

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна»**
Высшая школа технологии и энергетики
Кафедра автоматизированного электропривода и электротехники

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Методические указания по выполнению контрольных работ
для студентов заочной формы обучения
по направлению подготовки:
13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника

Составитель:
А. М. Оробинский

Санкт-Петербург
2023

Утверждено
на заседании кафедры АЭиЭ
10.02.2023 г., протокол №1

Рецензент В. И. Королёв

Методические указания соответствуют программам и учебным планам дисциплины «Теоретические основы электротехники» (ТОЭ) для студентов, обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника».

В пособии рассматривается содержание семестровых контрольных работ, методика решения типовых задач, а также особенности оформления решения.

Методические указания предназначены для бакалавров заочной формы обучения.

Утверждено Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД в
качестве методических указаний

**Высшая школа технологии и энергетики СПб ГУПТД
198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.**

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ СЕМЕСТРОВЫХ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ ПО ТОЭ.....	4
2. СОДЕРЖАНИЕ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ ПО ТОЭ.....	5
2.1. Контрольная работа за осенний семестр.....	5
2.2. Контрольная работа за весенний семестр.....	12
3. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ОСНОВНЫХ ЭТАПОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ.....	17
3.1. Составление схем замещения.....	17
3.2. Требования к записи решения задач.....	22
3.3. Вычерчивание графиков и диаграмм.....	23
3.4 Проверка решения задачи.....	24
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	26
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	27

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ СЕМЕСТРОВЫХ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ ПО ТОЭ

В соответствии с рабочей учебной программой дисциплины (РПД) ТОЭ в каждом семестре для студентов заочной формы обучения используется форма текущего контроля успеваемости - контрольная работа (КР). Тематика задач КР соответствует содержанию дисциплины ТОЭ в соответствующем семестре обучения. Выписка из РПД ТОЭ приведена в приложении 1.

Положительная оценка по КР в соответствии с РПД является необходимым условием для допуска студента к промежуточной аттестации по дисциплине (зачету или экзамену).

Сроки выполнения семестровой КР определяются ведущим преподавателем и доводятся до студентов не позднее начала семестра, при этом крайний срок сдачи КР - не позднее пяти рабочих дней до зачета (экзамена).

Решение задач контрольной работы выполняется письменно на листах формата А4. Порядок оформления титульного листа решения контрольных работ приведен в приложении 2.

Фото (скан) решения отправляются на проверку преподавателю по электронной почте. Допускается две попытки (одна работа над ошибками), при этом повторная сдача КР не позднее указанного выше крайнего срока.

Студенты, получившие в ответном письме информацию о положительной оценке КР, сдают решение преподавателю в бумажном виде до начала зачета (экзамена) по дисциплине ТОЭ.

Каждая контрольная работа включает в себя пять задач. Условие всех задач дано в разделе 2 настоящего методического пособия. Для индивидуализации обучения во всех задачах предусмотрены различные варианты схем и (или) числовых данных. При этом, как правило, при выдаче задания номер варианта соответствует номеру студента по списку учебной группы¹.

Особенности выполнения основных этапов решения задач и типовые ошибки рассмотрены в разделе 3.

Порядок оценки решения каждой задачи, а также контрольной работы в целом приведен в приложении 3.

¹. Если в количество студентов в группе больше 30, то 31-й по списку решает 1-й вариант и т.д.

2. СОДЕРЖАНИЕ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ ПО ТОЭ

2.1. Контрольная работа за осенний семестр

Задача 1. Для простой цепи, принципиальная электрическая схема которой изображена на рис. 2.1 (а – варианты 1–3, б – варианты 4–5, в – варианты 6–8, г – варианты 9–11, д – варианты 12–14, е – варианты 15–17, ж – варианты 18–20, з – варианты 21–22, и – варианты 23–24, к – варианты 25–26, л – варианты 27–28, м – варианты 29–30), заданы параметры элементов в табл.2.1. Определить ток через резистор, указанный в последнем столбце табл.2.1.

Указание: при расчете используется преобразование схемы и закон Ома в его различных формах. Использование законов Кирхгофа в данной задаче не допускается!

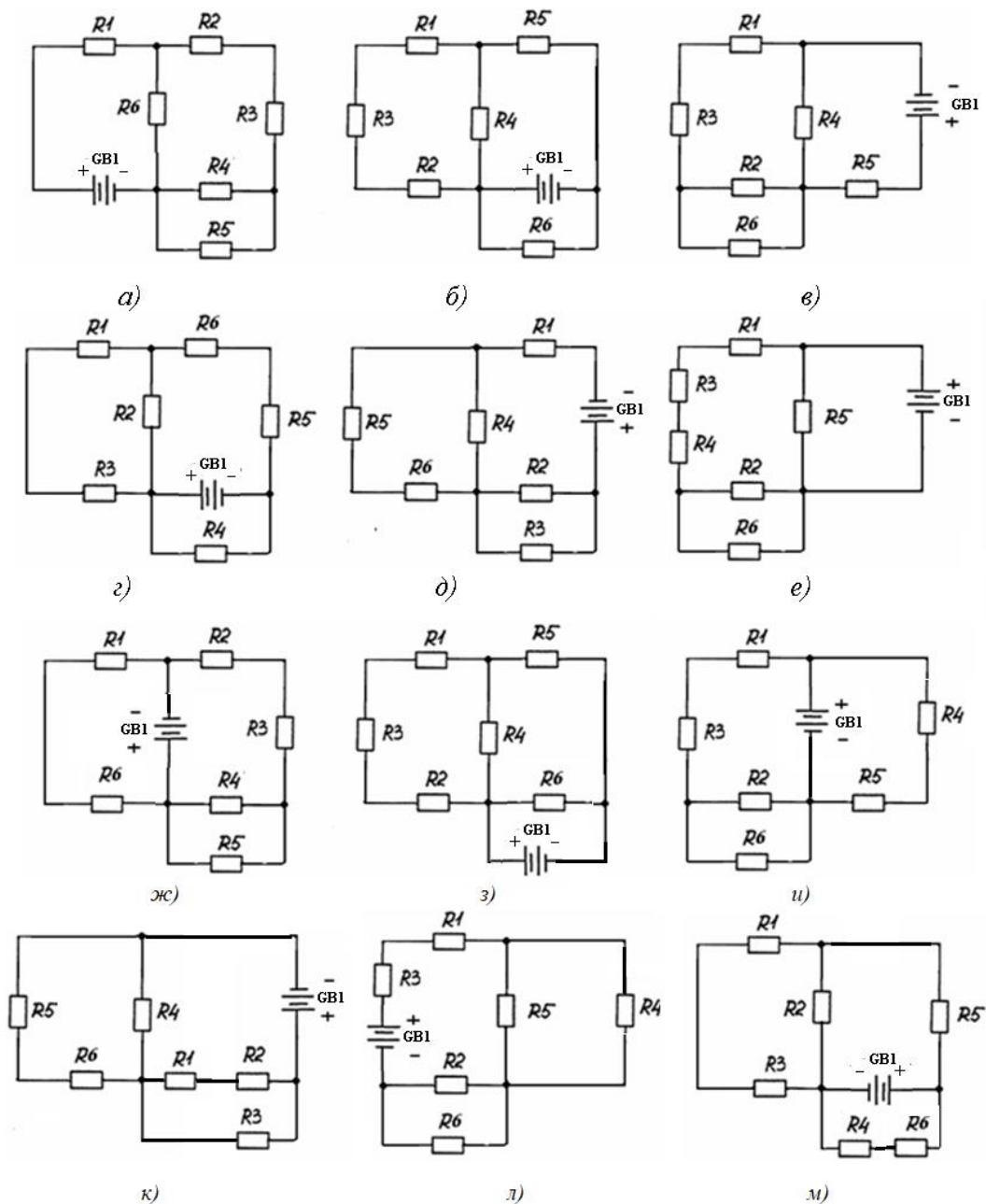


Рис. 2.1

Таблица 2.1 – Параметры элементов цепи (задача 1)

№ п/п	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	R_4 , Ом	R_5 , Ом	R_6 , Ом	E_{GB1} , В	R_{GB1} , Ом	Ток?
1	10	3	2	10	4	4	20	2	R2
2	20	6	8	20	4	8	80	4	R4
3	5	5	3	8	3	2	15	1	R5
4	30	10	4	14	7	3	80	3	R3
5	25	15	6	10	3	1	50	1	R2
6	14	6	5	12	5	2	60	4	R4
7	10	2	2	10	4	4	20	3	R5
8	20	4	8	20	8	4	80	1	R1
9	5	1	3	8	2	3	15	2	R2
10	30	3	3	14	4	7	80	1	R3
11	25	13	4	10	2	4	50	1	R1
12	14	5	7	12	3	2	60	1	R6
13	10	8	9	20	2	9	30	2	R2
14	6	3	2	16	10	4	36	1	R3
15	22	5	3	10	4	3	35	3	R1
16	15	6	6	14	6	2	60	2	R6
17	10	3	2	10	4	4	20	2	R2
18	20	6	8	20	4	8	80	4	R5
19	5	5	3	8	3	2	15	1	R3
20	30	10	4	14	7	3	80	3	R1
21	25	15	6	10	3	1	50	1	R2
22	14	6	5	12	5	2	60	4	R4
23	5	6	7	8	9	10	12	2	R5
24	50	10	40	14	70	35	8	3	R6
25	55	25	60	10	30	15	5	1	R5
26	54	26	50	12	50	25	6	4	R2
27	50	22	20	10	40	45	12	3	R4
28	40	24	80	20	80	45	8	1	R3
29	45	21	3	8	2	3	15	5	R6
30	42	22	12	20	4	4	45	1	R1

Задача 2. Для сложной цепи, принципиальная электрическая схема которой изображена на рис. 2.2 (а – варианты 1,2; б – варианты 3,4; в – варианты 5,6; г – варианты 7,8; д – варианты 9,10; е – варианты 11,12; ж – варианты 13,14; з – варианты 15,16; и – варианты 17–20; к – варианты 21–23, л – варианты 24–26, м – варианты 27–30) заданы параметры элементов в табл.2.2. Определить токи во всех ветвях методом контурных токов.

Примечание: при изображении схем ЭЦ не приняты кривые линии, поэтому иногда возникает проблема в правильном определении числа узлов и ветвей. Необходимо помнить, что если между точками на схеме нет резистора, то это один и тот же узел (при отсутствии сопротивления нет напряжения, а при отсутствии напряжения нет и тока).

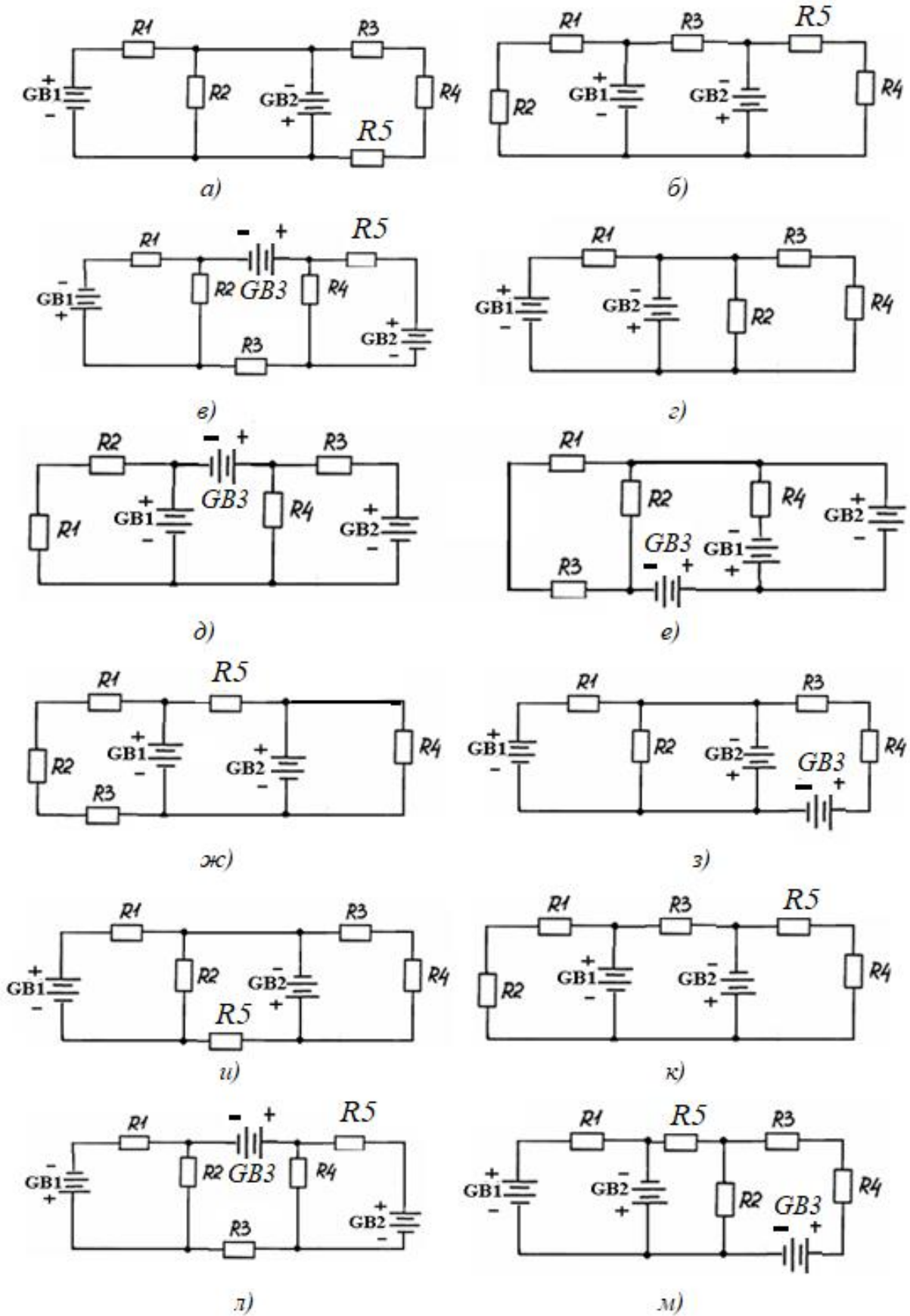


Рис. 2.2

Таблица 2.2 – Параметры элементов цепи (задача 2)

№ п/п	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	R_4 , Ом	R_5 , Ом	E_{GB1} , В	R_{GB1} , Ом	E_{GB2} , В	R_{GB2} , Ом	E_{GB3} , В	R_{GB3} , Ом
1	10	3	2	10	20	40	1	50	4	10	2
2	20	6	8	20	60	50	2	44	1	80	4
3	5	5	3	8	25	60	1	33	2	15	1
4	30	10	4	14	100	12	2	22	3	80	3
5	25	15	6	10	70	20	3	11	1	50	5
6	14	6	5	12	60	10	1	66	2	70	4
7	10	2	2	10	30	5	2	77	4	20	3
8	20	4	8	20	40	12	1	99	4	80	1
9	5	1	3	8	5	6	1	12	3	15	5
10	30	3	3	14	20	8	2	13	7	80	1
11	25	13	4	10	50	40	2	87	4	25	1
12	14	5	7	12	120	50	1	34	2	60	5
13	10	8	9	20	40	60	1	35	1	30	2
14	6	3	2	16	66	12	3	67	4	36	1
15	22	5	3	10	70	20	2	32	3	35	3
16	15	6	6	14	50	10	1	12	2	60	2
17	32	2	12	20	60	5	2	34	1	45	1
18	8	7	4	16	40	12	3	55	5	50	2
19	12	5	7	18	70	6	1	25	1	30	3
20	21	4	4	10	50	8	4	15	2	70	5
21	33	3	1	4	36	40	2	50	2	40	2
22	8	4	8	2	10	50	1	44	2	8	5
23	9	6	6	3	20	60	1	33	3	23	3
24	11	7	5	4	30	12	2	22	2	34	4
25	12	11	12	5	10	20	3	11	1	45	3
26	14	21	13	6	20	10	3	66	1	21	4
27	16	8	14	7	5	5	2	77	4	7	2
28	22	9	15	8	15	12	1	99	2	6	1
29	23	32	16	9	25	6	1	12	2	22	2
30	31	6	17	10	35	8	1	13	3	8	1

Задача 3. Решить задачу 2 методом наложения/методом эквивалентного генератора определить ток через резистор R_2 (четные/нечетные варианты).

Задача 4. Электрическая цепь, принципиальная схема которой показана на рис. 2.3 (а – варианты 1,2; б – варианты 3,4; в – варианты 5,6; г – варианты 7,8; д – варианты 9,10; е – варианты 11,12; ж – варианты 13–17; з – варианты 18–21; и – варианты 22–26; к – варианты 27–30), подключена к источнику синусоидального напряжения. В табл.2.3 указаны частота напряжения источника, параметры элементов, а также показания одного из измерительных приборов схемы.

Определить показания остальных приборов, активную, реактивную и полную мощности цепи. Сделать проверку методом векторных диаграмм.

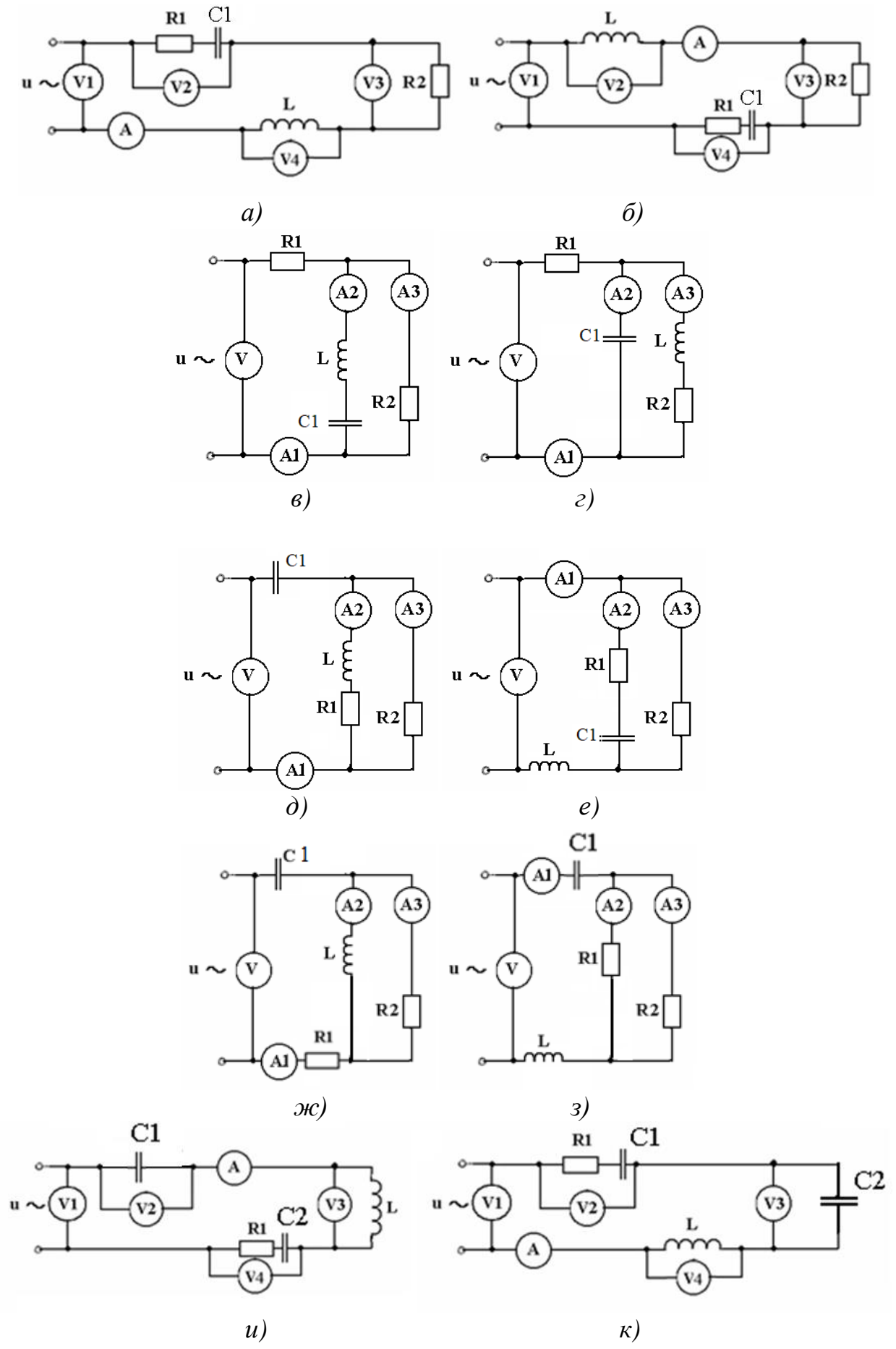


Рис. 2.3

Таблица 2.3 – Параметры элементов цепи (задача 4)

№ п/п	Показания прибора	f , Гц	C_1 , мкФ	C_2 , мкФ	L , мГн	R_L , Ом	R_1 , Ом	R_2 , Ом
1	V2: 100 В	60	10	100	50	1	30	30
2	V3: 200 В	40	20	200	40	1	40	20
3	V4: 500 В	30	30	300	30	1	20	40
4	V2: 50 В	100	40	400	20	2	40	40
5	V4: 10 В	80	50	500	10	2	50	30
6	V3: 300 В	90	10	100	50	1	30	50
7	A2: 10 А	70	20	200	40	1	60	20
8	A1: 5 А	65	30	300	30	1	50	50
9	A3: 1 А	200	40	400	20	2	40	60
10	A2: 3 А	30	50	500	10	1	60	40
11	A3: 4 А	60	10	100	50	1	30	90
12	A1: 6 А	40	20	200	40	1	90	30
13	A2: 11 А	30	30	300	130	2	60	60
14	A1: 8 А	100	40	400	60	2	80	40
15	A3: 2 А	80	50	500	110	2	40	80
16	A1: 4 А	90	10	100	50	1	50	70
17	A2: 3 А	70	20	200	40	1	70	50
18	A3: 7 А	65	30	300	30	1	50	20
19	A2: 0,5 А	200	40	400	20	1	20	50
20	A1: 1 А	30	50	500	10	1	60	40
21	A3: 0,8 А	60	100	120	50	1	30	90
22	A2: 9 А	40	200	200	40	2	90	30
23	A1: 18 А	30	130	30	30	2	60	60
24	A3: 0,2 А	100	40	40	20	1	80	40
25	V2: 40 В	80	50	250	100	2	40	80
26	V3: 65 В	90	100	10	150	2	50	70
27	V4: 130 В	70	120	20	14	1	70	50
28	V4: 44 В	65	130	30	30	2	50	20
29	V2: 66 В	200	140	40	120	1	20	50
30	V3: 320 В	30	150	50	10	1	30	40

Задача 5. В системе электроснабжения бумажной фабрики к промышленной трехфазной сети с линейным напряжением $U_{л}=№ \cdot 100$ В, подключен приемник, параметры каждой фазы которого указаны в табл.2.4, соединенный звездой с нейтральным проводом. Происходит обрыв одной из фаз. Найти фазные токи, полную, активную и реактивную мощность цепи, а также ток в нейтральном проводе.

Таблица 2.4 – Параметры элементов цепи (задача 5)

№ п/п	R , Ом	C , мкФ	L , мГн	Обрыв фазы
1	10	10		а
2	20	20		б
3	30		30	с
4	40		20	а
5	50	50	10	б
6	10	10	50	с

Окончание табл. 2.4

№ п/п	R , Ом	C , мкФ	L , мГн	Обрыв фазы
7	6	40		a
8	8	80		b
9	15		130	c
10	14		120	a
11	5	5	110	b
12	100	15	5	c
13	12	16		a
14	22	25		b
15	35		230	c
16	46		24	a
17	58	150	16	b
18	110	30	55	c
19	70	110		a
20	25	12		b
21	36		34	c
22	44		42	a
23	58	35	60	b
24	120	20	75	c
25	210	8		a
26	24	12		b
27	13		33	c
28	14		23	a
29	15	45	13	b
30	16	38	53	c

2.3. Контрольная работа за весенний семестр

Задача 1. В момент $t = 0$ в цепи, схема которой показана на рис. 2.4 (а – варианты 1–4, 27–30; б – варианты 5–8, 23–26; в – варианты 9–12, 20–22; г – варианты 13–19), происходит коммутация. Параметры источника и всех элементов указаны в табл.2.5. Определить токи во всех ветвях в момент коммутации и в установившемся режиме (после окончания переходного процесса), время переходного процесса. Определить функцию переходного тока (напряжения), указанную в табл.2.5 и построить ее график.

До коммутации:

- для замыкания ключа S - токи в цепи отсутствовали, конденсатор был разряжен;
- для размыкания ключа S - цепь работала в установившемся режиме.

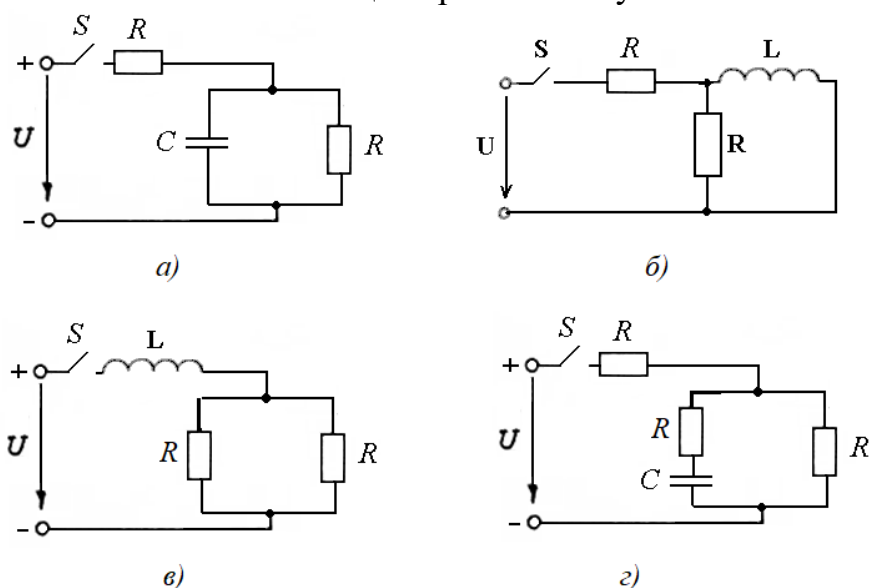


Рис. 2.4.

Таблица 2.5 – Параметры элементов цепи (задачи 1,2)

№ п/п	Коммутация	U , В	C , мкФ	L , мГн	R_L , Ом	R , Ом	Функция
1	замыкание S	10	10			3	$i_C(t)$
2	размыкание S	20	20			4	$u_C(t)$
3	замыкание S	30	30			12	$i_{\text{общ}}(t)$
4	размыкание S	40	40			14	$i_C(t)$
5	размыкание S	50		10	2	50	$i_L(t)$
6	замыкание S	10		50	1	30	$i_{\text{общ}}(t)$
7	размыкание S	20		40	1	60	$u_L(t)$
8	замыкание S	30		130	1	15	$u_L(t)$
9	замыкание S	40		120	2	24	$i_L(t)$
10	замыкание S	50		210	1	26	$u_L(t)$
11	замыкание S	10		150	1	34	$u_R(t)$
12	замыкание S	20		240	1	9	$u_L(t)$
13	замыкание S	30	13			60	$i_C(t)$
14	размыкание S	40	40			80	$u_C(t)$
15	размыкание S	50	15			40	$i_C(t)$
16	замыкание S	10	100			50	$u_C(t)$

№ п/п	Коммутация	U , В	C , мкФ	L , мГн	R_L , Ом	R , Ом	Функция
17	замыкание S	20	12			70	$i_{\text{ОБЩ}}(t)$
18	размыкание S	30	230			15	$i_C(t)$
19	замыкание S	40	40			20	$u_C(t)$
20	замыкание S	50		10	1	60	$i_L(t)$
21	замыкание S	100		50	1	30	$u_L(t)$
22	замыкание S	200		40	2	90	$u_R(t)$
23	замыкание S	130		30	2	16	$i_{\text{ОБЩ}}(t)$
24	размыкание S	40		20	1	80	$u_L(t)$
25	замыкание S	50		100	2	40	$u_L(t)$
26	размыкание S	100		150	2	50	$i_L(t)$
27	замыкание S	12	22			16	$i_{\text{ОБЩ}}(t)$
28	размыкание S	10	23			56	$i_C(t)$
29	замыкание S	4	45			26	$u_C(t)$
30	размыкание S	5	35			38	$u_C(t)$

Задача 2. В условиях задачи 1 определить переходные токи во всех ветвях операторным методом.

Задача 3. Полупроводниковый диод включен параллельно с линейным резистором R , как показано на рис.2.5. Общий ток, тип диода и сопротивление резистора указаны в табл.2.6. Определить токи через диод и резистор.

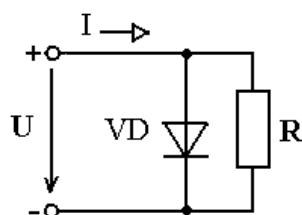


Рис. 2.6

Таблица 2.6 – К условию задачи 3

№ п/п	Тип диода	I , мА	R , Ом
1	Д106	5	500
2	МД217	20	20
3	Д223А	30	25
4	МД218	40	24
5	МД226	150	5
6	Д223Б	10	30
7	Д226	120	36
8	Д229	230	6
9	Д237	80	22
10	2Д101А	150	11
11	КД102А	70	23
12	2Д103А	80	25
13	КД105Б	250	8
14	2Д106А	900	1
15	ГД107А	25	100
16	КД116А-1	28	54

№ п/п	Тип диода	I , мА	R , Ом
17	Д220	30	43
18	2Д212А	1200	0,5
19	2Д213А	5000	0,3
20	2Д216Б	4000	0,24
21	2Д217А	2000	0,46
22	КД221Б	400	3
23	2Д251Е	2000	0,6
24	КД2997А	10000	0,15
25	КД2999В	15000	0,1
26	Д104	3	260
27	Д106	4	134
28	Д211	70	29
29	МД218А	50	16
30	МД226Е	200	8

Задача 4. Эскиз МЦ изображен на рис. 2.7. Магнитопровод МЦ образован двумя деталями, изготовленными из сталей заданных марок: марка стали А – 3413; марка стали В – 1211 (четные варианты) / 1511 (нечетные варианты). Кривые намагничивания сталей показаны на рис. 2.8. Ширина конструктивного воздушного зазора $\delta = 0,05$ мм. Число витков катушки $w = 1000$ - №2. Определить магнитный поток в магнитопроводе, создаваемый током $I = (N_2 + 50) \cdot 10^{-3}$ А (обратная задача).

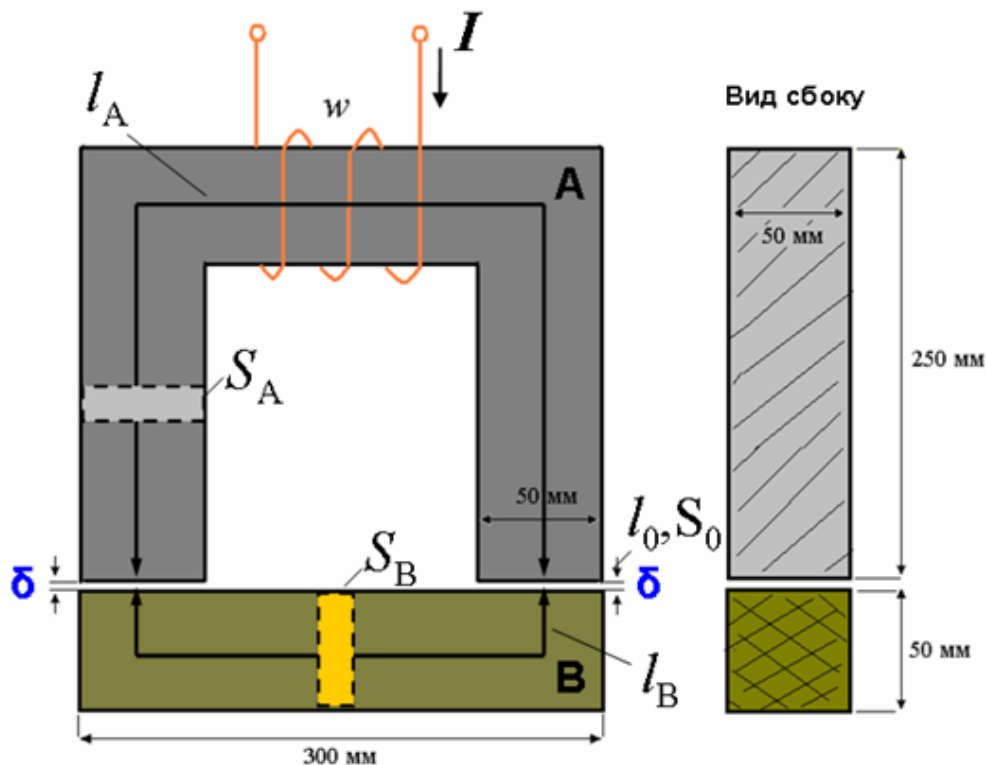


Рис. 2.7

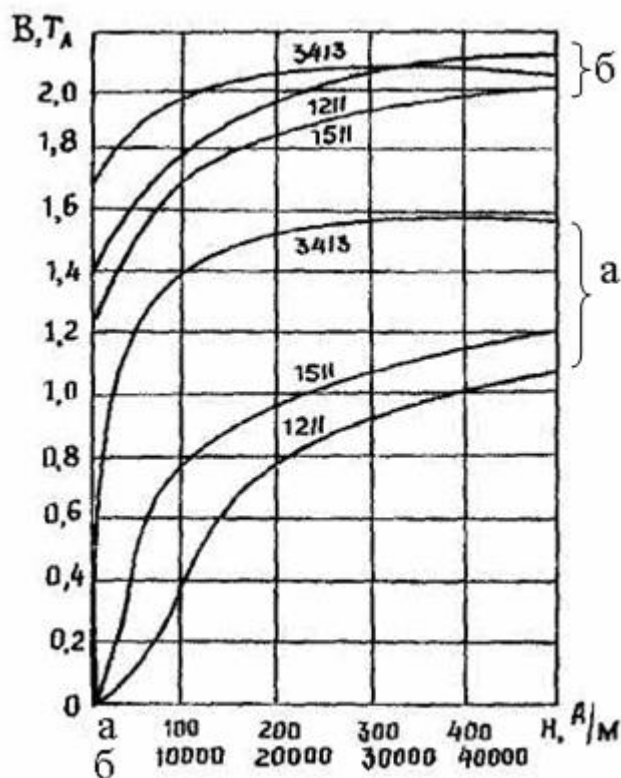


Рис. 2.8

Задача 5. Потенциалы обкладок конденсатора, показанного на рис. 2.9, равны $V_1 = \varphi_0 + 10$ В, $V_2 = -V_1$. Расстояние между обкладками $d = \varphi_0 + 5$ мм. Считая, что потенциал изменяется только в направлении, нормальном к обкладкам, определить законы изменения потенциала и напряженности поля.

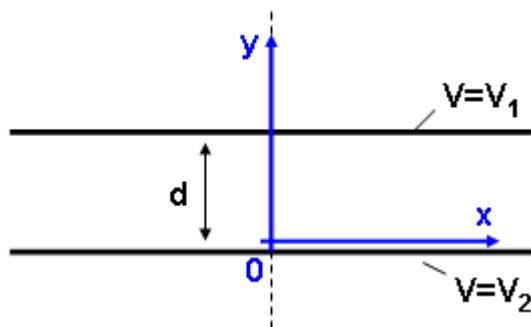


Рис. 2.9

3. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ОСНОВНЫХ ЭТАПОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

3.1 Составление схемы замещения цепи

В условии задач расчета (анализа) электрических цепей, как правило, задана принципиальная электрическая схема цепи, содержащая условные графические обозначения элементов. Поэтому решение задачи чаще всего начинается с составления схемы замещения. При этом необходимо учитывать ряд особенностей, присущих различным типам электротехнических задач.

3.1.1 Расчет цепей постоянного тока.

1) Схема замещения такой цепи содержит идеальные резистивные элементы (изображающие активные сопротивления реальных приборов) и идеальные источники ЭДС или источники тока.

2) Реальные источники постоянной ЭДС (аккумуляторы, генераторы постоянного тока) замещаются участком цепи, содержащим идеальный источник ЭДС и идеальный резистивный элемент, сопротивление которого равно внутреннему сопротивлению источника, как показано на рис.3.1. При этом, направление стрелки в идеальном источнике ЭДС соответствует направлению от «минуса» реального источника к его «плюсу».

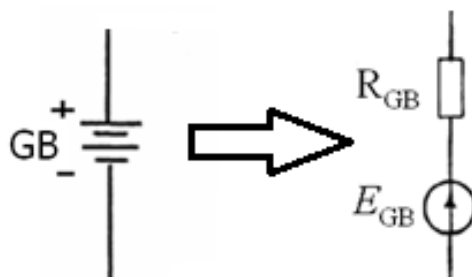


Рис. 3.1

3) После анализа топологии схемы (определения количества узлов, ветвей, независимых контуров и т.д.), с учетом условия конкретной задачи на схеме наносятся необходимые дополнительные обозначения.

Например, на рис.3.2 показан пример оформления схемы замещения для решения задачи методом контурных токов.

4) Указанные на схеме замещения обозначения должны использоваться в расчетах строго в таком же виде.

Типовые ошибки:

- условные обозначения на схемах нарисованы неправильно (не те обозначения, нарушены пропорции и т.д.);
- на схеме не показаны узлы в виде четко различимых точек;
- на схеме замещения изображены условные графические обозначения реальных основных или вспомогательных элементов (аккумуляторы, измерительные приборы, ключи и т.п.);

- некоторые заданные параметры (сопротивления, ЭДС) не отображены на схеме в виде элементов;

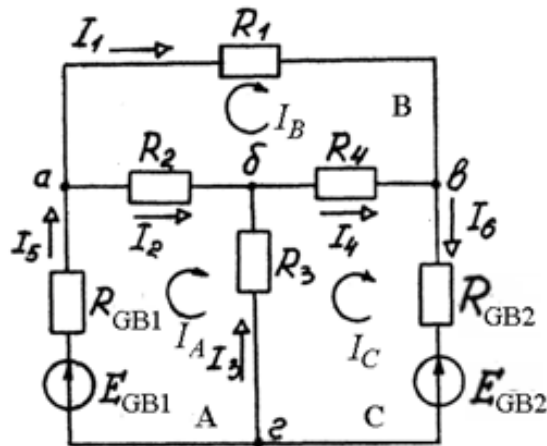


Рис. 3.2

- на схеме отсутствуют обозначения токов (напряжений), необходимых для решения задачи;

- на схеме в результате неправильного анализа топологии обозначены лишние узлы, токи, напряжения и т.д.;

- один и тот же ток (для одной ветви) или одно и то же напряжение (для параллельных ветвей) обозначены несколько раз, возможно различным образом, примеры таких ошибок обведены красным и синим на рис. 3.3;

- в простой цепи (с одним источником) неправильно указаны направления токов;

- стрелка, обозначающая напряжение, изображена без учета особенностей участка цепи (нарисована короче или длиннее, чем необходимо, смещена в сторону и т.п.), пример обведен зеленым на рис.3.3;

- обозначения на схеме не используются в расчетах (заменены на другие).

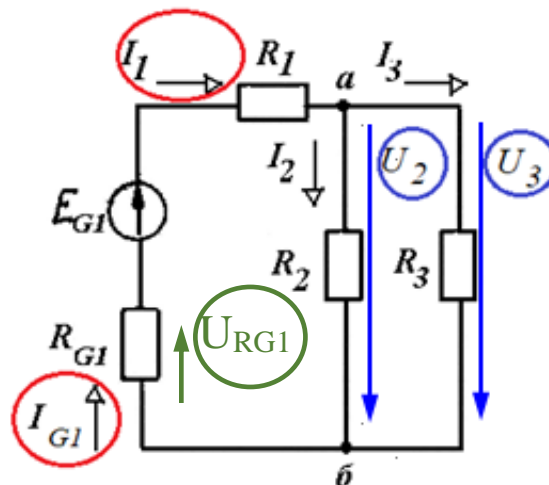


Рис.3.3

3.1.2 Расчет цепей синусоидального тока символическим (комплексным) методом.

1) Составляется обычная схема замещения. В этой схеме резистивным и емкостным элементам соответствуют идеальные резисторы и конденсаторы, а реальная индуктивная катушка заменяется участком цепи с последовательным соединением идеальной катушки с индуктивностью L и идеальным резистором, замещающим сопротивление провода катушки R_L .

Пример обычной схемы замещения цепи синусоидального тока показан на рис.3.4.

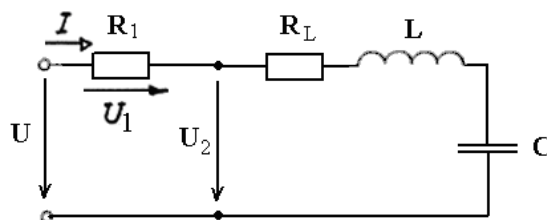


Рис.3.4

2) После перевода условий задачи в комплексную форму составляется комплексная схема замещения.

Пример комплексной схемы замещения, соответствующий схеме на рис.3.4, показан на рис.3.5.

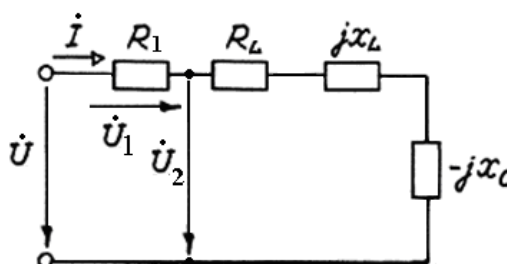


Рис.3.5

В этой схеме все приемники изображены как «резисторы», то есть проведена замена:

резистор R_1 → резистор R_1 ;

резистор R_L → резистор R_L ;

катушка L → «резистор» с сопротивлением jX_L ;

конденсатор C → «резистор» с сопротивлением $(-jX_C)$;

В результате такой замены дальнейший анализ и выбор метода расчета цепи аналогичен методам расчета цепей постоянного тока.

Аналогично составляются схемы замещения при решении задач расчета трехфазных цепей синусоидального тока.

Типовые ошибки (кроме указанных в предыдущем разделе):

- буквенные обозначения токов и напряжений неправильные;

- на схеме перемешаны элементы обычной и комплексной схем замещения.

3.1.3 Расчет переходных процессов классическим методом.

1) В задачах про подключение цепи к источнику составляется схема замещения после коммутации (замыкания ключа). В ходе переходного процесса токи и напряжения на приемниках являются переменными, поэтому на схеме целесообразно обозначать их мгновенные величины (обозначаемые маленькими буквами). Для этой схемы, прежде всего, определяются начальные условия задачи - значения токов в индуктивных катушках и напряжений на конденсаторах в момент времени $t=0$.

Пример принципиальной схемы и схемы замещения для такой задачи показан на рис.3.6.

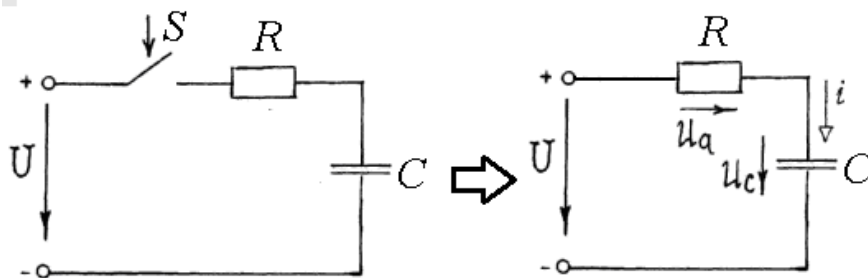


Рис.3.6

2) В задачах про отключение цепи от источника вначале составляется схема замещения цепи до коммутации (размыкания ключа). Анализ такой цепи (цепи постоянного или синусоидального тока) имеет целью определение значения токов в индуктивных катушках и напряжения на конденсаторах в момент времени $t=0_-$, что позволяет затем найти начальные условия - значения в момент времени $t=0$.

3) В некоторых случаях в ходе решения задач данного типа проводится анализ установившихся режимов для определения установившихся или принужденных значений токов и напряжений до начала и после окончания переходного процесса. В таких режимах токи и напряжения цепи являются постоянными или периодическими (синусоидальными), поэтому такие схемы составляются в соответствии с указаниями п.п.3.1.1,3.1.2. При этом, составляя схемы для установившегося режима - цепи постоянного тока - необходимо помнить, как работают в такой цепи индуктивный и емкостный элементы, что значительно упрощает анализ.

Примеры типовых схем замещения цепи в установившемся режиме показан на рис.3.7.

Типовые ошибки:

- на схеме замещения оставлены изображения ключей;
- в схеме для установившегося режима не учтены свойства индуктивного и емкостного элементов.

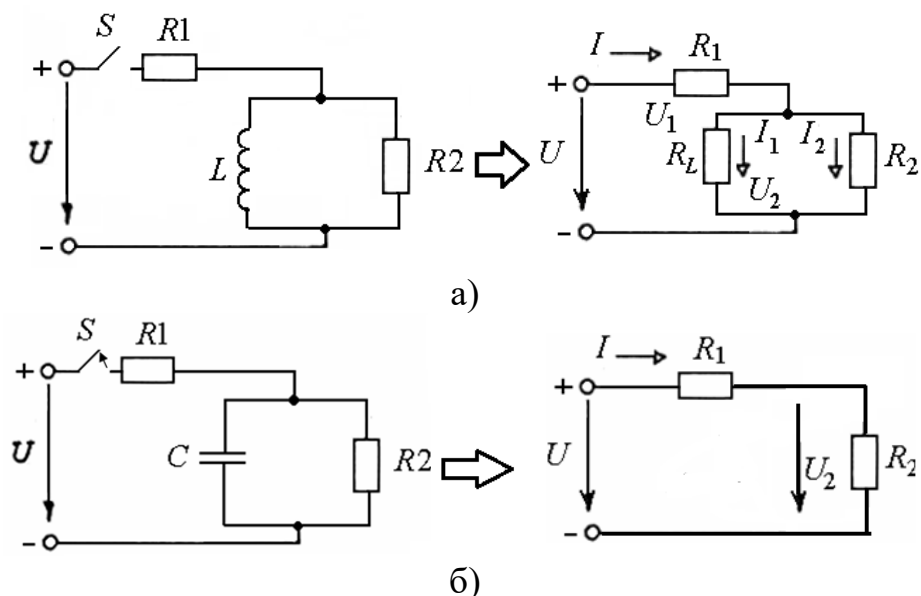


Рис.3.7. Схема замещения в установившемся режиме (цепь постоянного тока):
a – цепь с индуктивностью; *б* – цепь с емкостью

3.1.4 Расчет переходных процессов операторным методом.

1) Составляется обычная схема замещения цепи в соответствии с рекомендациями, данными в п.3.1.3 (разделы 1, 2).

2) После перевода условий задачи в операторную форму составляется операторная схема замещения. Пример показан на рис.3.8.

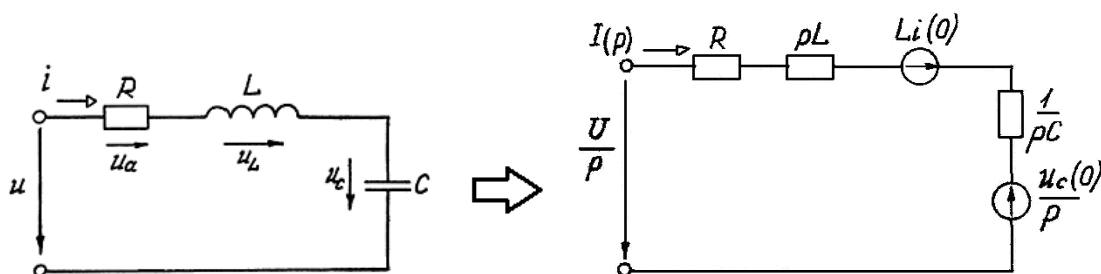


Рис.3.8

В этой схеме все приемники изображены как «резисторы». Кроме того, при ненулевых начальных условиях, которые чаще встречаются в задачах про отключение цепи от источника, в операторной схеме появляются дополнительные источники, ЭДС которых зависит от значения токов в индуктивных катушках и напряжений на конденсаторах в момент времени $t=0$. Дальнейший расчет цепи, как в случае применения комплексного метода, проводится аналогично расчету цепей постоянного тока.

Типовые ошибки:

- в схеме перемешаны элементы обычной и операторной схем;
- в схеме не учтены дополнительные источники ЭДС (для задач с ненулевыми начальными условиями).

3.1.5 Расчет нелинейных цепей.

В зависимости от условия задачи, схема замещения составляется в соответствии с указаниями п.п. 3.1.1, 3.1.2. При этом можно заменить реальные элементы (диоды, стабилитроны, лампы накаливания и т.д.) нелинейными резисторами. Пример показан на рис. 3.9.

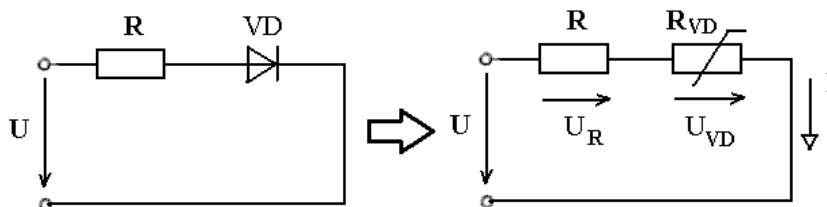


Рис. 3.9

3.2 Требования к записи решения задач

В соответствии с критериями оценивания контрольных работ, указанных в приложении 2, при записи решения задачи необходимо выполнять ряд требований.

1) Запись делается черными или синими чернилами на чистых целых листах, аккуратно, не допуская неряшливых исправлений. Строки записей должны быть ровными и горизонтальными. Запись цветными ручками, простыми карандашами, «по диагонали» или «на боку» не допускается.

2) Схемы, графики и диаграммы вычерчиваются простым карандашом под линейку.

3) При необходимости сделать исправления без полного переписывания работы применяют корректор, заклеивают ошибки чистым листом или аккуратно перечеркивают тонкой линией ошибочную запись и продолжают решение.

4) Задача начинается с условия, затем делается подзаголовок «Решение», заканчивается задача записью ответа.

5) При решении типовых задач контрольных работ рекомендуется четко придерживаться алгоритма, рассмотренного в практикуме [2]. Ход решения должен быть разделен на пункты (подпункты), имеющие соответствующие названия. Например, «3. Составляем систему уравнений по 2-му закону Кирхгофа для всех независимых контуров относительно контурных токов».

Также необходимо пояснять наиболее важные действия в рамках каждого пункта, например, «так как величины *реальных* токов I_1 , I_6 получились отрицательными, то их первоначальные направления изменим на противоположные и покажем это на схеме замещения».

6) При вычислении параметров и характеристик электрических цепей с помощью соотношений на основе законов электротехники рекомендуется записывать решение в виде: выражение в виде формулы, затем подстановка числовых значений, затем вычисление результата и указание единицы измерения, например

$$\underline{Z} = R + R_L + jX_L - jX_C = \\ = 20 + 2 + j(157 - 31.84) = 22 + j125,16 \text{ Ом.}$$

Типовые ошибки:

- отсутствие названий этапов решения задачи или словесных пояснений;
- не соответствие слов и содержания решения;
- отсутствие буквенной записи расчетных соотношений;
- отсутствие единиц измерения вычисленных величин;
- чрезмерно длинные словесные комментарии - стремление дословно переписать все слова (и нужные и ненужные для конкретной задачи) из пособия-практикума.

3.3 Вычерчивание графиков и диаграмм

Графики и диаграммы вычерчиваются в соответствии с требованиями ГОСТ.

1) Шкалы по осям наносятся на график путем отметки некоторых линий координатной сетки числами, которым эти линии соответствуют. Нуль должен быть записан обязательно. У концов координатных осей (выше у оси абсцисс и правее у оси ординат) следует указывать символы откладываемых величин. Там же, с использованием установленных сокращений, указываются единицы измерения. Пример правильно оформленного графика показан на рис.3.10.

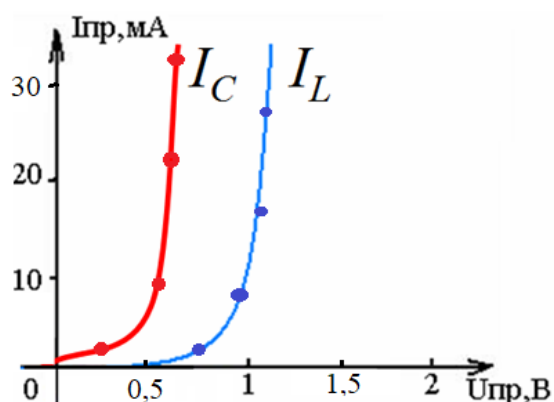


Рис.3.10

Рассчитанные значения величин, использованные для построения графика, должны быть нанесены на рисунок крупными точками.

2) Векторные диаграммы строятся на комплексной плоскости для векторов комплексных токов и напряжений. Перед построением выбирается масштаб.

Пример грамотно оформленной векторной диаграммы показан на рис.3.11.

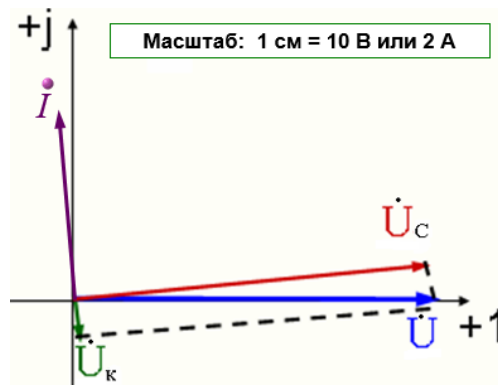


Рис.3.11

3.4 Проверка решения задачи

Решение электротехнических задач часто целесообразно заканчивать проверкой. При этом необходимо учитывать ряд соображений.

1) Необходимо четко понять, что именно проверяется. Как правило, речь идет о том, что найденные значения токов или напряжений обращают в тождество выражения одного или нескольких законов электротехники.

2) Для простых задач достаточно проверки выполнения одного соотношения по 1-му или 2-му закону Кирхгофа.

После подстановки числовых данных в проверяемое соотношение и обращения его в тождества в работе делается словесный вывод, например

$$-I_1 + I_4 + I_6 = -2,78 + 0,78 + 2 = 0.$$

Следовательно, задача решена верно.

3) Для цепей синусоидального тока имеются в виду законы в комплексной форме, которые чаще всего проверяются с помощью векторной диаграммы.

Например, по результатам решения задачи расчета цепи синусоидального тока с тремя ветвями на комплексной плоскости построены вектора комплексных действующих токов $\dot{I}, \dot{I}_1, \dot{I}_2$, как показано на рис.3.12.

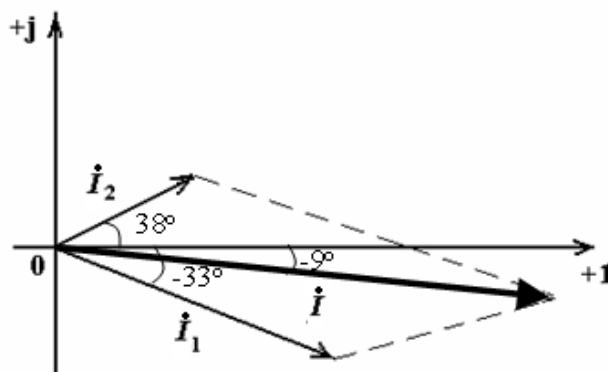


Рис. 3.12

Из рис.3.12 видно, что вектора комплексных токов по правилу параллелограмма удовлетворяют соотношению $\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2$, что, с другой стороны

означает обращение в тождество 1-го закона Кирхгофа в комплексной форме, следовательно, задача решена верно

4) Проверку решения задачи расчета сложной цепи целесообразно проводить на основе уравнения баланса мощности. При этом, задача считается решенной верно, если правая и левая части уравнения отличаются не более, чем на 5%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи [Текст]: учебник / Л. А. Бессонов. – М: Гардарики, 2016. – 701 с.
2. Оробинский, А. М. Теоретические основы электротехники: Практикум / А. М. Оробинский. –СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2022. – 82 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ВЫПИСКА ИЗ РАБОЧЕЙ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ

ДИСЦИПЛИНЫ ТОЭ

Осенний семестр

Раздел 1. Основы теории и методы расчета линейных электрических цепей постоянного тока

Тема 1. Основные понятия и законы электромагнитного поля и электрических цепей.

Электрическое и магнитное поле: определение, свойства, основные характеристики. Электрическая цепь и её элементы. Схемы электрических цепей. Топологические параметры электрических цепей. Законы электрических цепей. Баланс мощностей

Тема 2. Расчет линейных электрических цепей постоянного тока.

Классификация методов расчета электрических цепей. Преобразование схем. Расчет простых электрических цепей. Методы расчета сложных электрических цепей.

Раздел 2. Цепи переменного тока

Тема 3. Цепи синусоидального тока.

Основные понятия, параметры и характеристики синусоидальных токов. Режимы работы цепей синусоидального тока. Резонанс. Символический (комплексный) метод расчета линейных электрических цепей синусоидального тока. Трехфазные цепи.

Тема 4. Методы анализа цепей переменного тока.

Цепи с взаимной индукцией. Анализ цепей с многополюсными элементами. Четырехполюсники и электрические фильтры. Несинусоидальные электрические токи.

Весенний семестр

Раздел 3. Переходные процессы в электрических цепях

Тема 5. Расчет электрических цепей в переходных режимах классическим методом.

Понятие о переходных процессах. Законы коммутации. Расчет переходных процессов классическим методом. Постоянная времени цепи. Переходные процессы в RL, RC, RLC-цепях.

Тема 6. Расчет электрических цепей операторным методом.

Применение преобразования Лапласа к анализу цепей. Операторный метод анализа переходных процессов. Законы Ома и Кирхгофа в операторной форме. Теорема разложения.

Раздел 4. Нелинейные цепи и задачи расчета электромагнитного поля

Тема 7. Нелинейные электрические и магнитные цепи.

Нелинейные электрические цепи. Элементы нелинейных цепей и их параметры. Расчет нелинейных цепей постоянного тока. Понятие магнитной цепи. Элементы магнитных цепей. Законы магнитных цепей. Расчет магнитных цепей.

Тема 8. Основы теории электромагнитного поля.

Уравнения Максвелла для электромагнитного поля. Граничные условия в задачах расчета электромагнитного поля. Статические и стационарные поля. Переменные электромагнитные поля. Электромагнитное экранирование.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Пример выполнения титульного листа показан на рис.П2.1.

«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИИ И ДИЗАЙНА»	
<hr/>	
ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ	
Кафедра автоматизированного электропривода и электротехники	
Контрольная работа №2	
«Теоретические основы электротехники»	
по дисциплине «Электротехника и электроника»	
Вариант № 00	
Выполнил:	студент учебной группы № 0-000 Зачетная книжка № 000000
	<hr/>
	(фамилия, имя, отчество)
Проверил:	
	<hr/>
	(подпись, фамилия, имя, отчество)
Санкт-Петербург 2021	

Рис.П2.1

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

МЕТОДИКА ПРОВЕРКИ РЕШЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Оценка решения задачи

Оценка за решение каждой задачи выставляется следующим образом:

- выставляется оценка O_i по каждому из четырех критериев, указанных в табл. ПЗ.1;

Таблица 3.1. Методика оценки решения задачи

Критерий	Весовой коэффициент W_i	Оценка за критерий O_i				Примечание
		Решение верно	1-2 незначительные ошибки	3-4 незначительные ошибки	Принципиальные (грубые) ошибки	
1. Схема замещения	0,2	5	4	3	2	В случае оценки «неуд» по критерию 2 итоговая оценка - «неуд».
2. Расчет	0,5	5	4	3	2	
Дополнительно						
3. Пояснения	1	достаточные = 1		не полные (частично неверные) = 0,5		пояснения неверные (отсутствуют) = 0
4. Оформление	0,5	аккуратное = 1		не аккуратное = 0		

- каждый критерий имеет свой «вес», определяемый коэффициентом W_i ;

- итоговая оценка за задачу определяется выражением

$$O_3 = W_1 \cdot O_1 + W_2 \cdot O_2 + W_3 + W_4.$$

Например, схема замещения составлена верно, расчет проведен с двумя незначительными ошибками, ход решения оформлен с пояснениями и аккуратно. Тогда $O_3 = 0,2 \cdot 5 + 0,5 \cdot 4 + 1 + 0,5 = 4,5$ балла.

2. Оценка решения контрольной работы

Оценка за контрольную работу определяется как среднее арифметическое значение оценок пяти задач, округляемое до целого значения по традиционным правилам округления десятичных дробей.