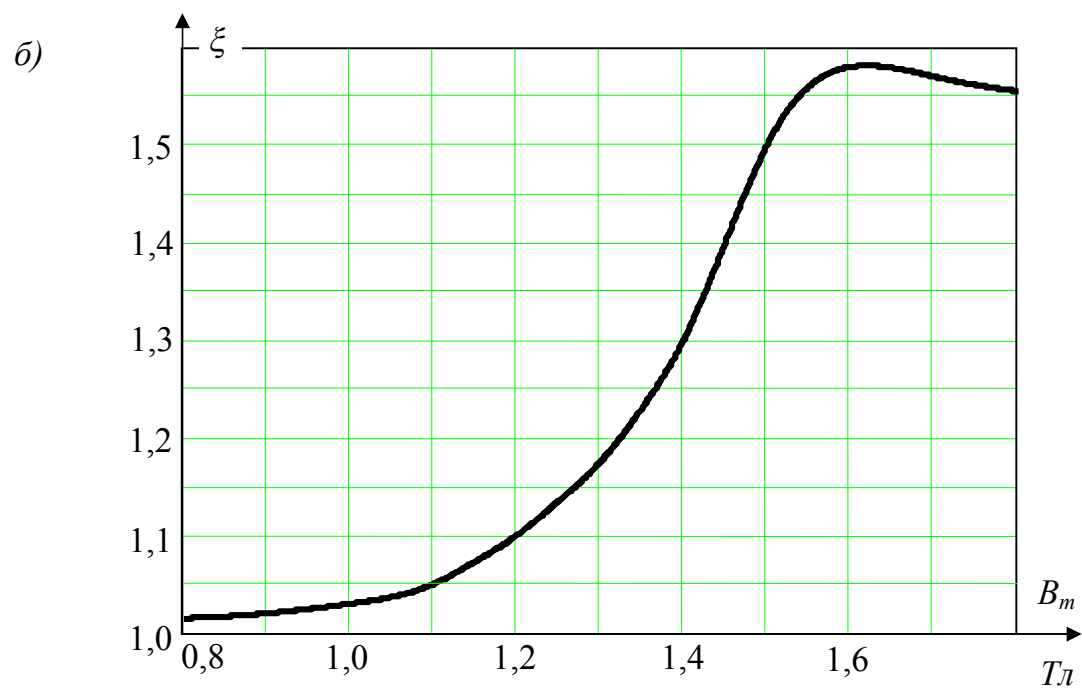
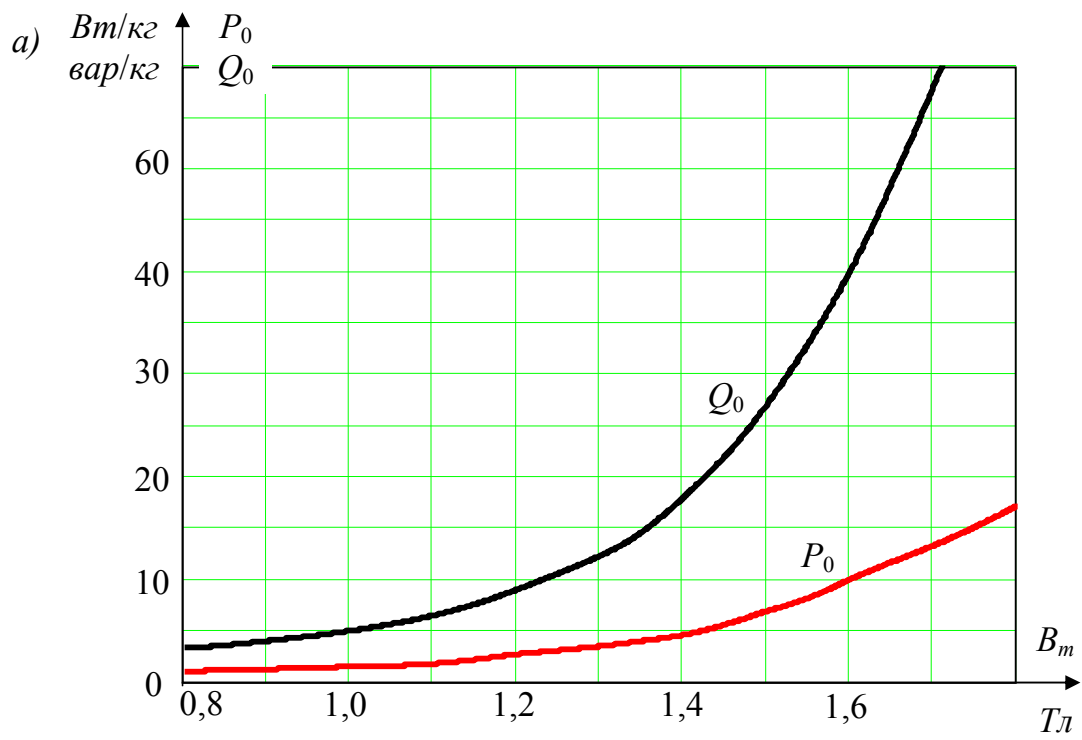


Рис. 14

## Список литературы

1. Методическое пособие по решению задач по теоретической электротехнике [Электронный ресурс]. Ч. 1 / ДонНТУ, Каф. электромеханики и ТОЭ ; сост.: А. В. Корощенко [и др.] // Электронный архив Донец. нац. техн. ун-та (г. Донецк). – Электрон. дан. - Донецк, 2007. – Режим доступа: <http://ea.donntu.org/handle/123456789/5558>. – Загл. с экрана.
2. Методическое пособие по решению задач по теоретической электротехнике [Электронный ресурс]. Ч. 2 / ДонНТУ, Каф. электромеханики и ТОЭ ; сост.: А. В. Корощенко [и др.] // Электронный архив Донец. нац. техн. ун-та (г. Донецк). – Электрон. дан. - Донецк, 2008. – Режим доступа: <http://ea.donntu.org:8080/jspui/handle/123456789/5623>. – Загл. с экрана.
3. Корощенко, А. В. Теоретичні основи електротехніки : зб. задач : навч. посіб. для ВТНЗ / О. В. Корощенко [та ін.] ; за заг. ред. О. В. Корощенко ; ГВУЗ "ДонНТУ". - Донецьк : ГВУЗ "ДонНТУ", 2012. – 673 с.
4. Теоретичні основи електротехніки [Електронний ресурс] : зб. задач : навч. посіб. / О. В. Корощенко [та ін.] ; за заг. ред. О. В. Корощенко // Электронный архив Донец. нац. техн. ун-та (г. Донецк). – Электрон. дан. – Донецк, 2012. – Режим доступа: <http://ea.donntu.org/handle/123456789/28706>. – Загл. с экрана.
5. Теоретические основы электротехники. Применение современных вычислительных средств [Электронный ресурс] : учеб. пособие для вузов / А. В. Корощенко [и др.] ; ГВУЗ "ДонНТУ", Каф. электромеханики и ТОЭ. – Электрон. дан. (1 файл: 3 Мб). - Донецк : ГВУЗ "ДонНТУ", 2016. - Систем. требования: Acrobat Reader.