МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра электроснабжения



РАСЧЕТ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Задания и методические рекомендации по выполнению расчётной работы по дисциплине «Теоретические основы электротехники»

Курск 2023

УДК 621.38

Составители: А. С. Романченко, И. А. Башмакова

Рецензент
Кандидат технических наук, доцент *А. С. Чернышёв*

Расчет цепи постоянного тока : задания и методические рекомендации по выполнению расчетной работы по дисциплине «Теоретические основы электротехники» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: А. С. Романченко, И. А. Башмакова. - Курск, 2023. 12 с.: ил. 6. Библиогр.: с. 12.

Приведены задания и методические рекомендации по выполнению расчетной работы. Рассматриваются методы расчета электрической цепи на примере цепи постоянного тока: метод непосредственного использования законов Кирхгофа, метод контурных токов, метод эквивалентного генератора, метод двух узлов, метод узловых потенциалов. Показана проверка результатов расчетов с помощью составления баланса мощностей и построения потенциальной диаграммы.

Предназначены для индивидуальной самостоятельной работы студентов технических направлений подготовки и специальностей при изучении дисциплины «Теоретические основы электротехники». Могут быть использованы преподавателями, ведущими практические занятия по электротехнике.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. . Уч.-изд.л. . Тираж 50 экз. Заказ . Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Расчѐтная работа является одним из видов самостоятельной работы студентов. Данная работа выполняется в домашних условиях в соответствии с рабочей программой дисциплины «Теоретические основы электротехники» и служит развитию необходимых будущему специалисту навыков практического использования основных методов расчета электрических цепей (на примере цепи постоянного тока) при заданных параметрах их элементов, а также для стимулирования более глубокого и систематического изучения соответствующих разделов дисциплины «Теоретические основы электротехники».

Основные цели данной работы:

1) научиться составлять уравнения по законам Кирхгофа, которые описывают данную электрическую цепь;

2) научиться рассчитывать сложную электрическую цепь:

- методом контурных токов;
- методом эквивалентного генератора;
- методом двух узлов;
- методом узловых потенциалов;

3) научиться производить эквивалентные преобразования в электрической цепи;

4) научиться строить потенциальную диаграмму цепи.

Выполнение расчетной работы также способствует изучению стандартных методов оформления текстовой и графической расчетно-конструкторской документации.

Приступая к выполнению расчетной работы, следует повторить или изучить самостоятельно основные положения раздела «Линейные электрические цепи постоянного тока» дисциплины «Теоретические основы электротехники».

2. ЗАДАНИЕ НА ВЫПОЛНЕНИЕ РАСЧЁТНОЙ РАБОТЫ

2.1. Для заданной согласно своему варианту электрической схемы составить систему уравнений по законам Кирхгофа, достаточную для определения токов ветвей. Полученную систему уравнений не решать.

2.2. Рассчитать токи во всех ветвях заданной электрической схемы методом контурных токов. Правильность расчетов проверить составлением баланса мощностей.

2.3. Рассчитать ток в ветви *cd* методом эквивалентного генератора. При этом ЭДС эквивалентного генератора определить, используя метод двух узлов.

2.4. Рассчитать токи во всех ветвях заданной электрической схемы методом узловых потенциалов.

2.4. Построить потенциальную диаграмму для контура *abcd*.

2.5. Примечания:

1. Первая цифра в трехзначном номере варианта, заданного преподавателем, соответствует порядковому номеру строки в таблице 2.1, вторая цифра – порядковому номеру строки в таблице 2.2, третья цифра – номеру схемы на рис. 2.1.

2. Баланс мощностей должен сойтись с погрешностью не более 1%.

Таблица № 2.1

№ п/п	E_1 В	E_2 В
1	12	16
2	18	20
3	19	13
4	19	16
5	19	14
6	12	20
7	18	17
8	14	18
9	16	14
0	18	16

Таблица № 2.2

№ п/п	R_1 Ом	R_2 Ом	R_3 Ом	R_4 Ом	R_5 Ом	R_6 Ом
1	6	7	8	6	8	5
2	6	8	10	5	9	7
3	7	8	9	10	5	7
4	7	9	6	10	8	6
5	6	7	10	5	3	2
6	6	8	9	5	7	9
7	7	8	6	9	5	10
8	8	9	10	7	5	6
9	6	7	9	8	10	6
0	6	9	10	5	7	8

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЯ

3.1. Выполненная расчётно-графическая работа (оформляется на листах формата А4, графическая часть выполняется, как правило, на миллиметровой или клетчатой бумаге) должна содержать:

1) титульный лист;

2) задание на расчетную работу, оформляемое на первой после титульного листа странице и содержащее номер варианта, электрическую схему и исходные данные к расчету, пункты задания, которые необходимо выполнить;

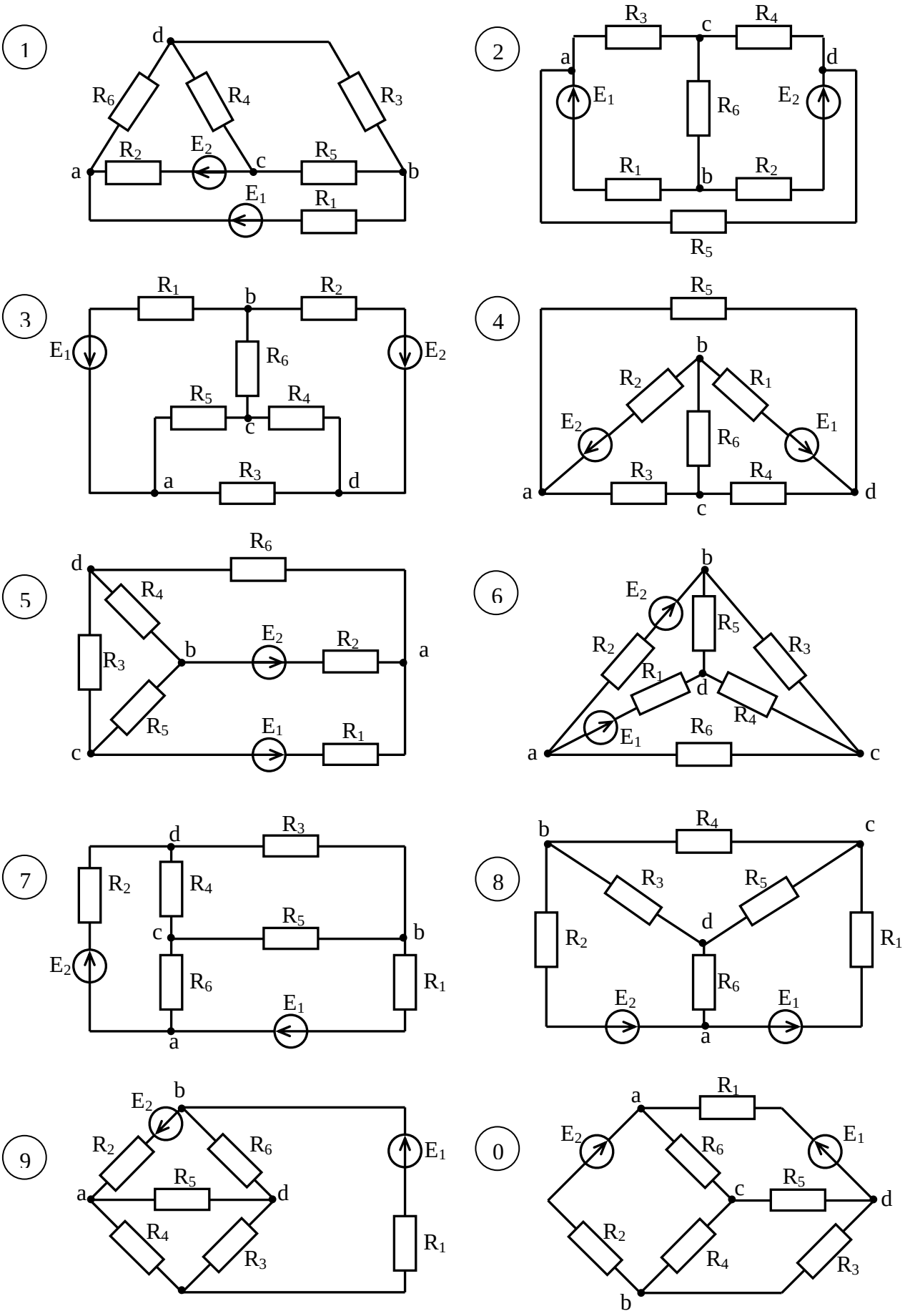


Рис.2.1. Расчетные схемы

3) расчеты, потенциальная диаграмма, предусмотренные заданием. Рекомендуемое оформление расчетов: *рассчитываемая величина = формула с буквенными обозначениями = формула с подставленными числовыми значениями = результат расчета с сокращенным обозначением единицы измерения*.

Промежуточные этапы расчета для сложных формул можно не приводить. Расчет должен сопровождаться пояснительным текстом и при необходимости ссылками на использованную литературу;

4) список используемой литературы на последней странице.

Все элементы электрических схем следует изображать в соответствии с государственными стандартами, используя чертежные инструменты. Листы расчетной работы должны быть скреплены. Образец выполнения титульного листа показан на рис. 3.1.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра электроснабжения

РАСЧЁТНАЯ РАБОТА
по дисциплине «Теоретические основы электротехники»
«Расчет цепи постоянного тока»

Выполнил: студент группы ЭС-21б В.Н. Иванов

Принял: доцент И.С. Петров

Курск - 2023

Рис. 3.1. Пример оформления титульного листа

3.2. Рассмотрим в качестве примера расчет схемы, представленной на рис. 3.2, для которой задано:

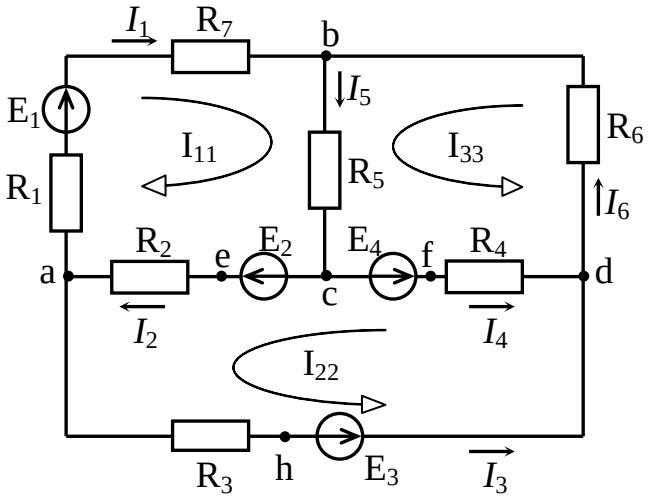


Рис. 3.2

$E_1=E_2=E_3=4$ В, $E_4=8$ В
$R_1=R_2=R_3=R_4=R_5=R_6=R_7=2$ Ом

3.2.1. Запишем для схемы на рис. 3.2 уравнения по законам Кирхгофа, необходимые для определения всех токов.

Количество уравнений, записываемых по первому закону Кирхгофа, на единицу меньше, чем число узлов схемы, т.е. для схемы на рис. 3.2 должно быть 3 уравнения, например для узлов *a*,*b*,*c*:

$$I_2 - I_1 - I_3 = 0,$$
$$I_1 + I_6 - I_5 = 0,$$
$$I_5 - I_2 - I_4 = 0.$$

Так как в цепи на рис. 3.2 шесть ветвей и шесть токов, то остальные три уравнения записываем по второму закону Кирхгофа:

$$I_1(R_1+R_7) + I_5R_5 + I_2R_2 = E_1+E_2,$$
$$I_2R_2 + I_3R_3 - I_4R_4 = E_2+E_3 - E_4,$$
$$I_5R_5 + I_4R_4 + I_6R_6 = E_4.$$

3.2.2. Рассчитаем схему на рис 3.2. методом контурных токов:

$$\left.\begin{aligned} I_{11}(R_1+R_2+R_5+R_7) + I_{22}R_2 + I_{33}R_5 &= E_1+E_2 \\ I_{22}(R_2+R_3+R_4) + I_{11}R_2 - I_{33}R_4 &= E_2+E_3-E_4 \\ I_{33}(R_4+R_5+R_6) + I_{11}R_5 - I_{22}R_4 &= E_4 \end{aligned}\right\}$$

Подставляем исходные данные:

$$\left.\begin{aligned} 8I_{11} + 2I_{22} + 2I_{33} &= 8 \\ 2I_{11} + 6I_{22} - 2I_{33} &= 0 \\ 2I_{11} - 2I_{22} + 6I_{33} &= 8 \end{aligned}\right\}$$

Результаты расчета:
I_{11}=0,667 А,
I_{22}=0,167 А,
I_{33}=1,167 А.
Токи ветвей:
$I_1 = I_{11}$=0,667 А,
$I_2 = I_{11} + I_{22}$=0,834 А,
$I_3 = I_{22}$=0,167 А,
$I_4 = I_{33} - I_{22}$=1 А,
$I_5 = I_{11} + I_{33}$=1,834 А,
$I_6 = I_{33}$=1,167 А.
Результаты расчета проверим составлением баланса мощностей:
– мощность источников:
$P_и = I_1E_1 + I_2E_2 + I_3E_3 + I_4E_4$=14,672 (Вт);
– мощность нагрузки:
$P_н = I_1^2(R_1 + R_7) + I_2^2R_2 + I_3^2R_3 + I_4^2R_4 + I_5^2R_5 + I_6^2R_6$=14,677 (Вт).
$P_и \approx P_н$, т.е. баланс сошелся.

3.2.3. Определим ток в ветви *bd* (ток I_6) методом эквивалентного генератора. Для этого исходную схему на рис. 3.2 сводим к схеме, представленной на рис. 3.3, где в качестве активного двухполюсника А рассматривается исходная схема в режиме холостого хода, т.е. без ветви *bd* (рис. 3.4).

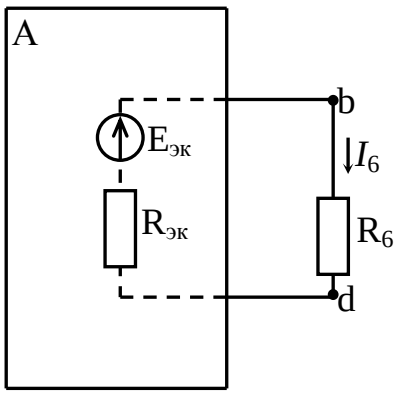


Рис. 3.3

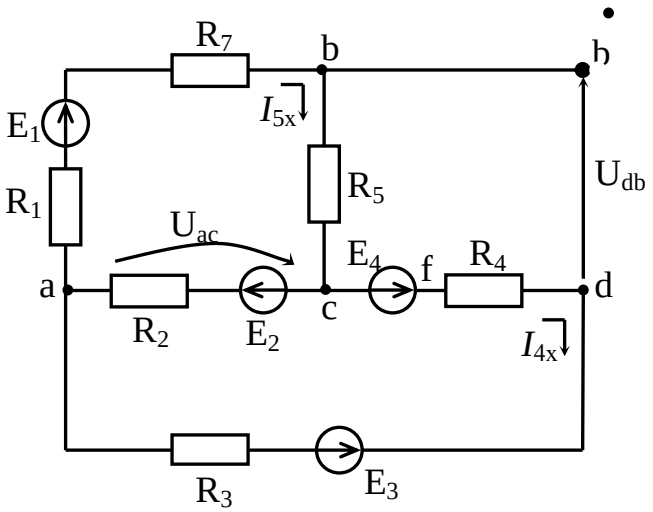


Рис. 3.4

Из схемы рис. 3.3 ток I_6 определяется по закону Ома для замкнутой цепи:

$$I_6 = \frac{E_{эк}}{R_6 + R_{эк}},$$

но для этого нужно найти $E_{эк}$ и $R_{эк}$.

ЭДС эквивалентного генератора $E_{эк}$ найдем как U_{db} на схеме рис.3.4, т.е. в режиме холостого хода исходной схемы на рис. 3.2. Для этого найдем токи I_{4x}, I_{5x} методом двух узлов для схемы на рис.3.4:

$$U_{ac} = \frac{\frac{E_2}{R_2} + \frac{E_4 - E_3}{R_3 + R_4} + \frac{E_1}{R_1 + R_7 + R_5}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3 + R_4} + \frac{1}{R_1 + R_7 + R_5}} = 2{,}545(B),$$

$$I_{5x} = \frac{E_1 + U_{ac}}{R_7 + R_5 + R_1} = 1{,}091(A),$$

$$I_{4x} = \frac{E_4 - E_3 - U_{ac}}{R_3 + R_4} = 0{,}364(A).$$

Напряжение U_{db} определим из контура *bcdb*:

$I_{5x}R_5 + I_{4x}R_4 + U_{db} = E_4$,

откуда:

$E_{эк} = U_{db} = E_4 - I_{5x}R_5 - I_{4x}R_4 = 5{,}09$ (В).

Внутреннее сопротивление эквивалентного генератора $R_{эк}$ находим как внутреннее (входное) сопротивление схемы на рис. 3.4. Для этого преобразуем треугольник сопротивлений $R_1R_2R_7$ в звезду сопротивлений $R_aR_bR_c$, как это показано на рис.3.5, после чего найдем $R_{эк}$:

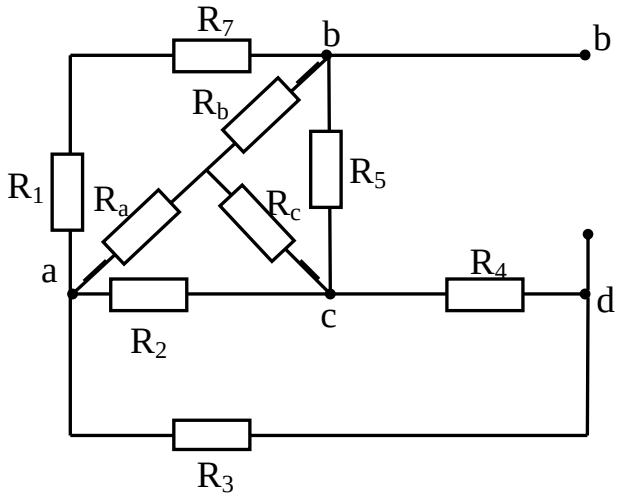


Рис. 3.5

$$R_a = \frac{(R_1 + R_7)R_2}{(R_1 + R_7) + R_2 + R_5} = 1(Ом);$$

$$R_b = \frac{(R_1 + R_7)R_5}{(R_1 + R_7) + R_2 + R_5} = 1(Ом);$$

$$R_c = \frac{R_2 R_5}{(R_1 + R_7) + R_2 + R_5} = 0{,}5(Ом);$$

$$R_{эк} = \frac{(R_c + R_4)(R_a + R_3)}{R_c + R_4 + R_a + R_3} + R_b = 2{,}364(Ом).$$

Находим ток I_6:

$$I_6 = \frac{5{,}09}{2{,}364 + 2} = 1{,}166(A),$$

Полученное значение равно ранее найденному методом контурных токов значению тока I_6.

3.2.4. Рассчитаем исходную схему методом узловых потенциалов. Для этого примем потенциал, например, узла *a* равным нулю. Тогда составим систему уравнений для нахождения потенциалов оставшихся узлов *b*, *c*, *d*:

$$\left.\begin{aligned}
\varphi_b\left(\frac{1}{R_1 + R_7} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6}\right) - \varphi_c \frac{1}{R_5} - \varphi_d \frac{1}{R_6} &= E_1 \frac{1}{R_1 + R_7} \\
\varphi_c\left(\frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4}\right) - \varphi_b \frac{1}{R_5} - \varphi_d \frac{1}{R_4} &= -E_2 \frac{1}{R_2} - E_4 \frac{1}{R_4} \\
\varphi_d\left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_6}\right) - \varphi_c \frac{1}{R_4} - \varphi_b \frac{1}{R_6} &= E_4 \frac{1}{R_4} + E_3 \frac{1}{R_3}
\end{aligned}\right\}$$

Подставляем заданные значения ЭДС и сопротивлений:

$$\left.\begin{aligned}
\varphi_b\left(\frac{1}{2+2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}\right) - \varphi_c \frac{1}{2} - \varphi_d \frac{1}{2} &= 4\frac{1}{2+2} \\
\varphi_c\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}\right) - \varphi_b \frac{1}{2} - \varphi_d \frac{1}{2} &= -4\frac{1}{2} - 8\frac{1}{2} \\
\varphi_d\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}\right) - \varphi_c \frac{1}{2} - \varphi_b \frac{1}{2} &= 8\frac{1}{2} + 2\frac{1}{2}
\end{aligned}\right\}$$

Результаты расчета:

φ_b=1,333 В, φ_c=-2,333 В, φ_d=3,667 В.

Токи находим по закону Ома для участка цепи:

$$I_1 = \frac{E_1 + \varphi_a - \varphi_b}{R_1 + R_7} = \frac{4 - 1{,}333}{2 + 2} = 0{,}667(A),$$

$$I_2 = \frac{E_2 + \varphi_c - \varphi_a}{R_2} = \frac{4 - 2{,}333}{2} = 0{,}833(A),$$

$$I_3 = \frac{E_3 + \varphi_a - \varphi_d}{R_3} = \frac{4 - 3{,}667}{2} = 0{,}167(A),$$

$$I_4 = \frac{E_4 + \varphi_c - \varphi_d}{R_4} = \frac{8 - 2{,}333 - 3{,}667}{2} = 1(A),$$

$$I_5 = \frac{\varphi_b - \varphi_c}{R_5} = \frac{1{,}333 + 2{,}333}{2} = 1{,}834(A),$$

$$I_6 = \frac{\varphi_d - \varphi_b}{R_6} = \frac{3{,}667 - 1{,}333}{2} = 1{,}167(A).$$

Получили значения токов, совпадающие со значениями, полученными в методе контурных токов.

3.2.5. Построим потенциальную диаграмму для контура *acda*, для этого примем $\varphi_a = 0$. Потенциалы остальных точек контура равны:

$\varphi_e = \varphi_a + I_2R_2 = 1{,}668$ (В), $\varphi_c = \varphi_e - E_2 = -2{,}332$ (В),

$\varphi_f = \varphi_c + E_4 = 5{,}668$ (В), $\varphi_d = \varphi_f - I_4R_4 = 3{,}668$ (В),

$\varphi_h = \varphi_d - E_3 = -0{,}032$ (В), $\varphi_a = \varphi_h + I_3R_3 = 0{,}002 \approx 0$(В).

Потенциальная диаграмма представлена на рис. 3.6.

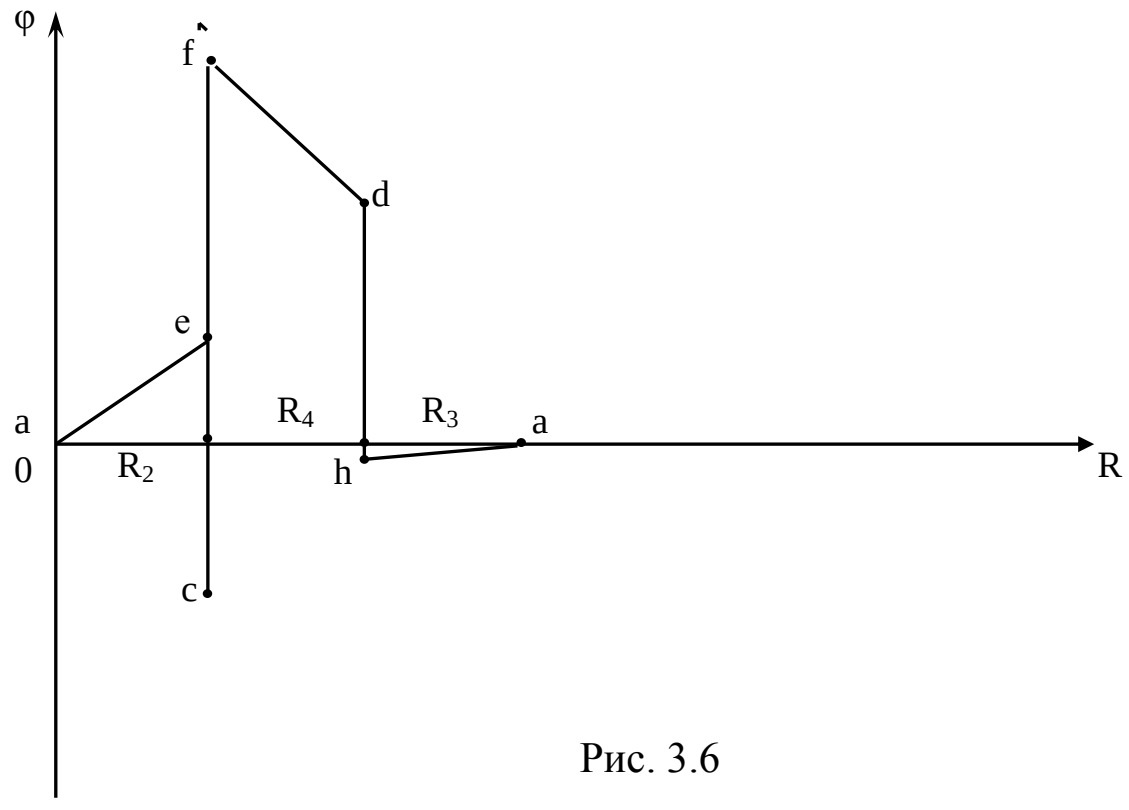


Рис. 3.6

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : учебник / Л. А. Бессонов. – 10-е изд. – М.: Гардарики, 2002. – 638 с. - Текст : непосредственный.

2. Основы теории цепей: Практический курс / Б. В. Литвинов, О. Б. Давыденко, И. И. Заякин и др. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2011. – 346 с. – (Учебники НГТУ). – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=135596 (дата обращения: 02.09.2021). – Режим доступа: по подписке. – Текст : электронный.

3. Малинин, Л. И. Теория цепей современной электротехники [Электронный ресурс] : учебное пособие / Л.И. Малинин, В.Ю. Нейман. – Новосибирск: НГТУ, 2013. – 347 с. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=135597 (дата обращения 02.09.2021) . - Режим доступа: по подписке. - ISBN 978-5-7782-2043-0. - Текст : электронный.

4. Попов, В. П. Основы теории цепей : учебник для вузов / В. П. Попов. - 3-е изд., испр. - М. : Высшая школа, 2000. - 575 с. - Текст : непосредственный.

5. Сборник задач по теоретическим основам электротехники : учебное пособие / под ред. Л. А. Бессонова. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 2003. - 528 с. - Текст : непосредственный.