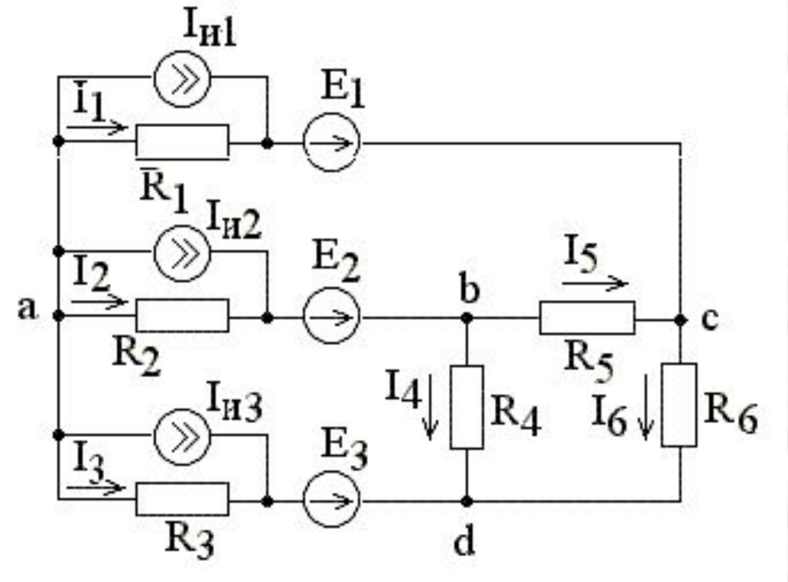
Основные методы расчета (анализа) линейных электрических цепей

Общая задача расчета – определение токов во всех участках цепи при заданных параметрах элементов цепи и известной конфигурации.

Особенности разных методов рассмотрим на примере одной и той же цепи.

1. Метод Кирхгофа (Метод токов и напряжений).

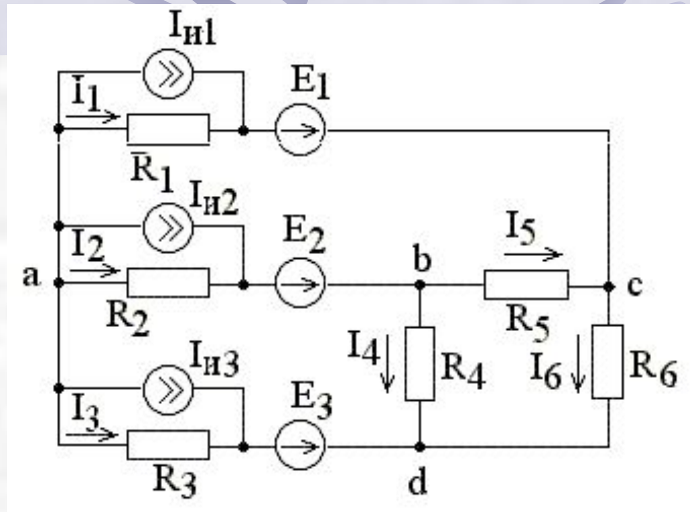


Выберем произвольно положительные направления токов во всех ветвях цепи.

При записи уравнений для узлов по первому закону Кирхгофа – число независимых уравнений на 1 меньше числа узлов *n*, т.е. нужно составить *n*-1 уравнений.

При составлении уравнений по второму закону Кирхгофа для получения независимой системы необходимо выбрать контуры так, чтобы каждый следующий содержал хотя бы одну ветвь, не вошедшую в контуры, для которых уже составлены уравнения.

Число токов равно числу ветвей *m*. Для их определения необходимо составить *m* независимых уравнений. Т.к. по первому з-ну составляется *n*-1 уравнений, то на основании второго з-на нужно составить *m*-(*n*-1) уравнений.

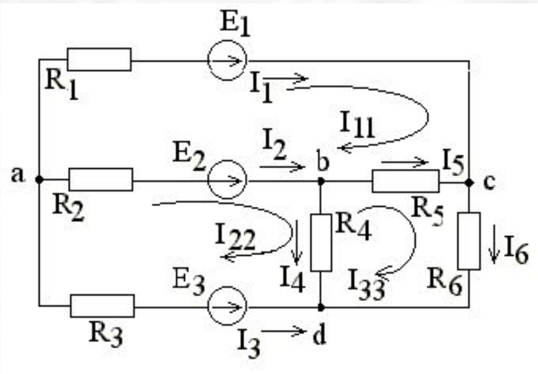


$$
\begin{cases}
-I_1 - I_2 - I_3 - I_{И1} - I_{И2} - I_{И3} = 0 & \text{для узла } \mathbf{a}; \\
I_2 + I_{И2} - I_4 - I_5 = 0 & \text{для узла } \mathbf{b}; \\
I_1 + I_{И1} + I_5 - I_6 = 0 & \text{для узла } \mathbf{c}; \\
E_1 - E_2 = R_1 I_1 - R_5 I_5 - R_2 I_2 & \text{для контура } \mathbf{I}; \\
E_2 - E_3 = R_2 I_2 + R_4 I_4 - R_3 I_3 & \text{для контура } \mathbf{II}; \\
0 = R_5 I_5 - R_4 I_4 + R_6 I_6 & \text{для контура } \mathbf{III}.
\end{cases}
$$

Решая систему уравнений, найдем искомые токи, а, зная сопротивления ветвей, можно найти напряжения между узлами.

2. Метод контурных токов

При составлении уравнений используется только второй закон Кирхгофа.



$$\begin{cases} E_1 - E_2 = (R_1 + R_5 + R_2)I_{11} - R_2 I_{22} - R_5 I_{33} & \text{для контура I;} \\ E_2 - E_3 = -R_2 I_{11} + (R_4 + R_2 + R_3)I_{22} - R_4 I_{33} & \text{для контура II;} \\ 0 = -R_5 I_{11} - R_4 I_{22} + (R_6 + R_4 + R_5)I_{33} & \text{для контура III.} \end{cases}$$

Определив контурные токи из полученной системы уравнений, найдем токи в ветвях

$$I_1 = I_{11}, \quad I_2 = I_{22} - I_{11}, \quad I_3 = -I_{22}, \quad I_4 = I_{22} - I_{33},$$
$$I_5 = I_{33} - I_{11}, \quad I_6 = I_{33}.$$

В общем случае для $n-$ контурной схемы получается n уравнений:

$$\begin{cases} E_{11} = R_{11}I_{11} + R_{12}I_{22} + \ldots + R_{1n}I_{nn} \ ; \\ E_{22} = R_{21}I_{11} + R_{22}I_{22} + \ldots + R_{2n}I_{nn} \ ; \\ \text{- -} \\ E_{nn} = R_{n1}I_{11} + R_{n2}I_{22} + \ldots + R_{nn}I_{nn} \ . \end{cases}$$

Согласно теореме Крамера, решение для любого контурного тока может быть найдено как

$$I_{kk} = \frac{1}{\Delta}\sum_{i=1}^{n} E_{ii}\Delta_{ik}$$

3. Метод наложения

Ток в любой $k-$ ой ветви сложной электрической цепи можно найти, составив уравнения по методу контурных токов, выбрав контуры так, чтобы $k-$ ая ветвь входила только в один контур. Тогда ток в $k-$ ой ветви будет равен контурному току, определенному выше:

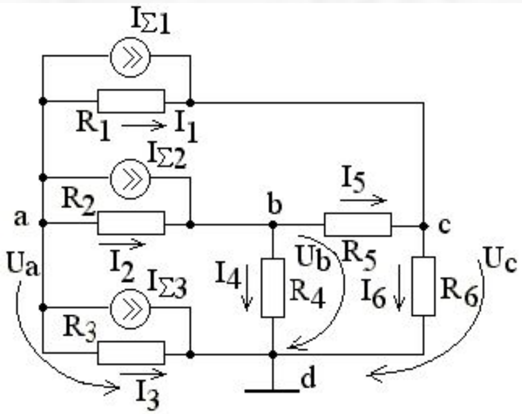
$$I_{kk} = \frac{1}{\Delta}\sum_{i=1}^{n} E_{ii}\Delta_{ik} = E_{11}\frac{\Delta_{1k}}{\Delta} + E_{22}\frac{\Delta_{2k}}{\Delta} + \ldots + E_{nn}\frac{\Delta_{nk}}{\Delta}$$

Таким образом, ток в $k-$ ой ветви, создаваемый несколькими источниками э. д. с., включенными в разных участках схемы, равен алгебраической сумме токов, вызываемых каждой из э. д. с. в отдельности. Это и есть *принцип суперпозиции* или *наложения*.

Принцип суперпозиции справедлив только для линейных цепей и называется *принципом независимости действия*, так как базируется на предположении, что каждое слагаемое сложного воздействия на линейную цепь вызывает свой отклик независимо от того, действуют ли в системе другие слагаемые.

4. Метод узловых напряжений

При составлении уравнений используется только первый закон Кирхгофа



Для узлов *a , b, c* система уравнений, составленных по первому закону Кирхгофа:

$$\begin{cases} -I_{\Sigma 1} - I_{\Sigma 2} - I_{\Sigma 3} - I_1 - I_2 - I_3 = 0 & \text{для узла a;} \\ I_{\Sigma 2} - I_5 - I_4 + I_2 = 0 & \text{для узла b;} \\ I_{\Sigma 1} + I_1 + I_5 - I_6 = 0 & \text{для узла c.} \end{cases}$$

Токи, протекающие через сопротивления

$$I_1 = \frac{U_a - U_c}{R_1}, \quad I_2 = \frac{U_a - U_b}{R_2}, \quad I_3 = \frac{U_a}{R_3}, \quad I_4 = \frac{U_b}{R_4},$$

$$I_5 = \frac{U_b - U_c}{R_5}, \quad I_6 = \frac{U_c}{R_6}.$$

Подставив эти значения в последнюю систему уравнений, получим:

$$\begin{cases} (g_1 + g_2 + g_3)U_a - g_2 U_b - g_1 U_c = -I_{\Sigma 1} - I_{\Sigma 2} - I_{\Sigma 3}; \\ -g_2 U_a + (g_2 + g_4 + g_5)U_b - g_5 U_c = I_{\Sigma 2}; \\ -g_1 U_a - g_5 U_b + (g_1 + g_5 + g_6)U_c = I_{\Sigma 1}. \end{cases}$$

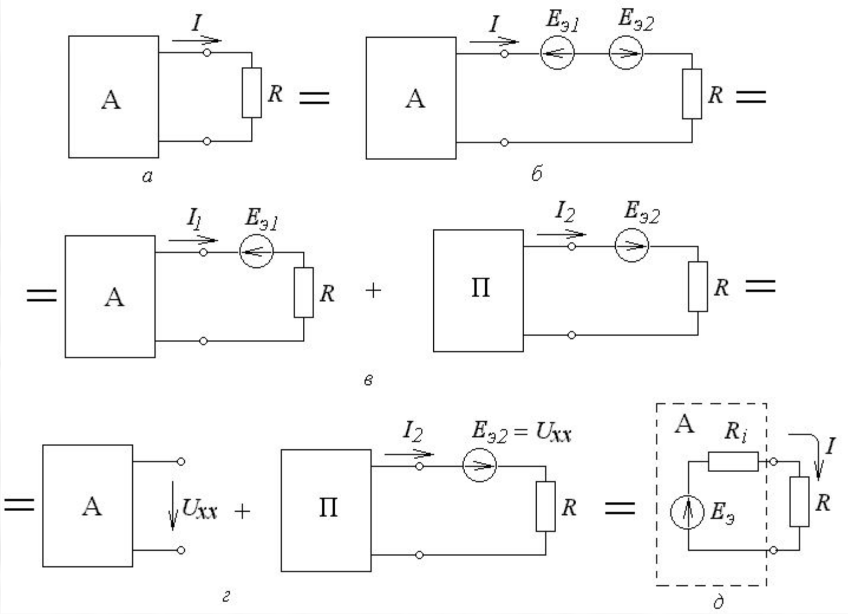
где $\quad g_k = 1/R_k$

Решив систему уравнений с помощью определителей, получим:

$$U_k = \frac{1}{\Delta} \sum_{i=1}^{q-1} I_{ii} \Delta_{ik}$$

5. Метод эквивалентного генератора

Метод эквивалентного источника напряжения. Этот метод основан на теореме Тевенена, согласно которой *ток в любой ветви линейной электрической цепи не изменится, если активный двухполюсник, к которому подключена данная ветвь, заменить эквивалентным источником напряжения с э. д. с., равной напряжению холостого хода на зажимах разомкнутой ветви, и внутренним сопротивлением, равным входному сопротивлению пассивного двухполюсника со стороны разомкнутой ветви.*



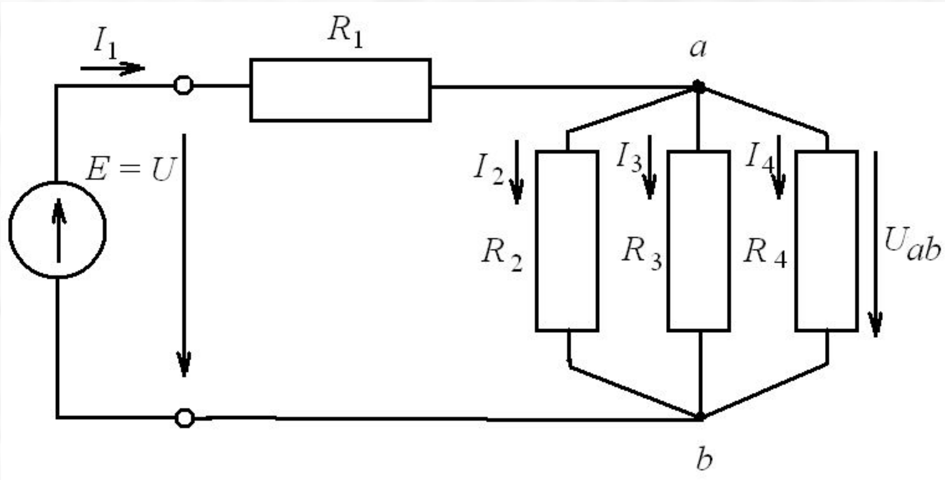
$$I = I_1 + I_2 \qquad I_1 = 0 \qquad I_2 = I = \frac{E_{Э2}}{R_i + R} = \frac{U_{XX}}{R_i + R}$$

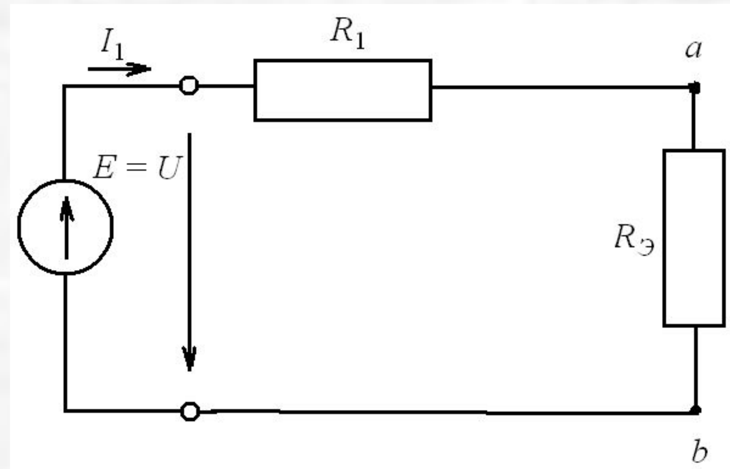
При переходе от эквивалентного генератора напряжения к эквивалентному источнику тока

$$I_Э = \frac{E_Э}{R_i} = I_{КЗ} = G_i U_{XX}$$

$$I = \frac{U}{R} = I_{КЗ} \frac{RR_i}{R + R_i} \cdot \frac{1}{R} = I_{КЗ} \frac{R_i}{R + R_i}$$

6. Метод эквивалентных преобразований





Эквивалентная проводимость $g_э$

$$g_Э = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}.$$

$$R_Э = \frac{1}{g_Э}$$

$$I_1 = \frac{U}{R_1 + R_Э}$$

Во многих случаях оказывается целесообразным также преобразование сопротивлений, соединенных треугольником (рис. 1.   ), эквивалентной звездой (рис.   2). При этом сопротивления лучей эквивалентной звезды определяют по формулам:

$$R_1 = \frac{R_{12}R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}; \quad R_2 = \frac{R_{12}R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}; \quad R_3 = \frac{R_{23}R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}},$$

где R_1, R_2, R_3 — сопротивления лучей эквивалентной звезды сопротивлений; R_{12}, R_{23}, R_{31} — сопротивления сторон эквивалентного

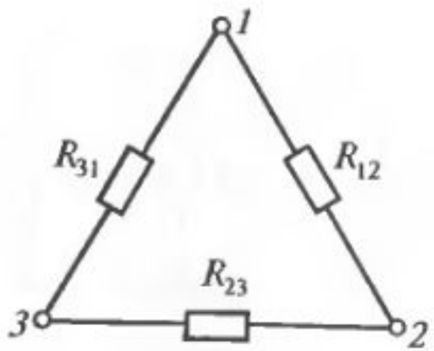


Рис. 1.

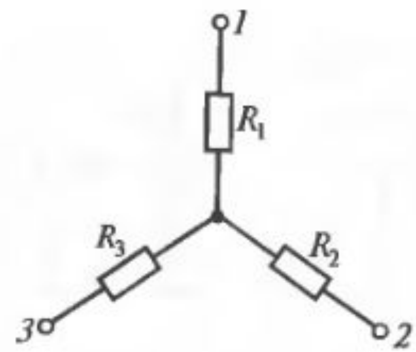


Рис.   2.

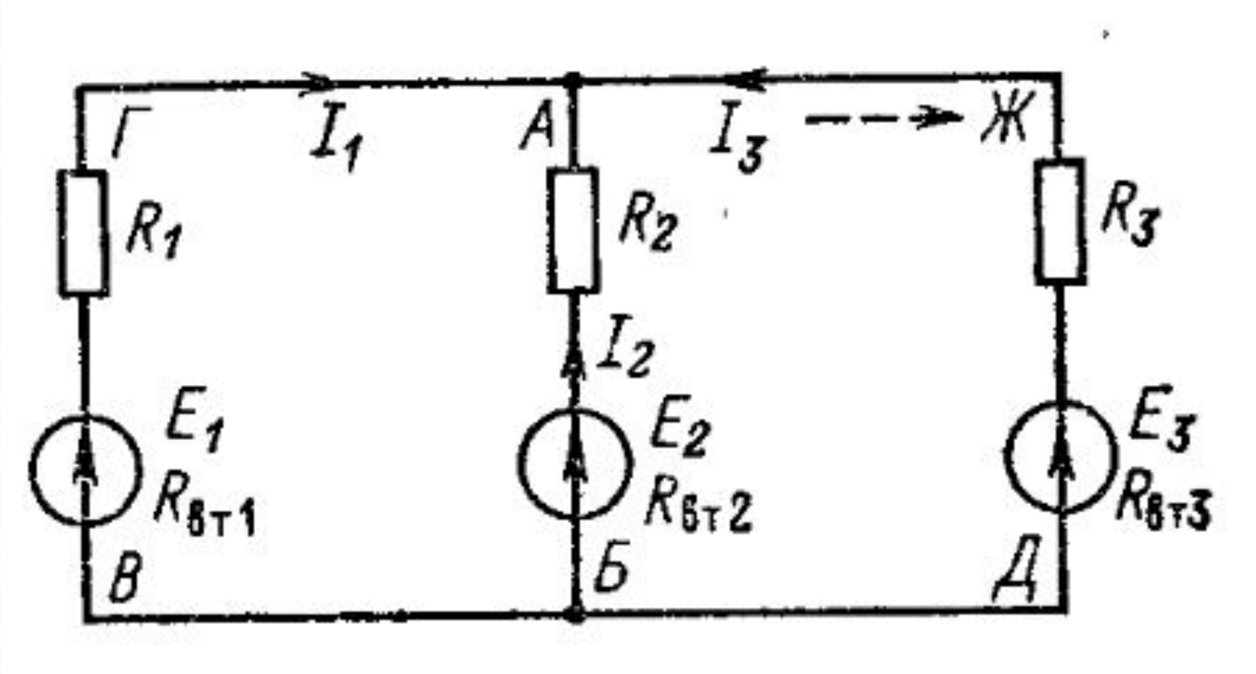
треугольника сопротивлений. При замене звезды сопротивлений эквивалентным треугольником сопротивлений сопротивления его сторон рассчитывают по формулам:

$$R_{31} = R_3 + R_1 + R_3R_1/R_2; \quad R_{12} = R_1 + R_2 + R_1R_2/R_3; \quad R_{23} = R_2 + R_3 + R_2R_3/R_1.$$

Решение задач

Метод Кирхгофа

Дано: $E_1=60$ В; $E_2=48$ В; $E_3=6$ В; $R_1=200$ Ом; $R_2=100$ Ом; $R_3=10$ Ом. Определить токи во всех ветвях. Принять $R_{вт1}=R_{вт2}=R_{вт3}=0$.



В цепи два узла. Поэтому составим одно уравнение по первому закону Кирхгофа, например, для узла A:

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0. \qquad (4.1)$$

Два недостающих уравнения составим по второму закону Кирхгофа, выбрав для этого, например, контуры *БАЖДБ* и *ВГЖДВ* (чтобы уравнения были независимы, в каждый следующий контур должна входить одна новая ветвь, не входившая в предыдущие).

Принимая обход каждого контура по направлению движения часовой стрелки и учитывая правила знаков, получим

$$R_2 I_2 - R_3 I_3 = E_2 - E_3; \qquad (4.2)$$

$$R_1 I_1 - R_3 I_3 = E_1 - E_3. \qquad (4.3)$$

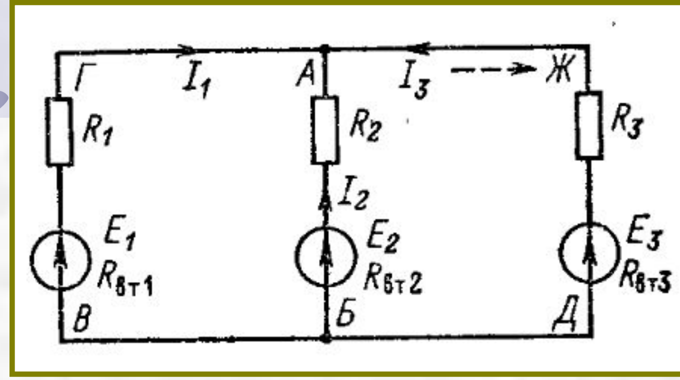
4. Вычисление токов. Подставив в (4.2) и (4.3) значения сопротивлений и ЭДС, получим

$$100 I_2 - 10 I_3 = 42; \qquad (4.4)$$

$$200 I_1 - 10 I_3 = 54. \qquad (4.5)$$

Итак, вычисление токов сводится к решению системы трех уравнений (4.1), (4.4) и (4.5) с тремя неизвестными. Для этого, например, определим ток I_2 из (4.1) и подставим его значение в (4.4):

$$-100(I_1 + I_3) - 10 I_3 = 42;$$



приведя подобные члены, получим

$$-100 I_1 - 110 I_3 = 42. \qquad (4.6)$$

Получилось два уравнения (4.5) и (4.6) с двумя неизвестными I_1 и I_3.

Умножив уравнение (4.6) на 2 и сложив его с уравнением (4.5), получим

$$-10 I_3 - 220 I_3 = 138,$$

откуда $I_3 = -138/230 = -0{,}6$ А.

Подставив значение тока I_3 в (4.6), получим

$$-100 I_1 - 110(-0{,}6) = 42,$$

откуда

$$I_1 = (42 - 66)/(-100) = 0{,}24 \text{ А}.$$

Ток I_2 определим из (4.1):

$$I_2 = -I_1 - I_3 = -0{,}24 + 0{,}6 = 0{,}36 \text{ А}.$$

Токи I_1 и I_2 имеют положительные значения, а I_3 — отрицательное, следовательно, направления первых двух токов были выбраны правильно, а тока I_3 — неправильно. Действительное направление тока I_3 указано пунктирной стрелкой на рис. При этом сумма притекающих к узлу A токов $I_1 + I_2 = 0{,}24 + 0{,}36 = 0{,}6$ А равна оттекающему току $I_3 = 0{,}6$ А.

Метод контурных токов

Для цепи рис. 1 определить токи во всех участках и напряжения между узловыми точками *А*, *Б* и *В* при следующих данных: $R_1 = R_3 = 2$ Ом; $R_2 = 1{,}6$ Ом; $E_1 = 3{,}6$ В; $E_2 = 4{,}8$ В; $R_{вт1} = R_{вт2} = 0{,}5$ Ом.

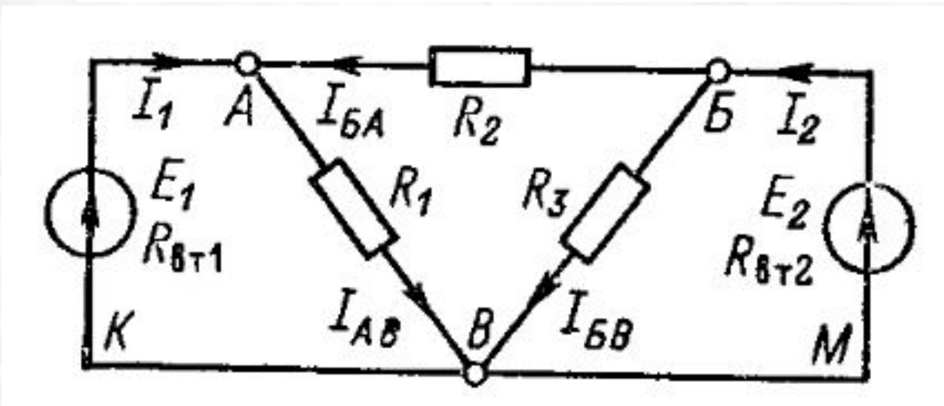


рис. 1

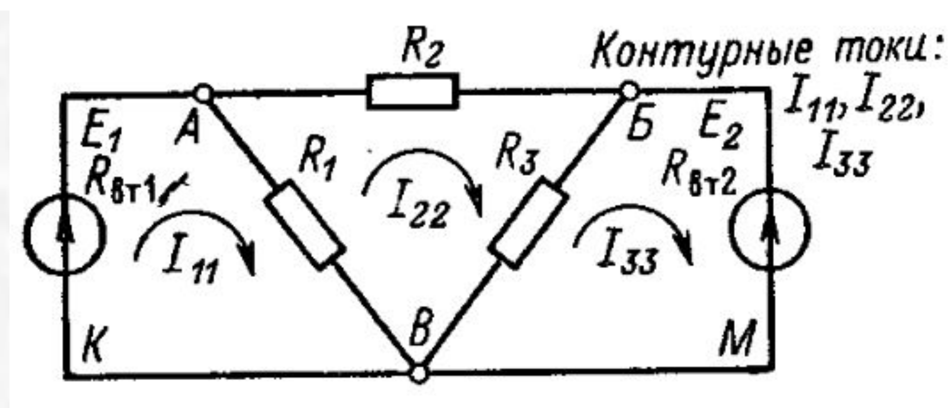


рис. 2

В заданной цепи (рис 2.) можно выделить три ячейки-контура с тремя токами: I_{11} — в контуре $BKAB$, I_{22} — в контуре $BAБB$, I_{33} — в контуре $BБMB$. Положительные направления контурных токов можно выбирать одинаковыми (рис. 2.) по направлению движения часовой стрелки, а действительные направления токов определятся после расчета цепи.

Приняв для токов ветвей направления по рис. 1, выразим эти токи через коитурные I_{11}, I_{22}, I_{33} (рис. 2.):

$$\left.\begin{array}{l} I_1 = I_{11}; \quad I_{БA} = -I_{22}; \quad I_2 = -I_{33}; \\ I_{AB} = I_{11} - I_{22}; \quad I_{БB} = I_{22} - I_{33}. \end{array}\right\} \qquad (4.8)$$

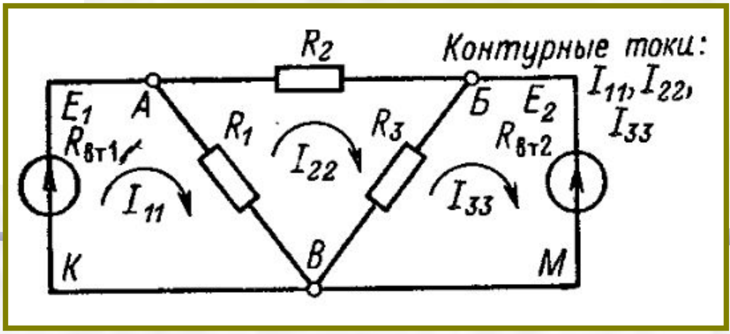
Итак, в рассматриваемой цепи через три контурных тока выражаются токи всех пяти ветвей.

Определение собственных и общих сопротивлений контуров. Сумма всех сопротивлеиий контура называется его собственным сопротивлением. Для контура $BKAB$ (рис. 2.) собственное сопротивление

$$R_{11} = R_{вт1} + R_1 = 0{,}5 + 2 = 2{,}5 \text{ Ом},$$

а для контуров, по которым замыкаются токи I_{22} и I_{33} (рис. 2), соответственно

$$R_{22} = R_1 + R_2 + R_3 = 2 + 1{,}6 + 2 = 5{,}6 \text{ Ом};$$
$$R_{33} = R_3 + R_{вт2} = 2 + 0{,}5 = 2{,}5 \text{ Ом}.$$



Сопротивление общей ветви двух контуров называется общим сопротивлением. В нашем случае ветвь AB входит в первый и второй контуры, поэтому ее сопротивление R_1 является общим. Его можно рассматривать как сопротивление связи первого контура со вторым (R_{12}) или второго с первым (R_{21}), т. е.

$$R_{12} = R_{21} = R_1.$$

Аналогично общее сопротивление второго и третьего контуров

$$R_{23} = R_{32} = R_3.$$

При наших данных

$$R_{12} = R_{21} = R_{23} = R_{32} = 2 \text{ Ом}.$$

Составим контурное уравнение (уравнение по второму закону Кирхгофа) для контура $BKAB$:

$$R_{\text{вт}1} I_1 + R_1 I_{AB} = E_1.$$

Заменив ток I_{AB} разностью $I_{11} - I_{22}$ и объединив члены уравнения с током I_{11}, получим

$$(R_{\text{вт}1} + R_1) I_{11} - R_1 I_{22} = E_1. \qquad (4.9)$$

В этом уравнении алгебраическая сумма падений напряжения выражается произведением тока рассматриваемого контура I_{11} на его собственное сопротивление R_{11}, взятое со знаком плюс, и произведением тока другого контура I_{22} на общее сопротивление контуров R_{12}, взятое со знаком минус, т. е. $R_{11}I_{11} - R_{12}I_{22} = E_1$.

Положительный знак для падения напряжения, создаваемого собственным током контура ($R_{11}I_{11}$), и отрицательные знаки для падений напряжений, создаваемых на общих сопротивлениях токами других контуров ($-R_{12}I_{22}$), получаются всегда при одинаковом направлении контурных токов (рис. 2 —по часовой стрелке) и обходе ячейки-контура по направлению ее контурного тока.

Придерживаясь тех же правил, составим аналогичные уравнения для контура *ВАБВ*:

$$R_{22}I_{22} - R_{21}I_{11} - R_{23}I_{33} = 0 \tag{4.10}$$

и для контура *ВБМВ*:

$$R_{33}I_{33} - R_{32}I_{22} = -E_2. \tag{4.11}$$

В последнем уравнении ЭДС E_2 записана со знаком минус, так как направление обхода последней ячейки противоположно направлению действия ЭДС.

Подставив в (4.9)—(4.11) вычисленные выше значения собственных и общих сопротивлений контуров, получим систему трех уравнений:

$$\left.\begin{aligned} 2{,}5I_{11} - 2I_{22} &= 3{,}6; \\ -2I_{11} + 5{,}6I_{22} - 2I_{33} &= 0; \\ -2I_{22} + 2{,}5I_{33} &= -4{,}8. \end{aligned}\right\} \tag{4.12}$$

Из последнего выразим ток I_{33}:

$$I_{33} = (2I_{22} - 4{,}8)/2{,}5 = 0{,}8I_{22} - 1{,}92 \tag{4.13}$$

и, подставив его значение во второе уравнение системы (4.12), получим

$$-2I_{11} + 4I_{22} + 3{,}84 = 0.$$

Последнее уравнение совместно с первым уравнением системы (4.12) составляет систему двух уравнений:

$$-2I_{11} + 4I_{22} = -3{,}84;$$
$$2{,}5I_{11} - 2I_{22} = 3{,}6.$$

Умножив все члены второго уравнения на два и сложив почленно с первым, получим

$$3I_{11} = 7{,}2 - 3{,}84,$$

или

$$I_{11} = 1{,}12 \text{ А}.$$

Из первого уравнения системы (4.12) определим ток во втором контуре:

$$I_{22} = (2{,}5I_{11} - 3{,}6)/2 = (2{,}5 \cdot 1{,}12 - 3{,}6)/2 = -0{,}4 \text{ А}.$$

Полученное значение тока I_{22} подставим в (4.13), и определим контурный ток в третьем контуре:

$$I_{33} = -0{,}8 \cdot 0{,}4 - 1{,}92 = -2{,}24 \text{ А}.$$

Как было показано (4.8), через найденные значения контурных токов I_{11}, I_{22}, I_{33} выражаются токи всех ветвей схемы (рис. 1):

$$I_1 = I_{11} = 1{,}12 \text{ А}; \quad I_{БА} = -I_{22} = 0{,}4 \text{ А};$$

$$I_2 = -I_{33} = 2{,}24 \text{ А}; \quad I_{AB} = I_{11} - I_{22} = 1{,}12 + 0{,}4 = 1{,}52 \text{ А};$$
$$I_{БВ} = I_{22} - I_{33} = -0{,}4 + 2{,}24 = 1{,}84 \text{ А}.$$

Метод наложения

Для цепи рис. 1 определить токи во всех участках и напряжения между узловыми точками A, $Б$ и $В$ при следующих данных: $R_1 = R_3 = 2$ Ом; $R_2 = 1{,}6$ Ом; $E_1 = 3{,}6$ В; $E_2 = 4{,}8$ В; $R_{вт1} = R_{вт2} = 0{,}5$ Ом.

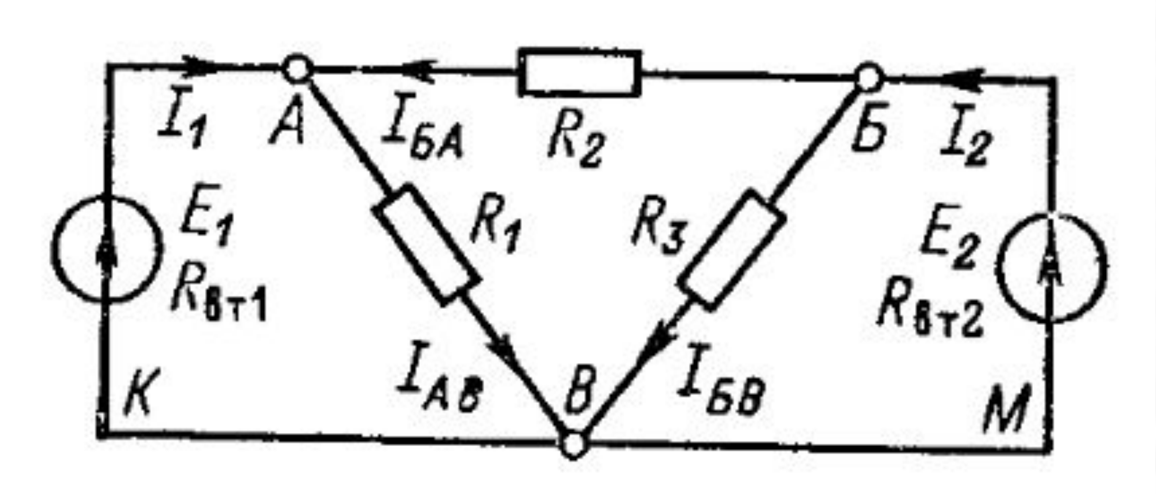


рис. 1

Метод наложения

По методу наложения ток в любом участке цепи рассматривается как алгебраическая сумма частичных токов, созданных каждой ЭДС в отдельности. В нашем случае следует: во-первых, определить частичные токи от ЭДС E_1 при отсутствии ЭДС E_2, т. е. рассчитать простую цепь по рис. 2; во-вторых, найти частичные токи от ЭДС E_2 при отсутствии ЭДС E_1, т. е. рассчитать простую цепь по рис. 3; в-третьих, алгебраически сложить частичные токи двух последних схем.

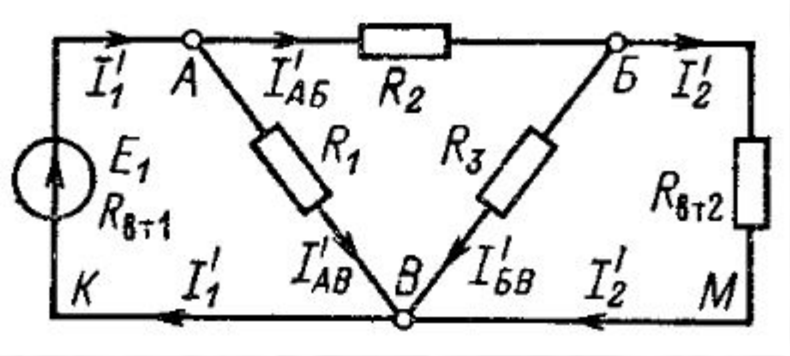


рис. 2

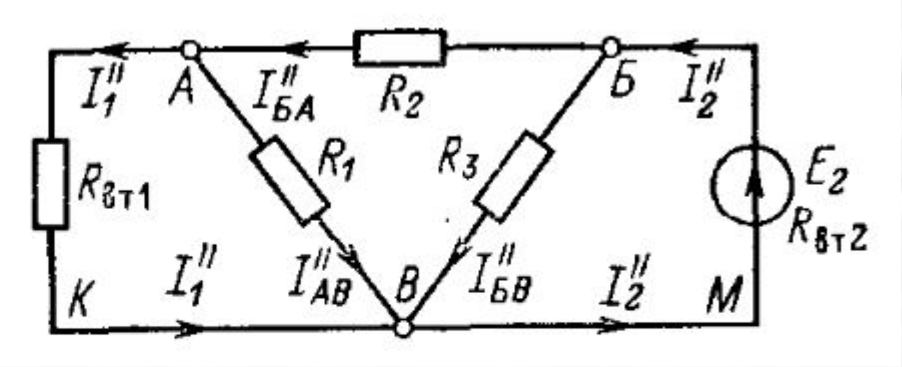


рис. 3

Метод наложения

Все частичные токи от ЭДС E_1 (рис. 2) обозначим буквой I с одним штрихом, а все частичные токи от ЭДС E_2 (рис. 3) — с двумя штрихами. Для цепи с ЭДС E_1 (рис. 2) рассчитаем сначала общее сопротивление.

Оно соединено последовательно с сопротивлением R_2, поэтому

$$R_{АБВ} = R_2 + R'_{БВ} = 1{,}6 + 0{,}4 = 2 \text{ Ом}.$$

Два одинаковых сопротивления $R_{АБВ}$ и R_1 соединены параллельно, поэтому общее сопротивление всей внешней цепи

$$R'_{АВ} = R_1/2 = 2/2 = 1 \text{ Ом}.$$

Ток источника

$$I'_1 = E_1/(R_{вт1} + R'_{АВ}) = 3{,}6/1{,}5 = 2{,}4 \text{ А}$$

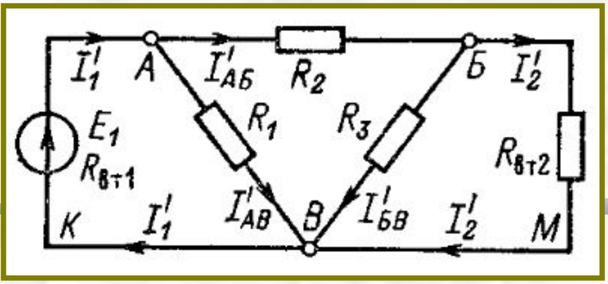
разветвляется в узловой точке A на два одинаковых тока:

$$I'_{АБ} = I'_{АВ} = I'_1/2 = 1{,}2 \text{ А}.$$

Ток $I'_{АБ}$ разветвляется в узловой точке $Б$ на токи

$$I'_2 = I'_{АБ} R_3/(R_{вт2} + R_3) = 1{,}2 \cdot 2/2{,}5 = 0{,}96 \text{ А};$$

$$I'_{БВ} = I'_{АБ} - I'_2 = 1{,}2 - 0{,}96 = 0{,}24 \text{ А}.$$



Метод наложения

Для цепи с ЭДС E_2 (рис. 3)

$$R''_{AB} = R_1 R_{вт1}/(R_1 + R_{вт1}) = 2 \cdot 0{,}5/(2 + 0{,}5) = 0{,}4 \text{ Ом};$$

$$R''_{БAB} = R_2 + R''_{AB} = 1{,}6 + 0{,}4 = 2{,}0 \text{ Ом};$$

$$R''_{БB} = R''_{БAB}/2 = 2/2 = 1 \text{ Ом},$$

так как $R_3 = R''_{БAB}$.

В ветви источника с ЭДС E_2 ток

$$I''_2 = E_2/(R''_{БB} + R_{вт2}) = 4{,}8/1{,}5 = 3{,}2 \text{ А}.$$

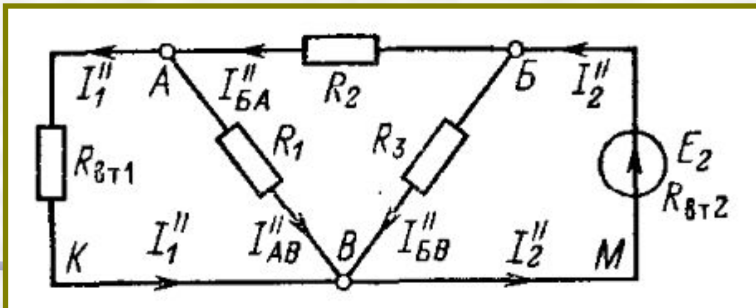
Поскольку $R''_{БAB} = R_3 = 2{,}0$ Ом, ток

$$I'_{БA} = I''_{БB} = I''_2/2 = 3{,}2/2 = 1{,}6 \text{ А}.$$

Токи в параллельных ветвях участка AB

$$I''_1 = I''_{БA} R_1/(R_{вт1} + R_1) = 1{,}6 \cdot 2/2{,}5 = 1{,}28 \text{ А};$$

$$I''_{AB} = I''_{БA} - I''_1 = 1{,}6 - 1{,}28 = 0{,}32 \text{ А}.$$



Метод наложения

Вычисление токов в исходной цепи (рис. 1). Выполним алгебраическое сложение частичных токов.

На участке BKA частичный ток I_1' (рис. 2) направлен от узла B к узлу A, а частичный ток I_1'' (рис. 3) — от узла A к узлу B, т. е. навстречу первому. Поэтому суммарный ток

$$I_1 = I_1' - I_1'' = 2{,}4 - 1{,}28 = 1{,}12 \text{ А.}$$

Направление тока I_1 (рис. 1) совпадает с направлением большего частичного тока, т. е. тока I_1'.

Аналогичным образом определяем $I_{БА}$ и I_2:

$$I_{БА} = I''_{БА} - I'_{АБ} = 1{,}6 - 1{,}2 = 0{,}4 \text{ А;}$$

$$I_2 = I_2'' - I_2' = 3{,}2 - 0{,}96 = 2{,}24 \text{ А.}$$

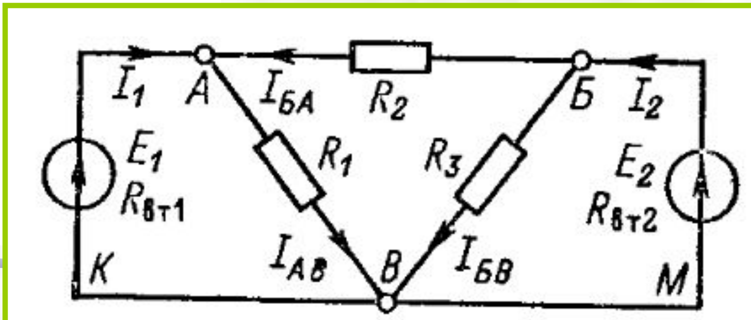
Направления токов $I_{БА}$ и I_2 (рис. 1) совпадают с направлениями токов $I''_{БА}$ и I_2'' соответственно.

В ветви AB оба частичных тока (I''_{AB} и I'_{AB}) совпадают по направлению, поэтому

$$I_{AB} = I'_{AB} + I''_{AB} = 1{,}2 + 0{,}32 = 1{,}52 \text{ А.}$$

Аналогично

$$I_{БВ} = I'_{БВ} + I''_{БВ} = 0{,}24 + 1{,}6 = 1{,}84 \text{ А.}$$



Метод наложения

Вычисление напряжений. Напряжения между узловыми точками

$$U_{БA} = I_{БA} R_2 = 0,4 \cdot 1,6 = 0,64 \text{ В};$$

$$U_{AB} = I_{AB} R_1 = 1,52 \cdot 2 = 3,04 \text{ В};$$

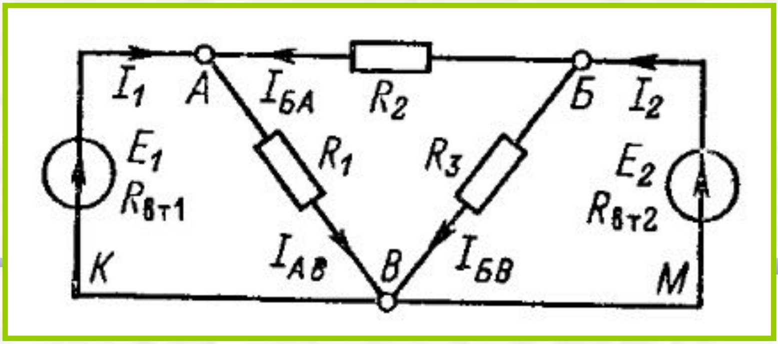
$$U_{БB} = I_{БB} R_3 = 1,84 \cdot 2 = 3,68 \text{ В}.$$

Проверка результатов вычислений. Для проверки расчетов составим уравнения по законам Кирхгофа.

Для узла A $I_{AB} = I_1 + I_{БA}$; действительно $1,52 = 1,12 + 0,4$.

Для узла $Б$ $I_2 = I_{БA} + I_{БB}$; действительно $2,24 = 0,4 + 1,84$.

Для контура $AБB$ $U_{AB} - U_{BБ} + U_{БA} = 0$; действительно $+3,04 - 3,68 + 0,64 = 0$ (обход против направления движения стрелки часов).



Задачи

Для электрической цепи постоянного тока с параллельным соединением резисторов R_1, R_2, R_3 (рис. 1.) определить ток I в неразветвленной ее части и токи в отдельных ветвях: I_1, I_2, I_3. Сопротивления резисторов: $R_1 = 5$ Ом; $R_2 = 10$ Ом; $R_3 = 15$ Ом, напряжение питающей сети $U = 110$ В.

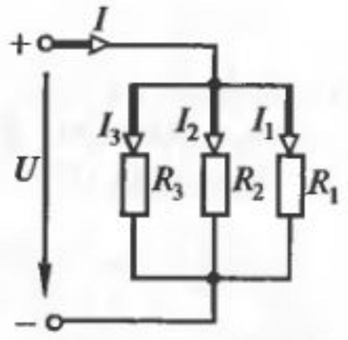


Рис. 1.

Определить общее сопротивление R_0 и распределение токов в электрической цепи постоянного тока (рис. 2.). Сопротивления резисторов: $R_1 = R_2 = 1$ Ом; $R_3 = 6$ Ом; $R_5 = R_6 = 1$ Ом; $R_4 = R_7 = 6$ Ом; $R_8 = 10$ Ом; $R_9 = 5$ Ом; $R_{10} = 10$ Ом. Напряжение питающей сети $U = 120$ В.

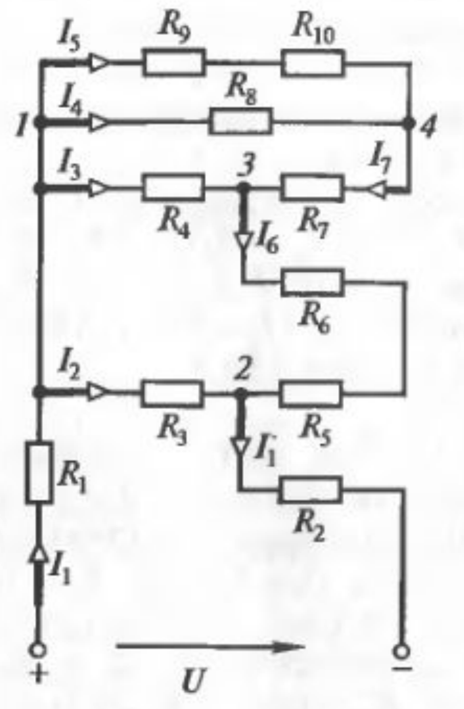


рис. 2.