

## Расчёт разветвлённой электрической цепи постоянного тока

Для электрической схемы, представленной на рис. 1.7\* необходимо:

1) Рассчитать значения всех неизвестных токов, используя:

- законы Кирхгофа;
- метод контурных токов.

2) Рассчитать баланс мощностей.

3) Построить потенциальную диаграмму для внешнего контура.

Исходные данные для расчёта:

$$E_3 = 10 \text{ В}, E_4 = 20 \text{ В}, J_6 = 2 \text{ А},$$

$$R_1 = 1 \text{ Ом}, R_2 = 2 \text{ Ом}, R_3 = 3 \text{ Ом}, R_4 = 4 \text{ Ом}, R_5 = 5 \text{ Ом}.$$

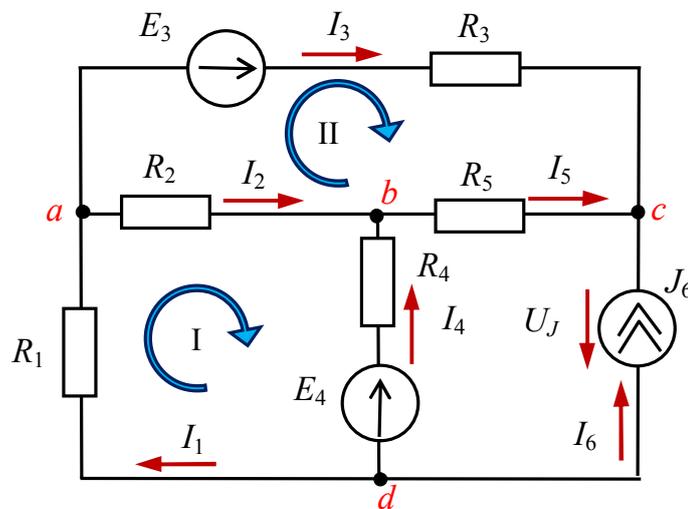


Рис. 1.7. Расчётная схема цепи постоянного тока

### Прямой метод расчёта (по законам Кирхгофа)

Всего в схеме шесть ветвей  $p_B = 6$ , ветвей с источниками тока  $p_T = 1$ , число неизвестных токов равно  $p = p_B - p_T = 5$ , количество узлов  $q = 4$ , число уравнений по первому закону Кирхгофа  $-(q - 1) = 4 - 1 = 3$ , число уравнений по второму закону Кирхгофа  $n = p - (q - 1) = 2$ .

Выберем положительные направления токов и обозначим их стрелками. Выберем и обозначим стрелками направления обхода двух независимых контуров: I, II.

Составим систему уравнений по законам Кирхгофа (1.5), (1.7)\*

$$\text{для узла } a \quad I_1 - I_2 - I_3 = 0;$$

$$\text{для узла } b \quad I_2 + I_4 - I_5 = 0;$$

$$\text{для узла } c \quad I_3 + I_5 + I_6 = 0 \text{ или } I_3 + I_5 = -J_6;$$

$$\text{для контура I} \quad R_1 I_1 + R_2 I_2 - R_4 I_4 = -E_4;$$

$$\text{для контура II} \quad -R_2 I_2 + R_3 I_3 - R_5 I_5 = E_3.$$

\* ссылки на номера формул и рисунков из учебно-методического пособия:

Лазута, И. В. Расчёт и анализ электрических цепей и устройств : учебно-методическое пособие / И.В. Лазута, И.А. Реброва. – Электрон. дан. – Омск : СибАДИ, 2019.

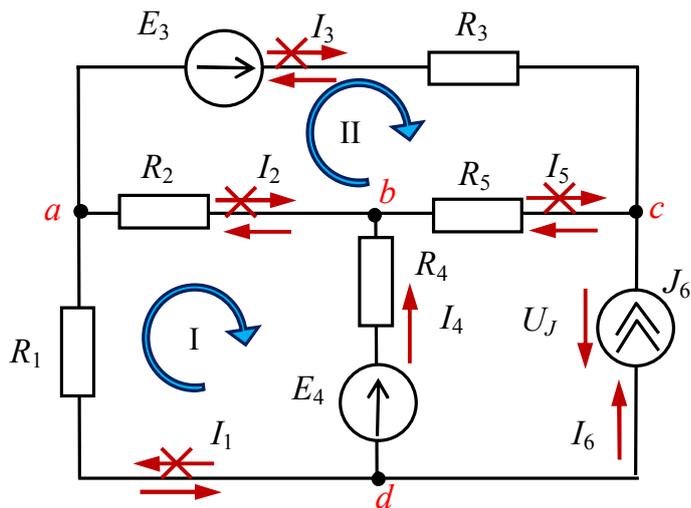
Полученные уравнения после подстановки в них числовых значений будут иметь следующий вид:

$$\begin{cases} I_1 - I_2 - I_3 = 0, \\ I_2 + I_4 - I_5 = 0, \\ I_3 + I_5 = -2, \\ I_1 + 2I_2 - 4I_4 = -20, \\ -2I_2 + 3I_3 - 5I_5 = 10. \end{cases}$$

Решение данной системы даёт числовые значения искомых токов:

$$I_1 = -4,24 \text{ А}; I_2 = -3,39 \text{ А}; I_3 = -0,85 \text{ А}; I_4 = 2,24 \text{ А}; I_5 = -1,15 \text{ А}.$$

Токи, имеющие знак «-», в действительности имеют обратное направление. Разворачиваем их на схеме и считаем их значение положительным!!!!!!



### Метод контурных токов

Выберем направления контурных токов (рис. 1.8)\*, которые обозначим  $I_{11}$ ,  $I_{22}$  и  $J_6$  (последний известен).

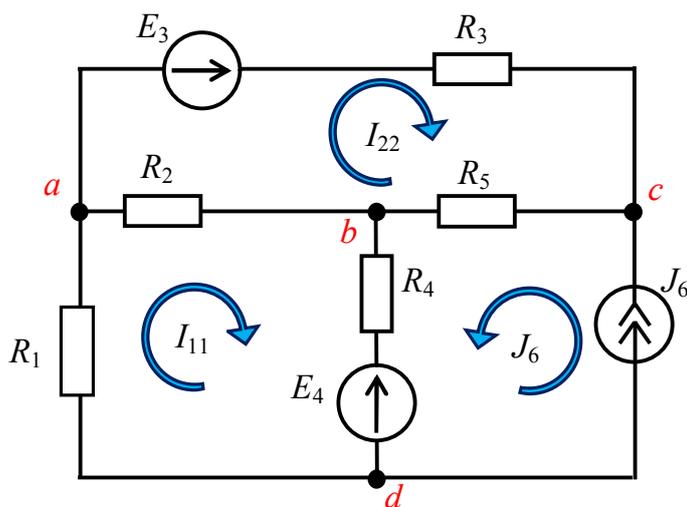


Рис. 1.8. Применение метода контурных токов

\* ссылки на номера формул и рисунков из учебно-методического пособия: Лазута, И. В. Расчёт и анализ электрических цепей и устройств : учебно-методическое пособие / И.В. Лазута, И.А. Реброва. – Электрон. дан. – Омск : СибАДИ, 2019.

Составим систему уравнений по второму закону Кирхгофа для контуров с токами  $I_{11}$  и  $I_{22}$  (1.12)\*:

$$\begin{cases} (R_1 + R_2 + R_4)I_{11} - R_2I_{22} + R_4J_6 = -E_4, \\ -R_2I_{11} + (R_2 + R_3 + R_5)I_{22} + R_5J_6 = E_3. \end{cases}$$

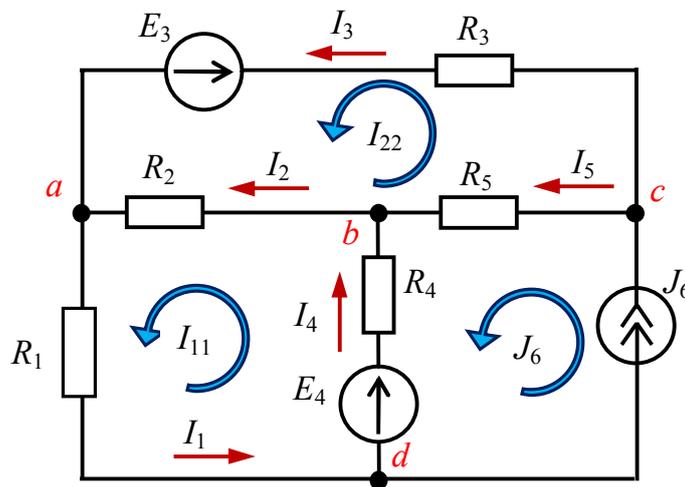
После подстановки числовых значений имеем

$$\begin{cases} 7I_{11} - 2I_{22} + 8 = -20, & \begin{cases} 7I_{11} - 2I_{22} = -28, \\ -2I_{11} + 10I_{22} = 0. \end{cases} \end{cases}$$

Решив эту систему уравнений, найдём контурные токи:

$$I_{11} = -4,24 \text{ А}, \quad I_{22} = -0,85 \text{ А}.$$

Полученные контурные токи, имеющие знак «-», в действительности имеют обратное направление. Разворачиваем их на схеме и считаем их значение положительным.  $I_{11} = 4,24 \text{ А}$ ,  $I_{22} = 0,85 \text{ А}$ .



Находим токи ветвей.

Токи внешних ветвей равны соответствующим контурным токам.

Ток  $I_1$  имеет направление контурного тока  $I_{11}$  и равен ему  $I_1 = I_{11} = 4,24 \text{ А}$ .

Ток  $I_3$  совпадает с контурным током  $I_{22}$  и равен ему  $I_3 = I_{22} = 0,85 \text{ А}$ .

Токи во внутренних ветвях цепи определяем как алгебраическую сумму или разность контурных токов. Если токи в ветви совпадают по направлению, то суммируются, а если не совпадают – вычитаются (из большего меньший).

Ток  $I_2$  получится от наложения контурных токов  $I_{11}$  и  $I_{22}$  и будет равен  $I_2 = I_{11} - I_{22} = 4,24 - 0,85 = 3,39 \text{ А}$ .

\* ссылки на номера формул и рисунков из учебно-методического пособия:

Лазута, И. В. Расчёт и анализ электрических цепей и устройств : учебно-методическое пособие / И.В. Лазута, И.А. Реброва. – Электрон. дан. – Омск : СибАДИ, 2019.

Ток  $I_4$  получится от наложения контурных токов  $I_{11}$  и  $J_6$  и будет равен  $I_4 = I_{11} - J_6 = 4,24 - 2 = 2,24$  А.

Ток  $I_5$  получится от наложения контурных токов  $I_{22}$  и  $J_6$  и будет равен  $I_5 = J_6 - I_{22} = 2 - 0,85 = 1,15$  А.

В итоге, полученные методом контурных токов значения токов ветвей совпадают с первоначально найденными. Таким образом, расчет токов проведен верно.

**Расчёт баланса мощностей** для схемы на рис. 1.7\*.

Суммарная мощность источников тока и ЭДС

$$\sum P_{II} = -E_3 I_3 + E_4 I_4 + J_6 U_J.$$

Падение напряжения на источнике тока  $U_J$  определяем по второму закону Кирхгофа для контура, содержащего источник тока:

$$U_J + R_4 I_4 - R_5 I_5 = E_4;$$

$$U_J = E_4 - R_4 I_4 + R_5 I_5 =$$

$$= 20 - 4 \cdot 2,24 + 5 \cdot 1,15 = 16,79;$$

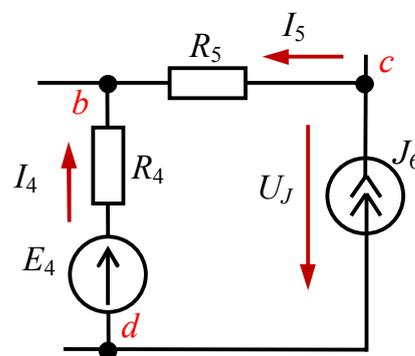
$$\sum P_{II} = -10 \cdot 0,85 + 20 \cdot 2,24 + 2 \cdot 16,79 = 69,88 \text{ Вт.}$$

Суммарная мощность приёмников

$$\sum P_{II} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 + R_3 I_3^2 + R_4 I_4^2 + R_5 I_5^2 = 69,81 \text{ Вт.}$$

$\sum P_{II} \approx \sum P_{II}$ , следовательно, баланс мощностей сходится.

Так как баланс мощностей сошелся, можно утверждать что расчет токов проведен верно.



\* ссылки на номера формул и рисунков из учебно-методического пособия:

Лазута, И. В. Расчёт и анализ электрических цепей и устройств : учебно-методическое пособие / И.В. Лазута, И.А. Реброва. – Электрон. дан. – Омск : СибАДИ, 2019.

### Построение потенциальной диаграммы для внешнего контура

За исходную точку принимаем точку  $d$ ,  $\varphi_d = 0$  (рис. 1.12, а)\*. Относительно этой точки в произвольном направлении рассчитываются потенциалы всех точек контура по закону Ома (1.2), (1.3)\*.

Потенциал точки  $a$

$$I_1 = U_{ad} / R_1 = (\varphi_a - \varphi_d) / R_1;$$

$$\varphi_a = \varphi_d + I_1 R_1 = 0 + 4,24 \cdot 1 = 4,24 \text{ В.}$$

Потенциал точки  $c$

$$U_{ca} = \varphi_c - \varphi_a = I_3 R_3 + E_3;$$

$$\varphi_c = \varphi_a + E_3 + I_3 R_3 = 4,24 + 10 + 0,85 \cdot 3 = 16,79 \text{ В.}$$

Так как сопротивление идеального источника тока  $J_6$  равно нулю, потенциал точки  $d$  определяем через падение напряжения  $U_J$  на источнике,

$$U_J = \varphi_c - \varphi_d; \varphi_d = \varphi_c - U_J = 16,79 - 16,79 = 0 \text{ В.}$$

Потенциальная диаграмма представлена на рис. 1.12, б\*.

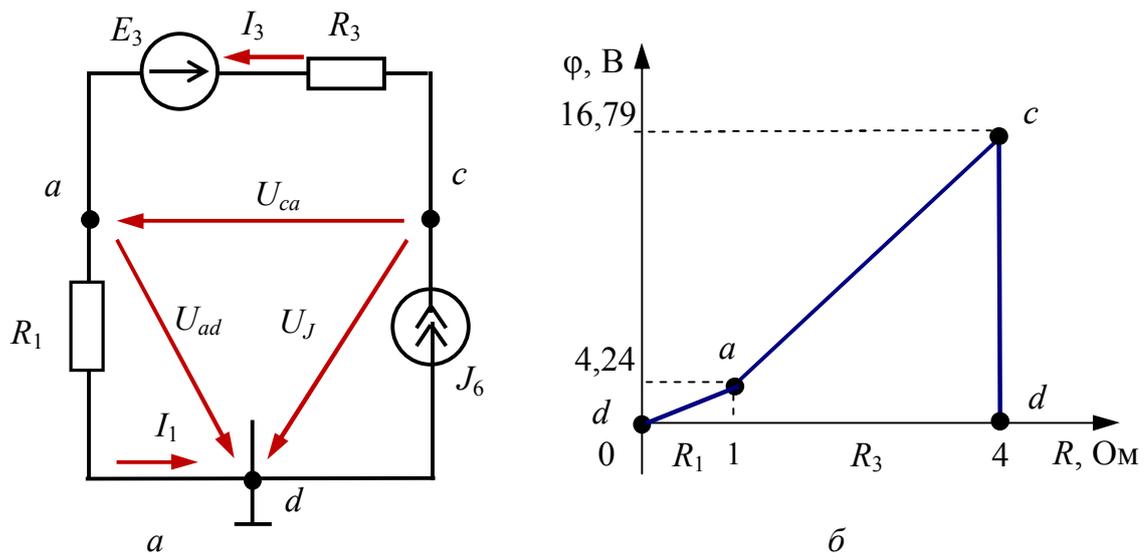


Рис. 1.12. Потенциальная диаграмма для внешнего контура

\* ссылки на номера формул и рисунков из учебно-методического пособия:  
Лазута, И. В. Расчёт и анализ электрических цепей и устройств : учебно-методическое пособие / И.В. Лазута, И.А. Реброва. – Электрон. дан. – Омск : СибАДИ, 2019.