

УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра электротехники и электрооборудования предприятий

РАСЧЕТ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Учебно-методическое пособие

к выполнению домашнего задания по электротехнике

Уфа 2009

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов неэлектротехнических специальностей дневной и заочной форм обучения.

Приведены варианты домашнего задания по расчету разветвленных электрических цепей постоянного тока, методические указания к выполнению задания и требования к его оформлению.

Составители: Шабанов В.А., доц., канд. техн. наук
Лопатин В.П., доц., канд. техн. наук

Рецензент Гузеев Б.В., доц., канд. техн. наук

1. СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАНИЯ И ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ

Для заданной разветвленной электрической цепи постоянного тока выполнить расчеты различными методами.

1.1. Рассчитать токи в ветвях методом эквивалентных преобразований при наличии в цепи одного источника ЭДС.

1.2. Рассчитать токи в ветвях методом непосредственного применения законов Кирхгофа.

1.3. Рассчитать токи в ветвях методом контурных токов.

1.4. Проверить результаты расчетов составлением баланса мощностей.

1.5. Построить потенциальную диаграмму для внешнего контура цепи.

Электрическую цепь и исходные числовые значения ЭДС, токов и сопротивлений выбирают в соответствии с номером варианта из приложений 1 и 2.

Расчет цепи по п. 1.1 студенты первой группы (варианты 1-10) выполняют при наличии ЭДС E_1 , студенты второй группы (варианты 11-20) - ЭДС E_2 , студенты третьей группы (варианты 21-30) – ЭДС E_3 (если нету, то ЭДС E_1).

Пояснительную записку оформляют на листах формата А4 (210x297 мм) в соответствии с требованиями государственных стандартов. В пояснительной записке приводят:

- схему электрической цепи;
- исходные данные к расчету в соответствии с вариантом;
- результаты расчетов с краткими комментариями.

Пример оформления титульного листа пояснительной записки приведен в приложении 3.

Проверенное преподавателем задание должно быть защищено студентом.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЯ

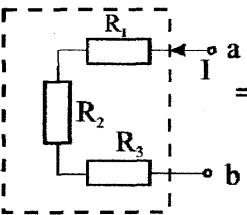
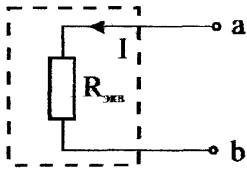
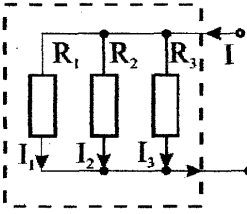
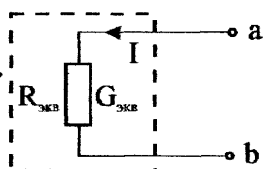
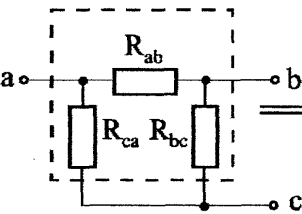
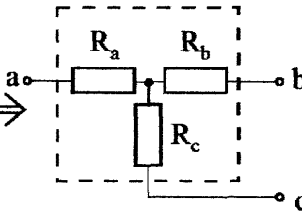
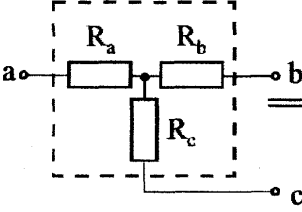
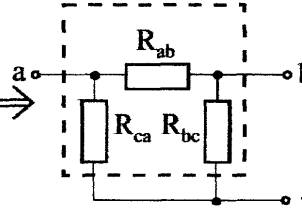
2.1. Расчет электрической цепи методом эквивалентных преобразований (свертывания схемы)

Путем эквивалентных преобразований цепи получают неразветвленную цепь, содержащую источник ЭДС и приемник с эквивалентным сопротивлением. По закону Ома для полной цепи вычисляют ток в неразветвленной части цепи. Затем находят распределение этого тока по отдельным ветвям.

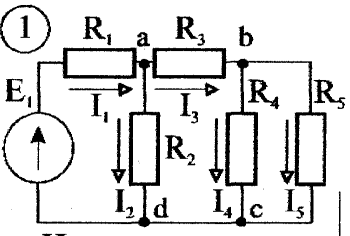
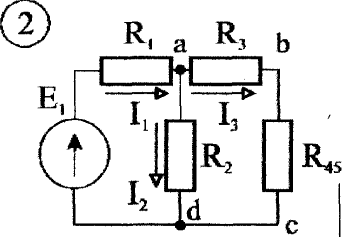
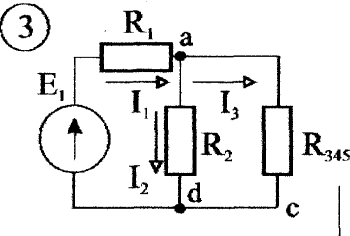
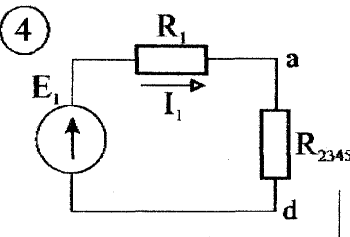
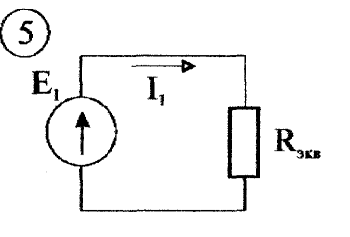
Правила замены двух- и трехполюсников эквивалентными схемами приведены в табл. 1. После каждого этапа преобразования рекомендуется заново начертить цепь с учетом выполненных преобразований (см. табл. 2).

Таблица 1

Эквивалентные преобразования простейших электрических цепей

Исходная электрическая цепь	Эквивалентная схема преобразования	Формулы эквивалентного преобразования
<p>Последовательное соединение</p> 		$R_{\text{экв}} = R_1 + R_2 + R_3$ $I = \text{const}$
<p>Параллельное соединение</p> 		$G_{\text{экв}} = G_1 + G_2 + G_3 =$ $= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3};$ $R_{\text{экв}} = \frac{1}{G_{\text{экв}}};$ $R_{\text{экв}} = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3};$ $I = I_1 + I_2 + I_3.$
<p>Соединение элементов треугольником</p> 	<p>Эквивалентное соединение звездой</p> 	$R_a = \frac{R_{ab} R_{ca}}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}};$ $R_b = \frac{R_{ab} R_{bc}}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}};$ $R_c = \frac{R_{bc} R_{ca}}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}}.$
<p>Соединение элементов звездой</p> 	<p>Эквивалентное соединение треугольником</p> 	$R_{ab} = R_a + R_b + \frac{R_a R_b}{R_c};$ $R_{bc} = R_b + R_c + \frac{R_b R_c}{R_a};$ $R_{ca} = R_c + R_a + \frac{R_c R_a}{R_b}.$

Расчет электрической цепи методом эквивалентных преобразований

Этапы расчета	Формулы для расчета сопротивлений	Формулы для расчета тока
<p>①</p>  <p>Исходная схема</p>		<p>⑩</p> $I_4 = \frac{U_{bc}}{R_4}$ $I_5 = \frac{U_{bc}}{R_5}$ <p>Последний этап расчета</p>
<p>②</p> 	$R_{45} = \frac{R_4 R_5}{R_4 + R_5}$	<p>⑨</p> $U_{bc} = R_{45} I_3 = U_{ad} - R_3 I_3$
<p>③</p> 	$R_{345} = R_3 + R_{45}$	<p>⑧</p> $I_2 = \frac{U_{ad}}{R_2}$ $I_3 = \frac{U_{ad}}{R_{345}} = I_1 - I_2$
<p>④</p> 	$R_{2345} = \frac{R_2 R_{345}}{R_2 + R_{345}}$	<p>⑦</p> $U_{ad} = R_{2345} I_1$
<p>⑤</p> 	$R_{\text{экв}} = R_1 + R_{2345}$	<p>⑥</p> $I_1 = \frac{E_1}{R_{\text{экв}}}$

2.2. Расчет электрической цепи методом непосредственного применения законов Кирхгофа

Согласно первому закону Кирхгофа алгебраическая сумма токов ветвей, сходящихся в узле, равна нулю:

$$\sum I = 0.$$

Согласно второму закону Кирхгофа алгебраическая сумма напряжений на резистивных элементах замкнутого контура равна алгебраической сумме ЭДС, входящих в этот контур.

$$\sum RI = \sum E.$$

Расчет многоконтурной линейной электрической цепи, имеющей "b" ветвей с активными и пассивными элементами и "y" узлов, сводится к определению токов отдельных ветвей и напряжений на зажимах элементов, входящих в данную цепь.

Пассивной называется ветвь, не содержащая источника ЭДС. Ветвь, содержащая источник ЭДС, называется активной.

1-й закон Кирхгофа применяют к независимым узлам, т.е. таким, которые отличаются друг от друга хотя бы одной новой ветвью, что позволяет получить (y - 1) уравнений.

Недостающие уравнения в количестве b - (y - 1) составляют, исходя из второго закона Кирхгофа. Уравнение записывают для независимых контуров, которые отличаются один от другого, по крайней мере, одной ветвью.

Порядок выполнения расчета:

- выделяют в электрической цепи ветви, независимые узлы и контуры;
- с помощью стрелок указывают произвольно выбранные положительные направления токов в отдельных ветвях, а также указывают произвольно выбранное направление обхода контура;
- составляют уравнения по законам Кирхгофа, применяя следующее правило знаков:

а) токи, направленные к узлу цепи, записывают со знаком "плюс", а токи, направленные от узла, - со знаком "минус" (для первого закона Кирхгофа);

б) ЭДС и напряжение на резистивном элементе (RI) берутся со знаком "плюс", если направления ЭДС и тока в ветви совпадают с направлением обхода контура, а при встречном направлении - со знаком "минус";

- решая систему уравнений, находят токи в ветвях. При решении могут быть использованы ЭВМ, методы подстановки или определителей.

Отрицательные значения тока какой-либо ветви указывают на то, что выбранные ранее произвольные направления тока оказались ошибочными. Это следует учитывать при построении потенциальной диаграммы, где следует знать истинное направление тока.

На рис. 1, а изображена исходная электрическая схема, для которой следует рассчитать токи в ветвях. Направления токов и обхода контуров приведены на рис. 1, б.

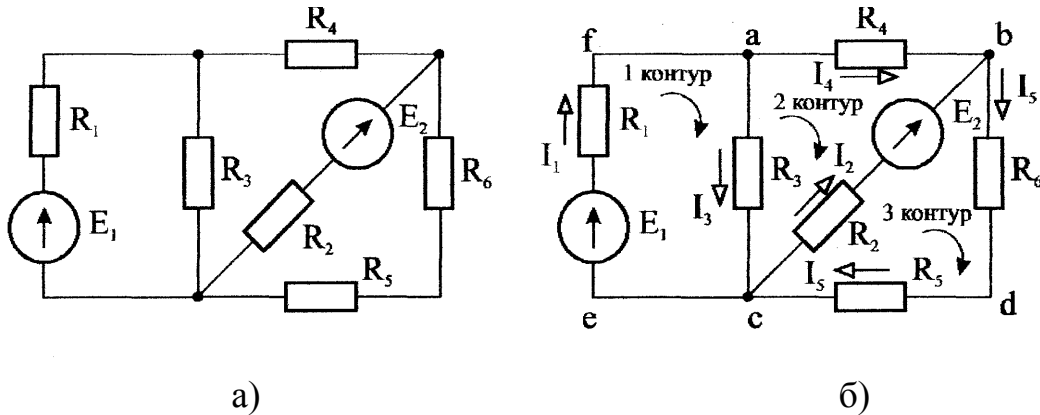


Рис.1

Система уравнений, составленных по первому и второму законам Кирхгофа, имеет вид

для узла а:	$I_1 - I_3 - I_4 = 0$
для узла b:	$I_2 + I_4 - I_5 = 0$
для контура acef:	$R_1 I_1 + R_3 I_3 = E_1$
для контура abc:	$-R_2 I_2 - R_3 I_3 + R_4 I_4 = -E_2$
для контура bdc:	$R_2 I_2 + R_5 I_5 + R_6 I_5 = E_2$

2.3. Расчет электрической цепи методом контурных токов

При расчете цепи методом контурных токов выдвигаются два предположения:

- в каждом контуре протекают независимые друг от друга расчетные (контурные) токи;
- ток каждой ветви равен алгебраической сумме контурных токов, протекающих через эту ветвь.

Рассмотрим схему, представленную на рис. 2.

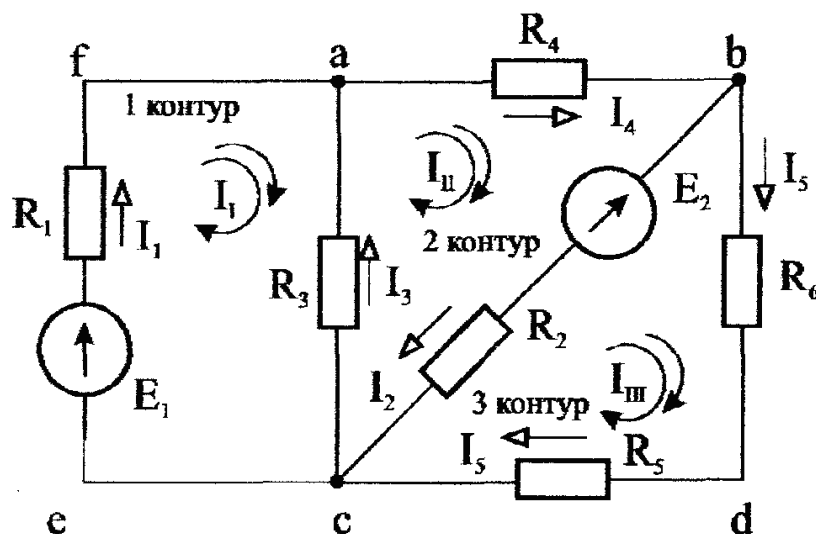


Рис. 2

При расчете рекомендуется следующая последовательность действий:

- находят в цепи ветви, узлы и контуры;
- указывают произвольные направления токов в ветвях и направления обхода контуров;
- произвольно выбирают направления контурных токов, обычно совпадающие с направлениями обхода контура;
- для независимых контуров составляют уравнения по второму закону Кирхгофа относительно неизвестных контурных токов I_I , I_{II} , I_{III} .

Для рассчитываемой электрической цепи система уравнений будет иметь вид:

$$\text{для контура } acef: (R_1 + R_3) I_I - R_3 I_{II} = E_1$$

$$\text{для контура } abc: -R_3 I_I + (R_2 + R_3 + R_4) I_{II} - R_2 I_{III} = -E_2$$

$$\text{для контура } bdc: -R_3 I_{II} + (R_2 + R_5 + R_6) I_{III} = E_2$$

В рассматриваемом примере при составлении уравнений принято во внимание то, что вторая (R_2 , E_2) и третья (R_3) ветви электрической цепи являются смежными и по ним протекают два контурных тока, каждый из которых обуславливает на резисторе смежной ветви падение напряжения, например, $R_2 I_{II}$ и $R_2 I_{III}$ (для токов второй ветви).

Токи в ветвях определяют алгебраическим суммированием контурных токов, протекающих через ту или иную ветвь. Контурный ток берется со знаком "плюс", если его направление совпадает с направлением тока ветви, и со знаком "минус" - при встречном направлении.

$$I_1 = I_I$$

$$I_2 = I_{II} - I_{III}$$

$$I_3 = I_{II} - I_I$$

$$I_4 = I_{II}$$

$$I_5 = I_{III}$$

2.4. Баланс мощностей цепи

Баланс мощности цепи составляют для проверки расчетов. Его записывают в виде:

$$\sum_{k=1}^n E_k I_k = \sum_{k=1}^m I_k^2 R_k,$$

где E_k , I_k и R_k - значения ЭДС источника, тока и сопротивления k -й ветви;

n - число ветвей, содержащих источники ЭДС;

m - число ветвей электрической цепи.

В уравнении баланса произведение $E_k I_k$ (мощность источника) подставляют со знаком "плюс", если истинное направление тока, протекающего через источник, и направление ЭДС источника совпадают, и со знаком "минус" - при встречном направлении (источник работает в режиме приемника).

Для электрической цепи, представленной на рис. 2, уравнение баланса мощностей будет иметь вид (при положительных значениях расчетных токов):

$$E_1 I_1 - E_2 I_2 = I_1^2 (R_1 + r_{01}) + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4 + I_5^2 (R_5 + R_6).$$

2.5. Расчет потенциальной диаграммы

Потенциальной диаграммой называется график зависимости потенциала φ от сопротивления R , полученный при обходе контура.

Расчет потенциалов точек цепи выполняется после определения токов в ветвях одним из рассмотренных выше методов и нахождения истинных направлений токов.

Расчет рекомендуется производить в следующей последовательности:

1. Разбивают электрическую цепь (внешний контур) на участки, содержащие резисторы или источники ЭДС, обозначив буквами границы участков.
2. Потенциал одной из точек принимают равным нулю.
3. При обходе контура (направление произвольное) разность потенциалов $\varphi_A - \varphi_B$ между концами каждого участка вычисляются по формулам, в зависимости от элемента, включенного на рассматриваемом участке цепи:
 - если на участке включен резистор с сопротивлением R , то формула имеет вид

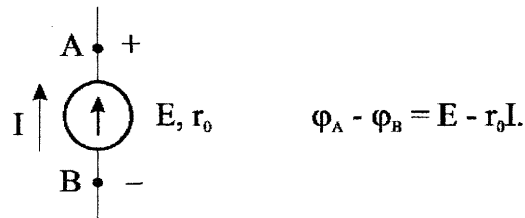
$$\varphi_A - \varphi_B = RI.$$

При этом следует иметь в виду, что $\varphi_A > \varphi_B$, так как направление тока от большего потенциала к меньшему;

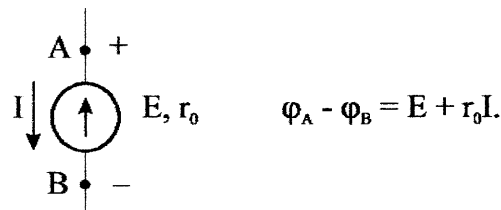
- участок содержит источник ЭДС с внутренним сопротивлением r_0 .

Если источник ЭДС работает в режиме источника питания (ток через

источник совпадает с направлением ЭДС):



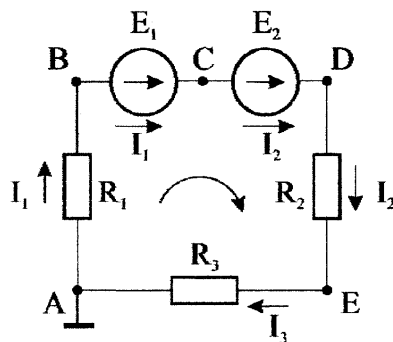
Если источник ЭДС работает в режиме приемника (направления тока и ЭДС противоположны):



Расчетное значение потенциала точки, с которой начат обход контура, должно получиться равным нулю, что является критерием правильности расчета.

При построении потенциальной диаграммы по оси абсцисс в масштабе откладывают последовательно значения сопротивлений резисторов, включенных в контур; по оси ординат - значения потенциалов точек.

Пример расчета и построения потенциальной диаграммы.



Исходные данные

$$E_1 = 12 \text{ В}$$

$$E_2 = 8 \text{ В}$$

$$R_1 = 20 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 40 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 29 \text{ Ом}$$

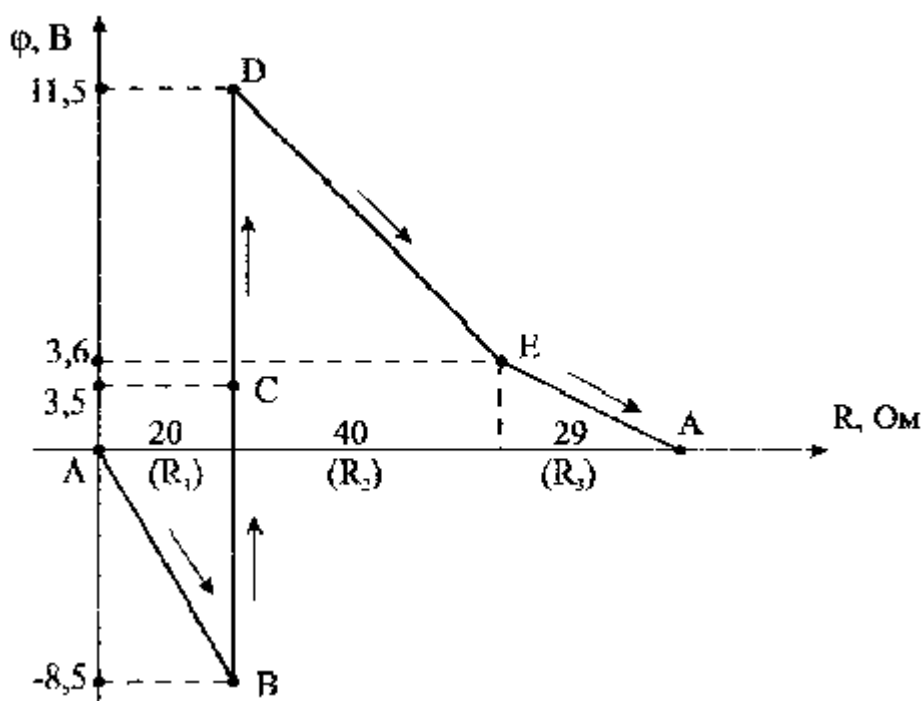
$$I_1 = 0,423 \text{ А}$$

$$I_2 = 0,198 \text{ А}$$

$$I_3 = 0,124 \text{ А}$$

Произвольно принимаем потенциал точки А равным нулю ($\varphi_A = 0$), направление обхода контура по часовой стрелке. Записываем формулы для нахождения разности потенциалов на концах участков.

Участок АВ	$\varphi_A - \varphi_B = R_1 I_1.$	$\varphi_B = -R_1 I_1 = -20 \cdot 0,423 = -8,474 \text{ В}$
Участок ВС	$\varphi_C - \varphi_B = E_1.$	$\varphi_C = E_1 + \varphi_B = 12 - 8,474 = 3,525 \text{ В}$
Участок CD	$\varphi_D - \varphi_C = E_2.$	$\varphi_D = E_2 + \varphi_C = 8 + 3,525 = 11,525 \text{ В}$
Участок DE	$\varphi_D - \varphi_E = R_2 I_2.$	$\varphi_E = \varphi_D - R_2 I_2 = 11,525 - 40 \cdot 0,198 = 3,591 \text{ В}$
Участок EA	$\varphi_E - \varphi_A = R_3 I_3.$	$\varphi_A = \varphi_E - R_3 I_3 = 3,591 - 29 \cdot 0,124 = 0,005 \approx 0$



Потенциальная диаграмма

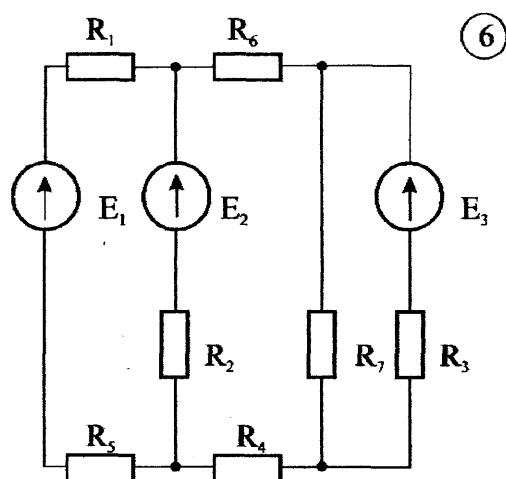
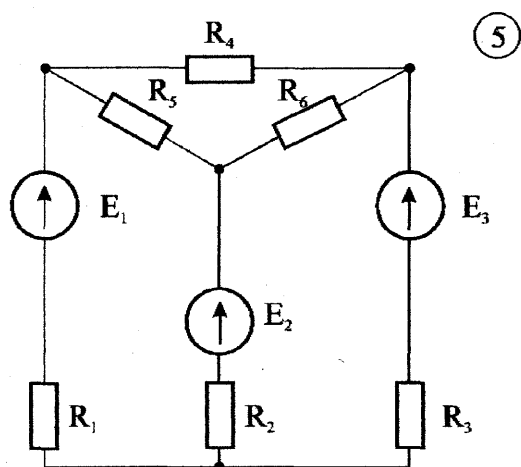
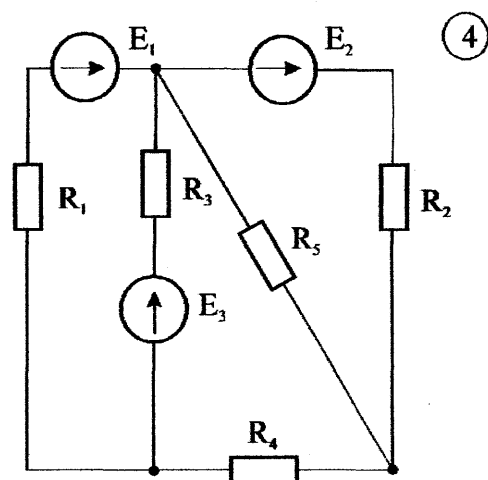
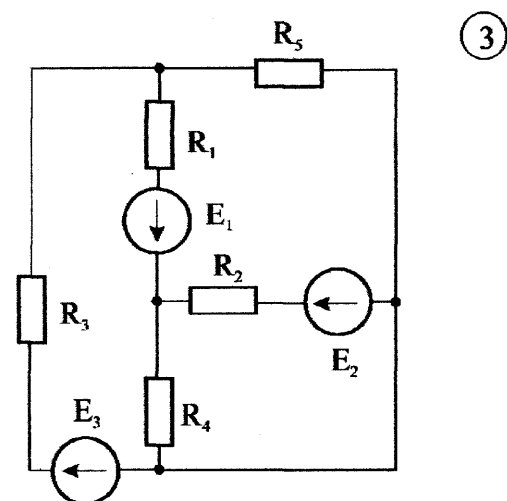
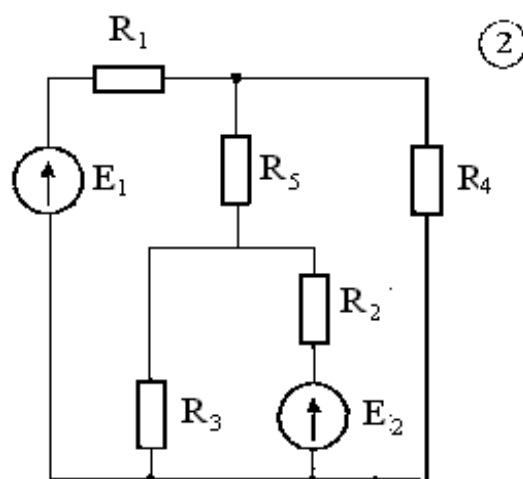
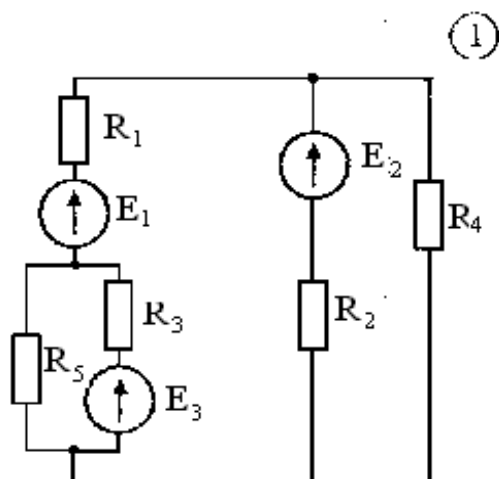
3. ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ, ЗАДАВАЕМЫХ ПРИ ЗАЩИТЕ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ

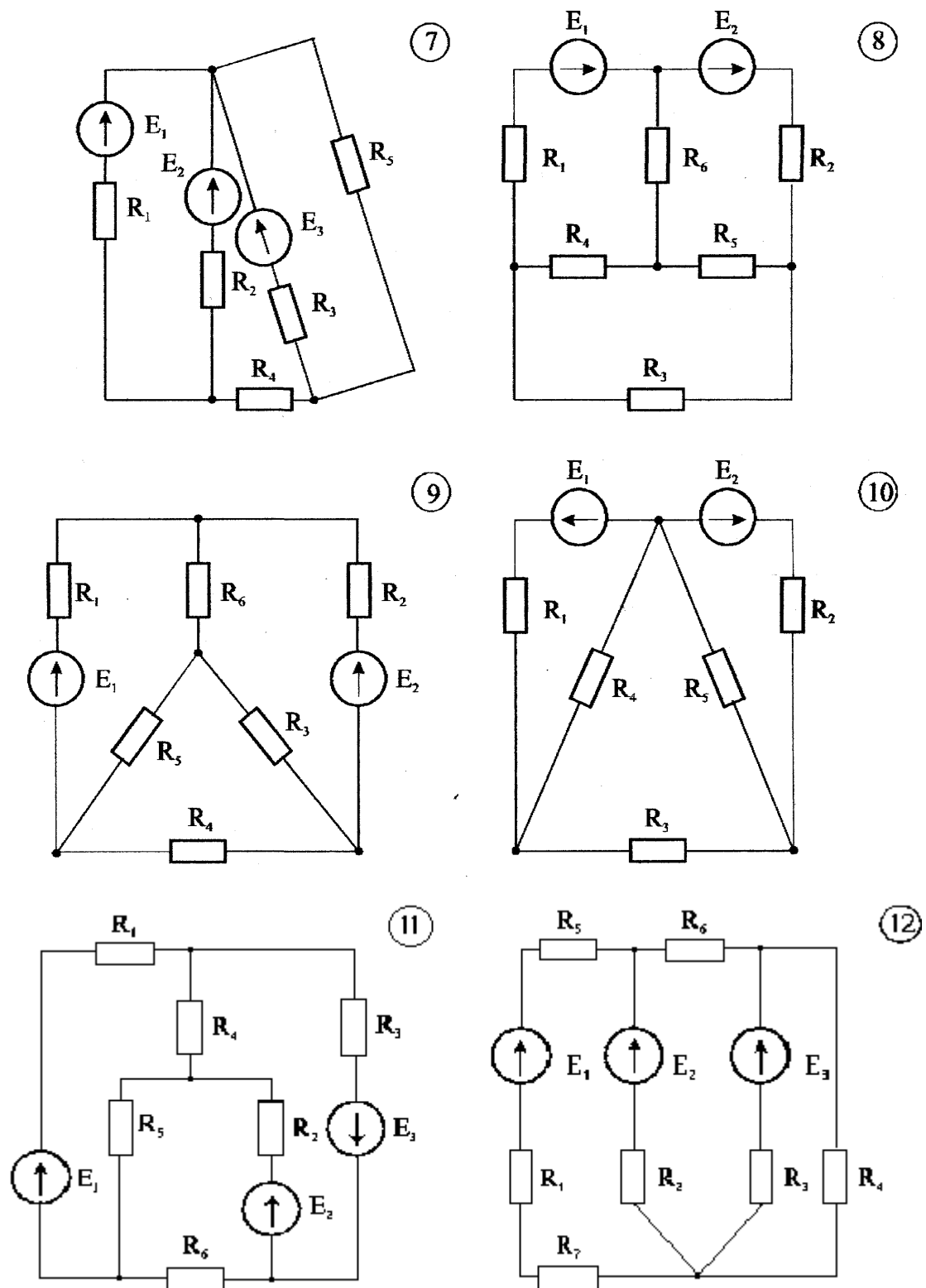
- 3.1. Как выбираются контуры при расчете методом контурных токов?
- 3.2. На каком законе Кирхгофа основан метод контурных токов?
- 3.3. Как заменить источник тока источником ЭДС и наоборот?
- 3.4. Что такое контур цепи? Перечислите все независимые и смежные контуры Вашей цепи.
- 3.5. Может ли направление тока в ветви, содержащей источник ЭДС, быть встречно направлению этой ЭДС?
- 3.6. Для чего составляют баланс мощностей цепи? Напишите общее уравнение баланса мощностей цепи.
- 3.7. Что такое потенциальная диаграмма?

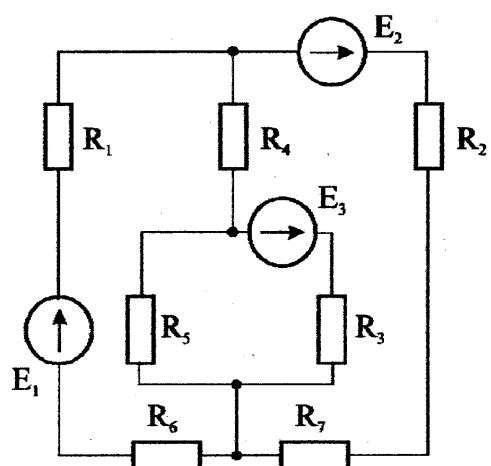
ЛИТЕРАТУРА

1. Общая электротехника/Под ред. В.С. Пантюшина. -М.: Высшая школа, 1986.
2. Электротехника / Под ред. В.Г. Герасимова. -М.: Высшая школа, 1985.
3. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. -М.: Энергоатомиздат, 1987.
4. Электротехника / Б.А. Волынский, Е.Н. Зейн, В.Е. Шатерников: Учебное пособие для вузов. -М.: Энергоатомиздат, 1987.
5. Общая электротехника: Учебное пособие для вузов/ Под ред. А.Т. Блажкина-М.: Энергоатомиздат, 1986.
6. Сборник задач с решениями по общей электротехнике/ Под ред. В.К. Пономаренко: Учеб. пособие для студентов неэлектротехнических специальностей вузов. -М.: Высшая школа, 1972.

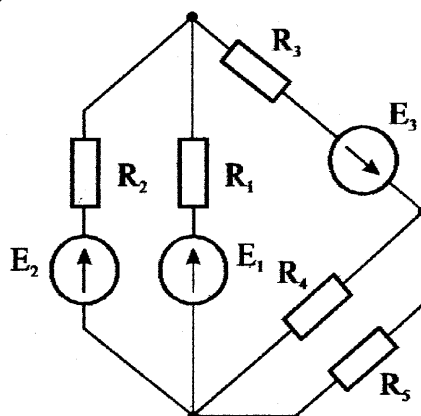
Варианты схем электрических цепей постоянного тока



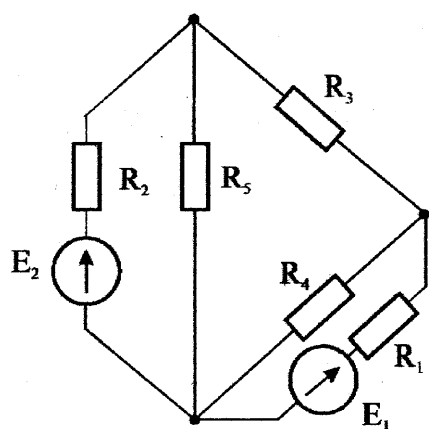




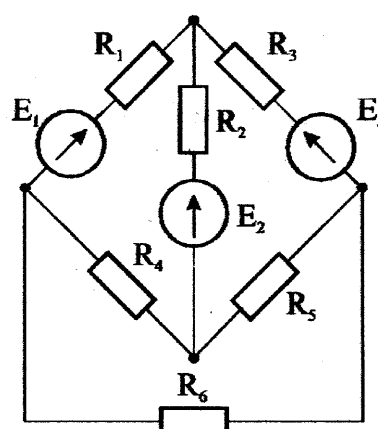
13



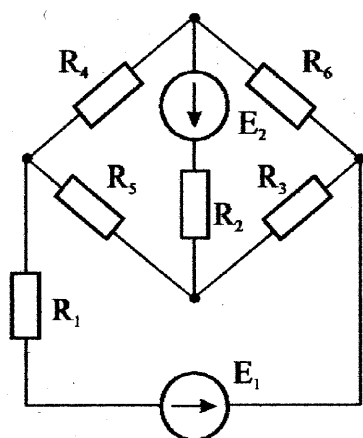
14



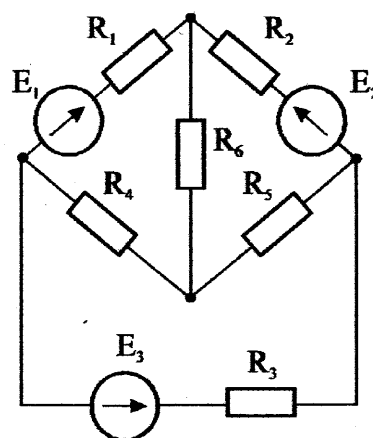
15



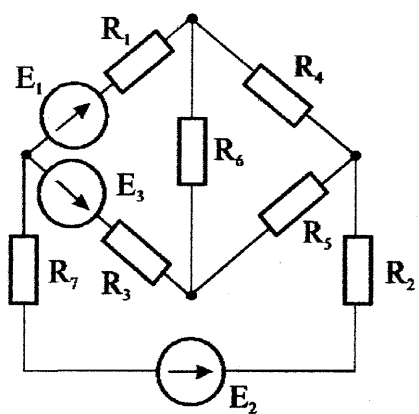
16



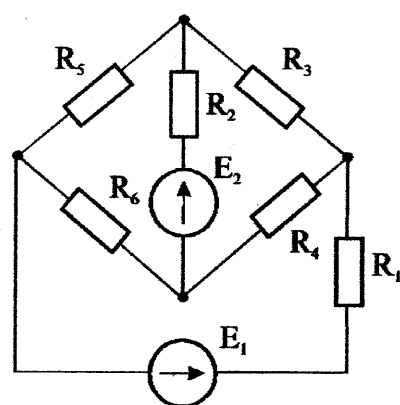
17



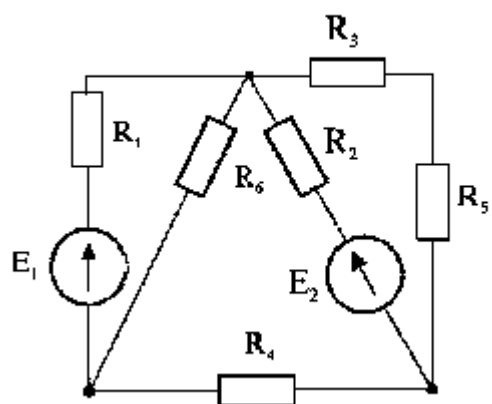
18



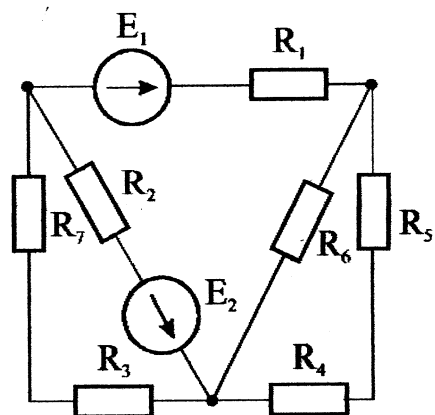
(19)



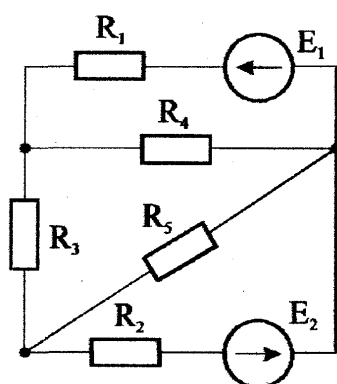
(20)



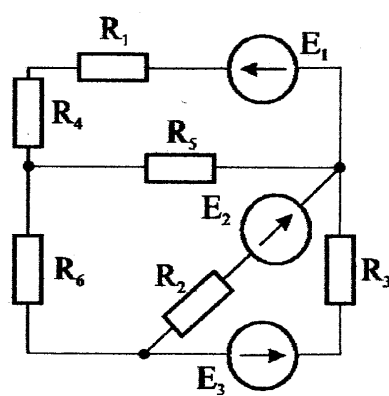
(21)



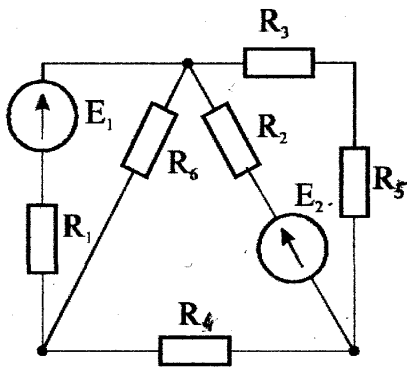
(22)



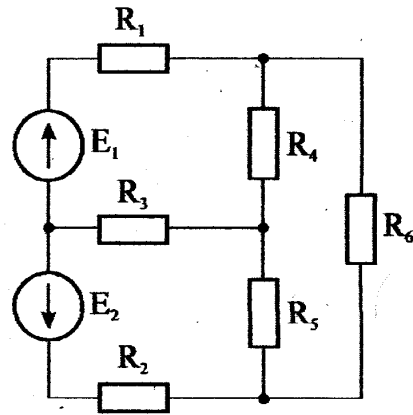
(23)



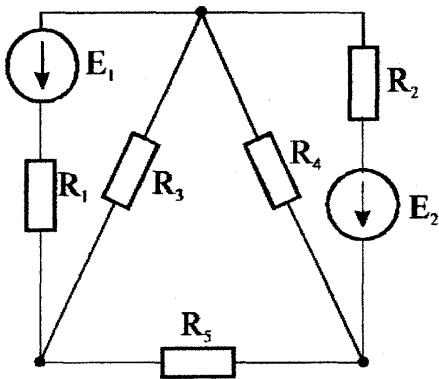
(24)



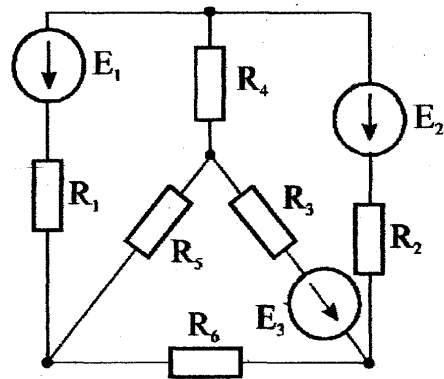
(25)



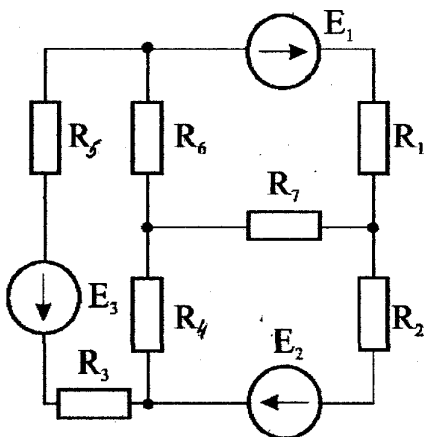
(26)



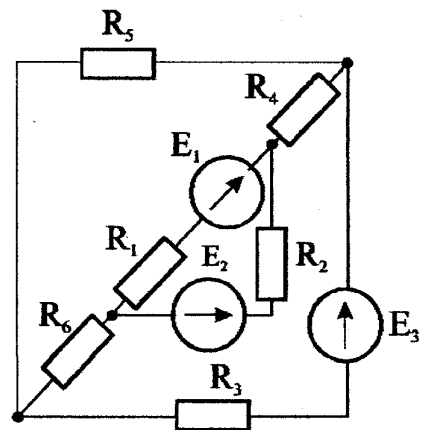
(27)



(28)



(29)



(30)

ИСХОДНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Вариант задания Номер схемы	Параметры цепи									
	E ₁ , В	E ₂ , В	E ₃ , В	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	R ₃ , Ом	R ₄ , Ом	R ₅ , Ом	R ₆ , Ом	R ₇ , Ом
1	70	5	16	5	10	10	5	5	-	-
2	96	35	-	3	15	10	6	8	-	-
3	24	96	35	10	16	8	12	18	-	-
4	70	15	5	5	4	8	65	15	-	-
5	112	60	90	10	5	4	4	10	8	-
6	120	120	128	6	5	6	5	3	3	10
7	24	12	24	2	4	2	30	6	-	-
8	12	8	-	20	40	29	8	16	5	-
9	160	300	-	100	100	150	40	34	45	-
10	50	70	-	7	50	5	20	25	-	-
11	64	42	96	4	6	5	3	2	3	-
12	25	50	30	5	3	10	5	6	3	4
13	12	16	8	3	5	4	5	3	5	3
14	60	60	120	8	8	4	16	14	-	-
15	60	120	-	10	12	45	45	45	-	-
16	100	84	140	10	10	10	12	12	12	-
17	22	10	-	10	30	60	40	22	12	-
18	10	9	15	1	2	1	4	4	5	-
19	80	100	120	3	4	4	5	6	7	8
20	20	110	-	90	20	26	22	28	30	-
21	126	120	-	6	5	10	12	17	23	-
22	168	210	-	75	45	31	33	45	75	41
23	100	140	-	14	5	10	4	5	-	-
24	30	20	200	20	6	6	8	15	40	-
25	120	100	-	6	5	10	2	17	8	-
26	140	240	-	8	6	12	12	6	8	-
27	80	120	-	29	46	100	30	72	-	-
28	32	25	45	11	17	9	14	38	21	-
29	215	95	100	22	43	78	68	52	30	12
30	45	58	30	15	100	92	130	120	150	-

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Образец оформления титульного листа пояснительной записки

The diagram illustrates the layout of a title page for an explanatory note. It features a central rectangular area with a double-line border. Dimensions are indicated by arrows: a vertical arrow at the top and bottom shows a margin of 5 units, and a horizontal arrow on the left shows a margin of 20 units. A smaller horizontal arrow on the right indicates a margin of 5 units. The text is centered within the page.

УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра электротехники и электрооборудования
предприятий

Расчетно-графическая работа №1

Расчет цепей постоянного тока

Вариант №

Выполнил ст. гр. ГГ-07-01 Иванов И.И.

Проверил Шарипова С.Ф.

Уфа 2009

СОДЕРЖАНИЕ

	С.
1. СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАНИЯ И ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ	3
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЯ	3
2.1. Расчет электрической цепи методом эквивалентных преобразований (свертывания схемы)	3
2.2. Расчет электрической цепи методом непосредственного применения законов Кирхгофа	6
2.3. Расчет электрической цепи методом контурных токов	7
2.4. Баланс мощностей цепи	9
2.5. Расчет потенциальной диаграммы	9
3. ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ, ЗАДАВАЕМЫХ ПРИ ЗАЩИТЕ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ	12
ЛИТЕРАТУРА	12
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Варианты схем электрических цепей постоянного тока	13
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Исходные значения параметров электрических цепей	18
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Образец оформления титульного листа пояснительной записки	19