Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уфимский государственный нефтяной технический университет»
Структурное подразделение
«Институт дополнительного профессионального образования»

Р.Т. Хазиева

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Практикум

© Р.Т. Хазиева, 2019
© ССП УГНТУ «ИДПО», 2019

Уфа
ФГБОУ ВО «УГНТУ» • ССП УГНТУ «ИДПО»
2019

УДК 621.3
ББК 31.21
Х15

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент кафедры «Электротехника и электрооборудование предприятий» ФГБОУ ВО «УГНТУ» *А.Р. Калимгулов;*

д-р техн. наук, проф. каф. «Электромеханика» ФГБОУ ВО «УГАТУ» *Р.Р. Саттаров*

Х15 Основы электротехники [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Р.Т. Хазиева – Электрон. текстовые дан. (1,3 Мб) – Уфа: УГНТУ, 2019 – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) – Систем. требования: проц. с такт. частотой 700МГц и выше; 128 Мб опер. памяти и выше; разреш. экрана 1024x768 пикс.; ОС Windows, macOS, Windows Phone, Android, iOS; Программа/приложение для чтения файлов .pdf. – Загл. с титул.экрана

В практикуме рассмотрены методы расчета и измерения основных параметров электрических и магнитных цепей, параметров электрических схем.

Практикум предназначен для слушателей Института дополнительного профессионального образования, студентов вузов, специалистов нефтегазодобывающих предприятий.

УДК 621.3
ББК 31.21

© Р.Т. Хазиева, 2019
© ССП УГНТУ «ИДПО», 2019

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ....4
Практическая работа «Расчет линейных цепей постоянного тока»....5
1 Постановка задачи....5
2 Расчет токов в ветвях методом эквивалентных преобразований при наличии в цепи одного источника ЭДС....6
3 Расчет токов в ветвях методом непосредственного применения законов Кирхгофа....10
4 Расчет токов в ветвях методом контурных токов....13
5 Проверка правильности расчета токов в ветвях балансом мощностей....15
6 Построение потенциальной диаграммы для внешнего контура цепи....16
7 Доказательство независимости выбора направлений токов и обходов контура....18
8 Варианты задач по линейным цепям постоянного тока для самостоятельного решения обучающимися....24
Список использованной и рекомендуемой литературы....47

ВВЕДЕНИЕ

Цель практической работы заключается в приобретении и закреплении навыка решения задач по определению токов, протекающих в ветвях линейной цепи постоянного тока. Результатом выполнения практической работы должно быть освоение учащимися следующих методов расчета цепей постоянного тока: метод непосредственного применения законов Кирхгофа, метод контурных токов, метод эквивалентных преобразований. Для более подробного изучения рекомендуемая литература приведена в конце данного практикума.

Практическая работа «Расчет линейных цепей постоянного тока»

Цель – исследование методов расчета линейных цепей постоянного тока.

1 Постановка задачи

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.

2 Расчет токов в ветвях методом эквивалентных преобразований при наличии в цепи одного источника ЭДС

Исходные данные:

$E_1 = 50$ В; $E_2 = 48$ В; $E_3 = 90$ В; $R_1 = 8$ Ом; $R_2 = 8$ Ом; $R_3 = 40$ Ом; $R_4 = 15$ Ом; $R_5 = 20$ Ом; $R_6 = 50$ Ом; $R_7 = 44$ Ом.

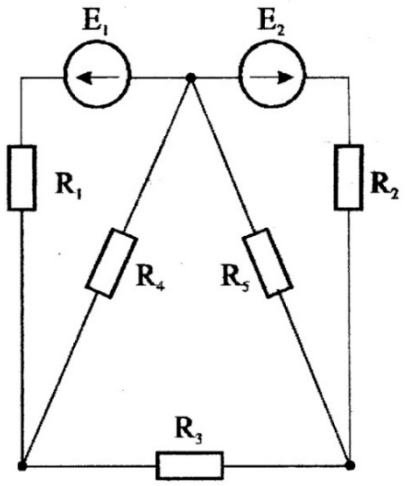


Рисунок 1 – Исходная линейная цепь постоянного тока

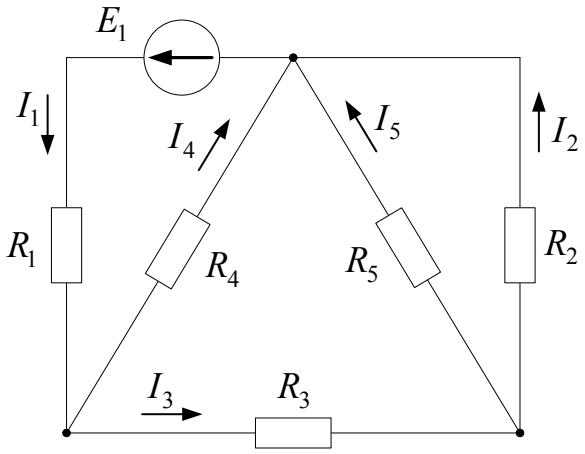


Рисунок 2 – Линейная цепь постоянного тока с обозначенными токами

Сопротивления R_2 и R_5 соединены параллельно. Их эквивалентное сопротивление:

$$R_{25} = \frac{R_2 \cdot R_5}{R_2 + R_5} = \frac{8 \cdot 20}{8 + 20} = 5{,}714 \text{ Ом}.$$

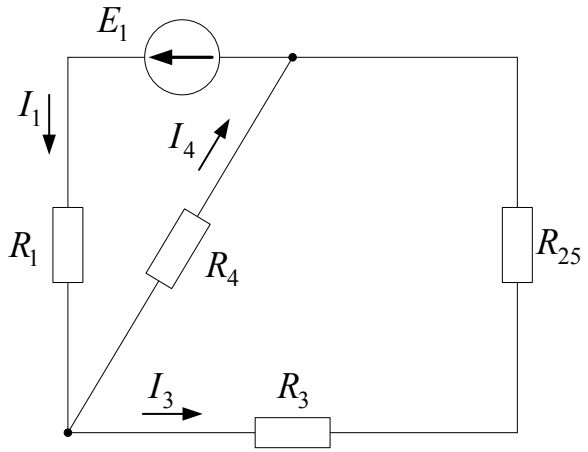


Рисунок 3 – Схема после преобразования (*шаг 1*)

Сопротивления R_{25} и R_3 соединены последовательно. Их эквивалентное сопротивление:

$$R_{235} = R_{25} + R_3 = 5{,}714 + 40 = 45{,}714 \text{ Ом}.$$

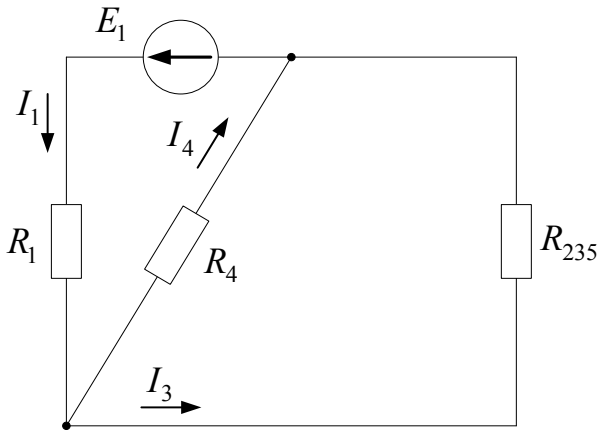


Рисунок 4 – Схема после преобразования (*шаг 2*)

Сопротивления R_{235} и R_4 соединены параллельно. Их эквивалентное сопротивление:

$$R_{2345} = \frac{R_{235} \cdot R_4}{R_{235} + R_4} = \frac{45{,}714 \cdot 15}{45{,}714 + 15} = 11{,}294 \text{ Ом}.$$

Сопротивления R_1 и R_{2345} соединены последовательно. Их эквивалентное сопротивление (эквивалентное сопротивление всей цепи):

$$R_{\text{экв}} = R_1 + R_{2345} = 8 + 11{,}294 = 19{,}294 \text{ Ом}.$$

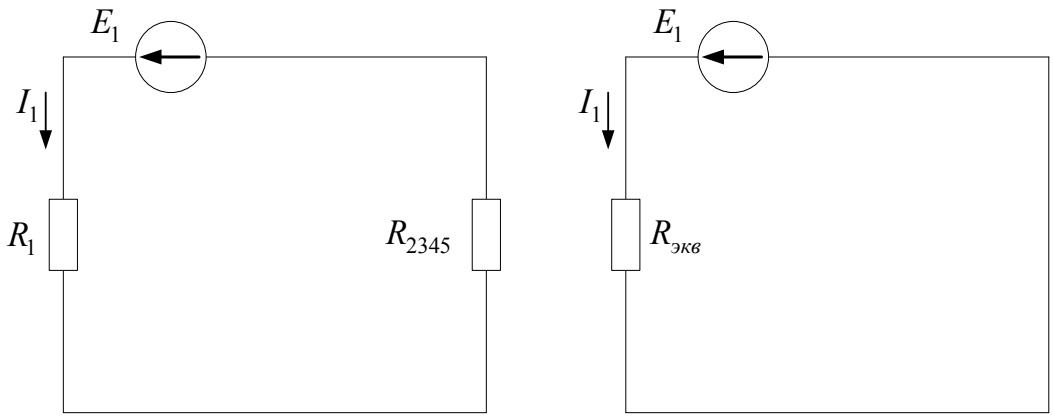


Рисунок 5 – Схема после преобразования (*шаг 3*)

Определяем ток в неразветвленной части цепи:

$$I_1 = \frac{E_1}{R_{\text{экв}}} = \frac{50}{19{,}294} = 2{,}591 \text{ А}.$$

Определяем напряжение между узлами *a* и *b*:

$$U_{ab} = I_1 \cdot R_{2345} = 2{,}591 \cdot 11{,}294 = 29{,}268 \text{ В}.$$

Ток в ветви с сопротивлением R_3:

$$I_3 = \frac{U_{ab}}{R_{235}} = \frac{29{,}268}{45{,}714} = 0{,}64 \text{ А}.$$

Ток в ветви с сопротивлением R_4:

$$I_4 = \frac{U_{ab}}{R_4} = \frac{29{,}268}{15} = 1{,}951 \text{ А}.$$

Определяем напряжение между узлами *a* и *c*:

$$U_{ac} = I_3 \cdot R_{25} = 0{,}64 \cdot 5{,}714 = 3{,}659 \text{ В}.$$

Ток в ветви с сопротивлением R_2:

$$I_2 = \frac{U_{ac}}{R_2} = \frac{3{,}659}{8} = 0{,}457 \text{ А.}$$

Ток в ветви с сопротивлением R_5:

$$I_5 = \frac{U_{ac}}{R_5} = \frac{3{,}659}{20} = 0{,}183 \text{ А.}$$

3 Расчет токов в ветвях методом непосредственного применения законов Кирхгофа

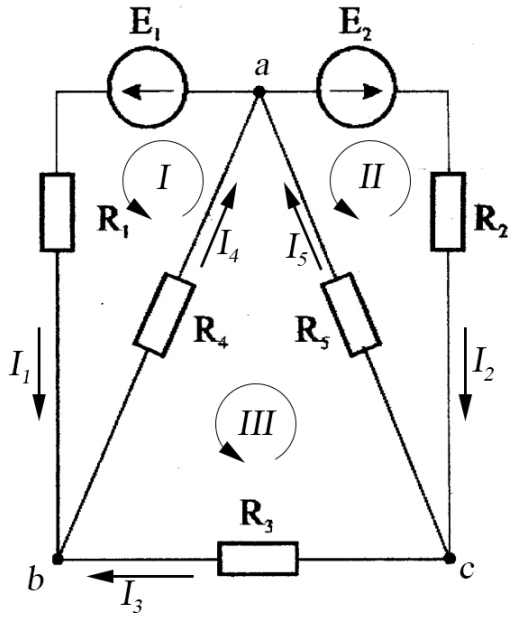


Рисунок 7 – Линейная цепь постоянного тока с обозначенными токами

Число ветвей с неизвестными токами $p = 5$; число узлов $q = 3$. Выбираем условно-положительные направления токов I_1, I_2, I_3, I_4, I_5. По первому закону Кирхгофа составляется $q - 1 = 3 - 1 = 2$ уравнения:

узел b: $I_1 + I_3 - I_4 = 0$;

узел c: $I_2 - I_3 - I_5 = 0$.

В цепи $p - (q - 1) = 5 - (3 - 1) = 3$ независимых контура. Обходим контуры против часовой стрелки и с учетом выбранных направлений токов составляем уравнения по второму закону Кирхгофа:

контур I: $I_1 R_1 + I_4 R_4 = E_1$;

контур II: $-I_2 R_2 - I_5 R_5 = -E_2$;

контур III: $-I_3 R_3 - I_4 R_4 + I_5 R_5 = 0$.

Объединяем уравнения, записанные по первому и второму законам Кирхгофа в систему:

$$\begin{cases} I_1 + I_3 - I_4 = 0 & b \\ I_2 - I_3 - I_5 = 0 & c \\ I_1 R_1 + I_4 R_4 = E_1 & I \\ -I_2 R_2 - I_5 R_5 = -E_2 & II \\ -I_3 R_3 - I_4 R_4 + I_5 R_5 = 0 & III \end{cases}$$

Подставляем в полученную систему исходные данные:

$$\begin{cases} I_1 + I_3 - I_4 = 0 & b \\ I_2 - I_3 - I_5 = 0 & c \\ 8I_1 + 15I_4 = 50 & I \\ -8I_2 - 20I_5 = -48 & II \\ -40I_3 - 15I_4 + 20I_5 = 0 & III \end{cases}$$

Записываем полученную систему в матричной форме:

$$A \cdot X = B,$$

где X – вектор столбец неизвестных (токов);

A – матрица коэффициентов;

B – вектор столбец свободных членов.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & -1 \\ 8 & 0 & 0 & 15 & 0 \\ 0 & -8 & 0 & 0 & -20 \\ 0 & 0 & -40 & -15 & 20 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 50 \\ -48 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Полученную систему линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) решим в математическом ПО Mathcad матричным способом:

$$X = A^{-1} \cdot B.$$

$$A := \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & -1 \\ 8 & 0 & 0 & 15 & 0 \\ 0 & -8 & 0 & 0 & -20 \\ 0 & 0 & -40 & -15 & 20 \end{bmatrix} \quad B := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 50 \\ -48 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} I1 \\ I2 \\ I3 \\ I4 \\ I5 \end{bmatrix} := A^{-1} \cdot B = \begin{bmatrix} 2.152 \\ 1.738 \\ 0.033 \\ 2.185 \\ 1.705 \end{bmatrix}$$

В результате получаем:

$I_1 = 2{,}152$ А;

$I_2 = 1{,}738$ А;

$I_3 = 0{,}033$ А;

$I_4 = 2{,}185$ А;

$I_5 = 1{,}705$ А.

4 Расчет токов в ветвях методом контурных токов

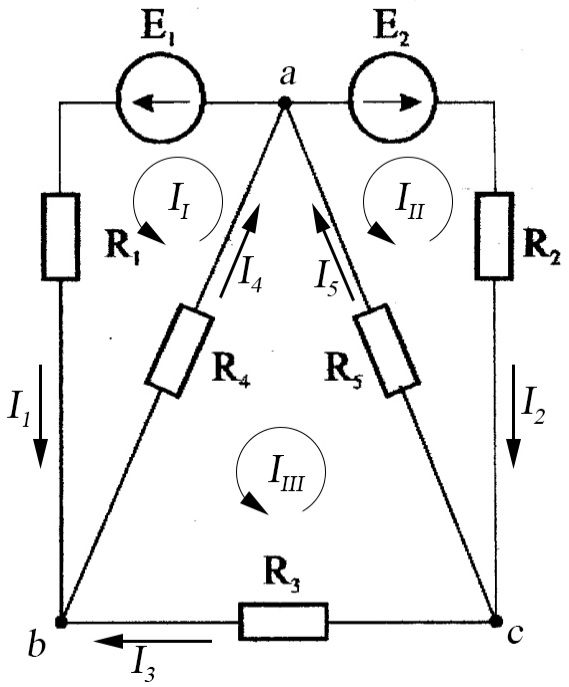


Рисунок 8 – Линейная цепь постоянного тока с обозначенными токами в ветвях и контурными токами

Произвольно выбираем направление контурных токов и составляем систему уравнений по МКТ в общем виде (по второму закону Кирхгофа).

$$\begin{cases} I_I(R_1 + R_4) - I_{III}R_4 = E_1 \\ I_{II}(R_2 + R_5) - I_{III}R_5 = -E_2 \\ -I_I R_4 - I_{II}R_5 + I_{III}(R_3 + R_4 + R_5) = 0 \end{cases}$$

Подставляем в полученную систему исходные данные:

$$\begin{cases} I_I(8 + 15) - 15I_{III} = 50 \\ I_{II}(8 + 20) - 20I_{III} = -48 \\ -15I_I - 20I_{II} + I_{III}(40 + 15 + 20) = 0 \end{cases}$$

Записываем полученную систему в матричной форме:

$$A \cdot X = B,$$

где X – вектор столбец неизвестных (контурных токов);

A – матрица коэффициентов;

B – вектор столбец свободных членов.

$$\begin{bmatrix} 23 & 0 & -15 \\ 0 & 28 & -20 \\ -15 & -20 & 75 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_I \\ I_{II} \\ I_{III} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 50 \\ -48 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Полученную систему линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) решим в математическом ПО Mathcad матричным способом:

$$X = A^{-1} \cdot B,$$

$$A := \begin{bmatrix} 23 & 0 & -15 \\ 0 & 28 & -20 \\ -15 & -20 & 75 \end{bmatrix} \quad B := \begin{bmatrix} 50 \\ -48 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} I11 \\ I22 \\ I33 \end{bmatrix} := A^{-1} \cdot B = \begin{bmatrix} 2.152 \\ -1.738 \\ -0.033 \end{bmatrix}$$

В результате получаем:

$I_I = 2{,}152$ А

$I_{II} = -1{,}738$ А

$I_{III} = -0{,}033$ А

Определяем действительные токи ветвей:

$I_1 = I_I = 2{,}152$ А

$I_2 = -I_{II} = 1{,}738$ А

$I_3 = -I_{III} = 0{,}033$ А

$I_4 = I_I - I_{III} = 2{,}152 - (-0{,}033) = 2{,}185$ А

$I_5 = I_{III} - I_{II} = -0{,}033 - (-1{,}738) = 1{,}705$ А

5 Проверка правильности расчета токов в ветвях балансом мощностей

Составим уравнения для расчёта баланса мощностей. Мощность источников:

$$\Sigma P_{\text{ист}} = E_1 I_1 + E_2 I_2 = 50 \cdot 2{,}152 + 48 \cdot 1{,}738 = 191{,}037 \text{ Вт}$$

Мощность приемников:

$$\Sigma P_{\text{пр}} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4 + I_5^2 R_5 = 2{,}152^2 \cdot 8 + 1{,}738^2 \cdot 8 + 0{,}033^2 \cdot 40 + 2{,}185^2 \cdot 15 + 1{,}705^2 \cdot 20 = 191{,}037 \text{ Вт}$$

$$\Sigma P_{\text{ист}} = \Sigma P_{\text{пр}} = 191{,}037 \text{ Вт}.$$

6 Построение потенциальной диаграммы для внешнего контура цепи

Принимает потенциал узла b равным нулю:

$\varphi_b = 0$.

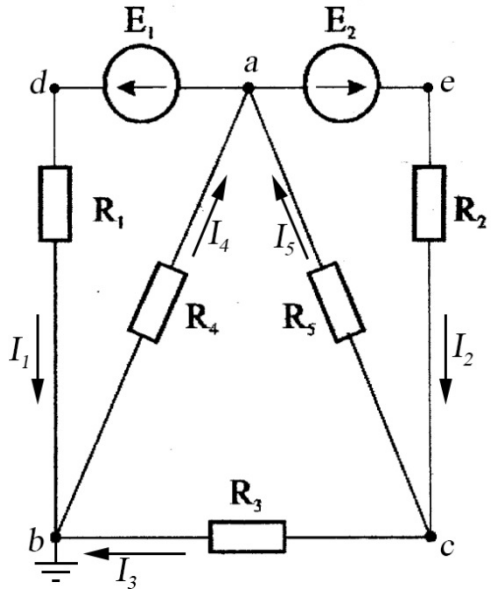


Рисунок 9 – Схема цепи для построения потенциальной диаграммы

Определим потенциалы остальных узлов и точек:

$\varphi_d = \varphi_b + I_1 R_1 = 0 + 2{,}152 \cdot 8 = 17{,}22$ В

$\varphi_a = \varphi_d - E_1 = 17{,}22 - 50 = -32{,}78$ В

$\varphi_e = \varphi_a + E_2 = -32{,}78 + 48 = 15{,}22$ В

$\varphi_c = \varphi_e - I_2 R_2 = 15{,}22 + 1{,}738 \cdot 8 = 1{,}317$ В

$\varphi_b = \varphi_c - I_3 R_3 = 0 + 0{,}033 \cdot 40 = 0$

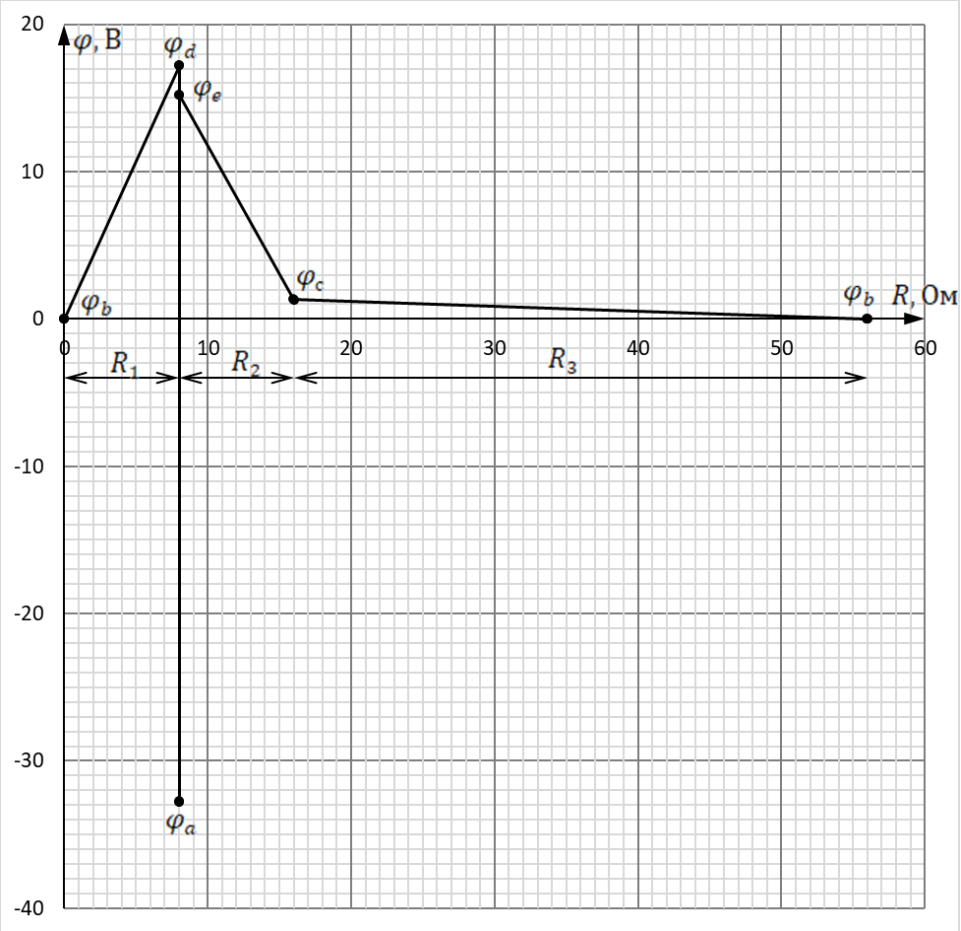


Рисунок 10 – Потенциальная диаграмма

7 Доказательство независимости выбора направлений токов и обходов контура

Метод непосредственного применения законов Кирхгофа

Произвольно выберем и обозначим положительные направления токов ветвей, а также направления обхода независимых контуров.

Цепь содержит y=3 узла и b=5 ветвей. Необходимо определить 5 токов. Количество уравнений по 1-му закону y–1=3–1=2. Остальные 3 уравнения составляем по 2-му закону Кирхгофа: b–(y–1)=5–(3–1)=3.

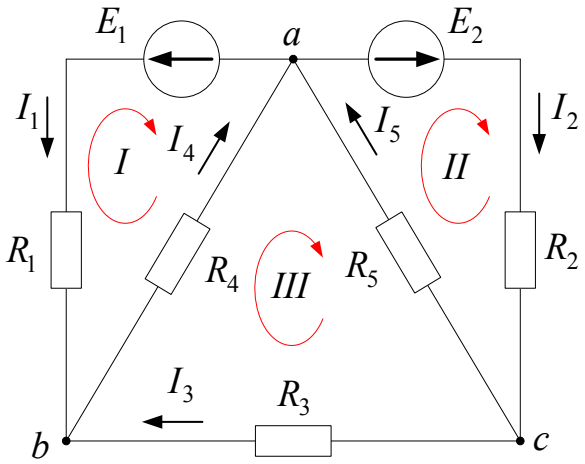


Рисунок 11 – Линейная цепь постоянного тока с обозначенными токами

Уравнения по первому закону Кирхгофа:

$$-I_1 - I_2 + I_4 + I_5 = 0, \qquad (\textit{узел } a)$$

$$I_1 + I_3 - I_4 = 0, \qquad (\textit{узел } b)$$

По 2-му закону Кирхгофа

$$-I_1R_1 - I_4R_4 = -E_1, \qquad (\textit{контур } I)$$

$$I_2R_2 + I_5R_5 = E_2, \qquad (\textit{контур } II)$$

$$I_3R_3 + I_4R_4 - I_5R_5 = 0. \qquad (\textit{контур } III)$$

Подставим численные значения

$$\begin{cases} -I_1 - I_2 + I_4 + I_5 = 0, \\ I_1 + I_3 - I_4 = 0, \\ -8I_1 - 15I_4 = -50, \\ 8I_2 + 20I_5 = 48, \\ 40I_3 + 15I_4 - 20I_5 = 0. \end{cases}$$

Решаем систему уравнений методом обратной матрицы с помощью Mathcad

$$\mathrm{I} := \begin{pmatrix} -1 & -1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ -8 & 0 & 0 & -15 & 0 \\ 0 & 8 & 0 & 0 & 20 \\ 0 & 0 & 40 & 15 & -20 \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -50 \\ 48 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.152 \\ 1.738 \\ 0.033 \\ 2.185 \\ 1.705 \end{pmatrix}$$

Токи ветвей

$I_1 = 2{,}152$ А, $I_2 = 1{,}738$ А, $I_3 = 0{,}033$ А, $I_4 = 2{,}185$ А, $I_1 = 1{,}705$ А.

Метод контурных токов

Выберем и обозначим направления контурных токов I_I, I_{II}, I_{III}.

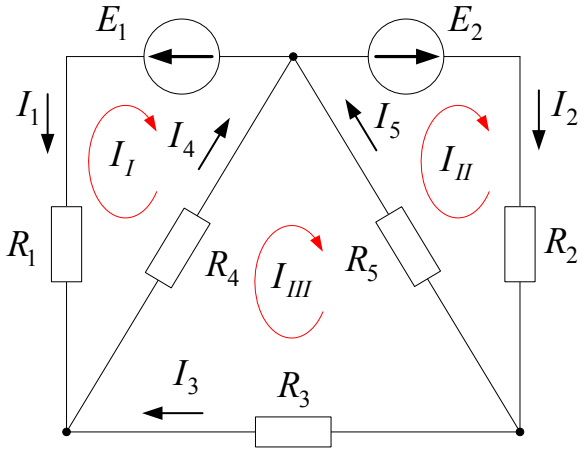


Рисунок 12 – Линейная цепь постоянного тока с обозначенными токами в ветвях и контурными токами

Составляем систему уравнений относительно контурных токов

$$\begin{cases} I_I \cdot (R_1 + R_4) - I_{III} \cdot R_4 = -E_1 \\ I_{II} \cdot (R_2 + R_5) - I_{III} \cdot R_5 = E_2 \\ -I_I \cdot R_4 - I_{II} \cdot R_5 + I_{III} \cdot (R_3 + R_4 + R_5) = 0 \end{cases}$$

подставляем числовые значения

$$\begin{cases} I_I \cdot (8+15) - I_{III} \cdot 15 = -50 \\ I_{II} \cdot (8+20) - I_{III} \cdot 20 = 48 \\ -I_I \cdot 15 - I_{II} \cdot 20 + I_{III} \cdot (40+15+20) = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 23I_I - 15I_{III} = -50 \\ 28I_{II} - 20I_{III} = 48 \\ -15I_I - 20I_{II} + 75I_{III} = 0 \end{cases}$$

Решим полученную систему уравнений методом Крамера:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 23 & 0 & -15 \\ 0 & 28 & -20 \\ -15 & -20 & 75 \end{vmatrix} = 32800,$$

$$\Delta_I = \begin{vmatrix} -50 & 0 & -15 \\ 48 & 28 & -20 \\ 0 & -20 & 75 \end{vmatrix} = -70600,$$

$$\Delta_{II} = \begin{vmatrix} 23 & -50 & -15 \\ 0 & 48 & -20 \\ -15 & 0 & 75 \end{vmatrix} = 57000,$$

$$\Delta_{III} = \begin{vmatrix} 23 & 0 & -50 \\ 0 & 28 & 48 \\ -15 & -20 & 0 \end{vmatrix} = 1080,$$

определяем контурные токи:

$$I_I = \frac{\Delta_I}{\Delta} = \frac{-70600}{32800} = -2{,}152 \text{ А},$$
$$I_{II} = \frac{\Delta_{II}}{\Delta} = \frac{57000}{32800} = 1{,}738 \text{ А},$$
$$I_{III} = \frac{\Delta_{III}}{\Delta} = \frac{1080}{32800} = 0{,}033 \text{ А}.$$

Токи ветвей находим как алгебраическую сумму протекающих по ветви контурных токов

$$I_1 = -I_I = -\left(-2{,}152\right) = 2{,}152 \text{ А},$$
$$I_2 = I_{II} = 1{,}738 \text{ А},$$
$$I_3 = I_{III} = 0{,}033 \text{ А},$$
$$I_4 = -I_I + I_{III} = -\left(-2{,}152\right) + 0{,}033 = 2{,}185 \text{ А},$$
$$I_5 = I_{II} - I_{III} = 1{,}738 - 0{,}033 = 1{,}705 \text{ А}.$$

Полученные значения токов совпадают со значениями, найденными методом непосредственного применения законов Кирхгофа.

Составим баланс мощностей.

Суммарная мощность источников

$$P_{\text{ист}} = E_1 I_1 + E_2 I_2 = 50 \cdot 2{,}152 + 48 \cdot 1{,}738 = 191{,}024 \text{ Вт}.$$

Суммарная мощность потребителей

$$P_{\text{потр}} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4 + I_5^2 R_5 = 2{,}152^2 \cdot 8 + 1{,}738^2 \cdot 8 + 0{,}033^2 \cdot 40 +$$
$$+2{,}185^2 \cdot 15 + 1{,}705^2 \cdot 20 = 191{,}011 \text{ Вт}.$$

$P_{\text{ист}} \approx P_{\text{потр}}$, баланс мощностей соблюдается. Неточность объясняется округлением при расчетах.

Потенциальная диаграмма

Построим потенциальную диаграмму для следующего контура:

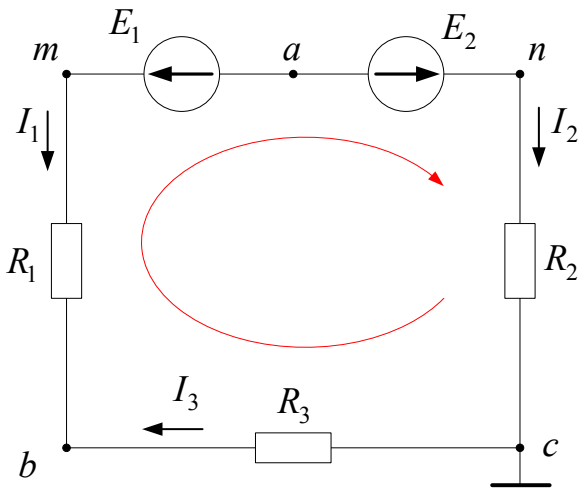


Рисунок 13 – Схема цепи для построения потенциальной диаграммы

Примем потенциал точки *c* равным нулю, φ_c=0, и вычислим потенциалы остальных точек контура.

$$\varphi_b = \varphi_c - I_3 R_3 = 0 - 0{,}033 \cdot 40 = -1{,}32 \text{ В},$$
$$\varphi_m = \varphi_b + I_1 R_1 = -1{,}32 + 2{,}152 \cdot 8 = 15{,}896 \text{ В},$$
$$\varphi_a = \varphi_m - E_1 = 15{,}896 - 50 = -34{,}104 \text{ В},$$
$$\varphi_n = \varphi_a + E_2 = -34{,}104 + 48 = 13{,}896 \text{ В},$$
$$\varphi_c = \varphi_n - I_2 R_2 = -0{,}735 - 1{,}738 \cdot 8 \approx 0.$$

Построим потенциальную диаграмму. По оси абсцисс откладываем сопротивления контура в той последовательности, в которой производим обход контура, прикладывая сопротивления друг к другу, по оси ординат – потенциалы точек с учетом их знака.

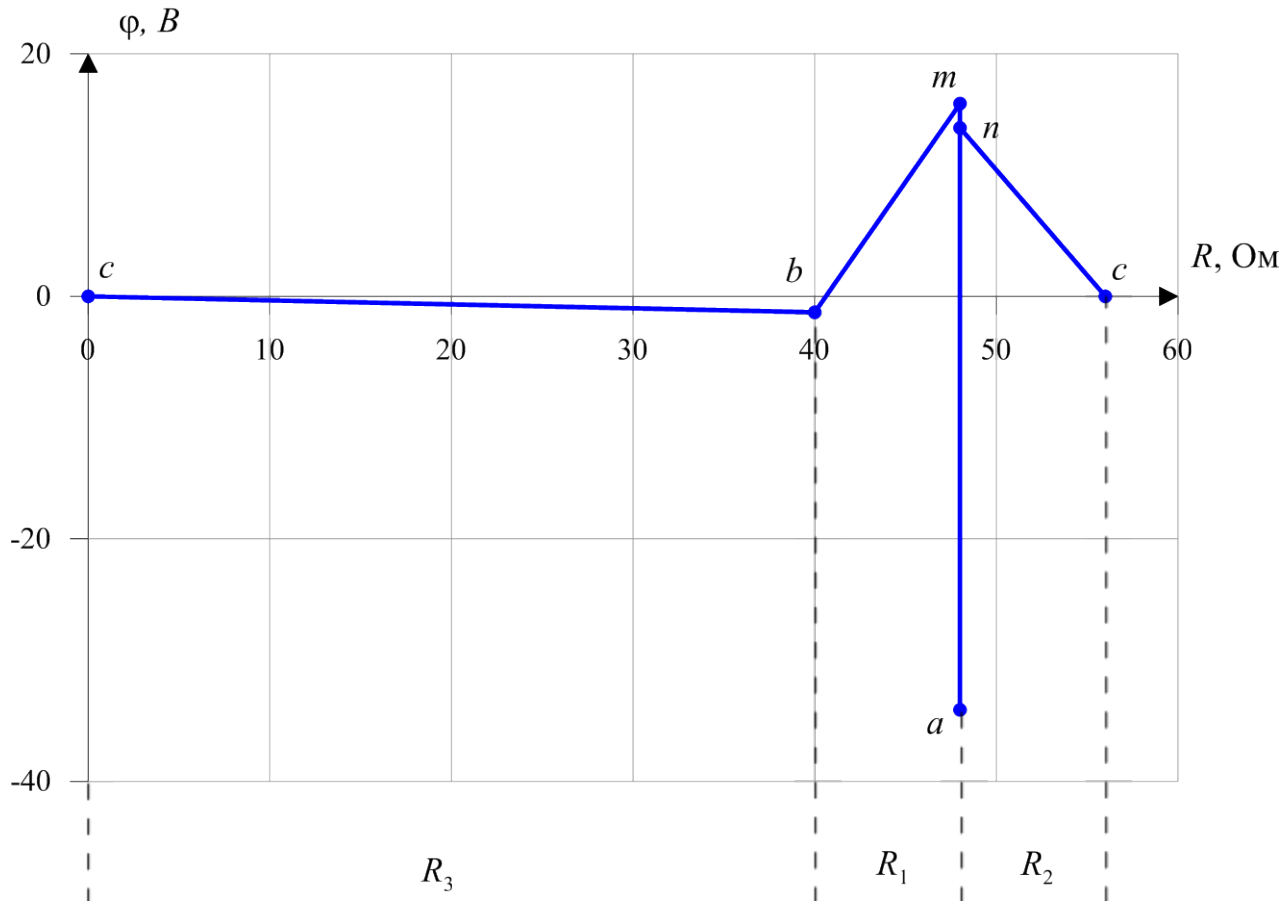
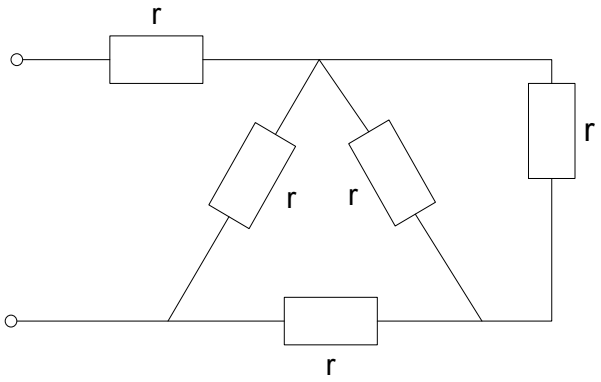


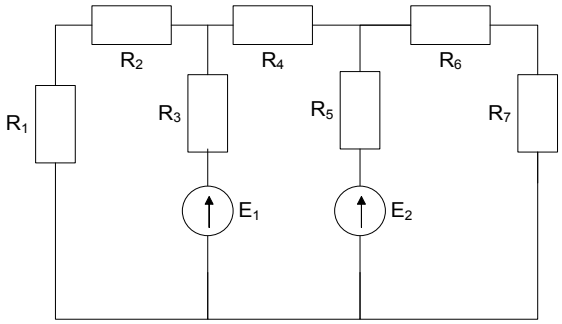
Рисунок 15 – Потенциальная диаграмма

8 Варианты задач по линейным цепям постоянного тока для самостоятельного решения обучающимися

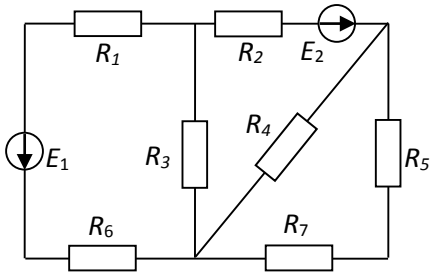
1.1 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания:



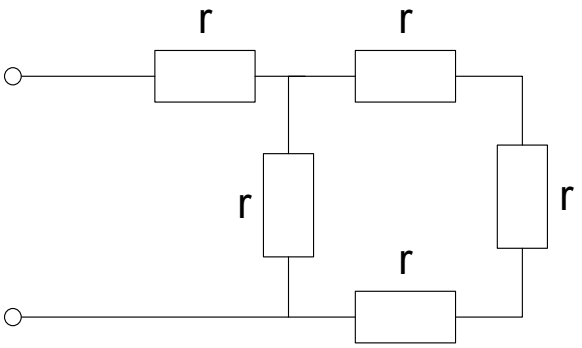
1.2 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



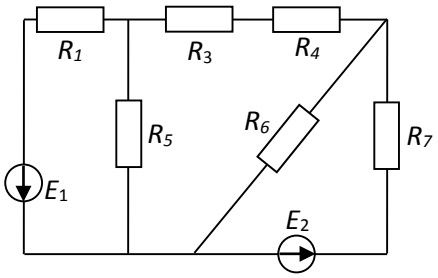
1.3 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**



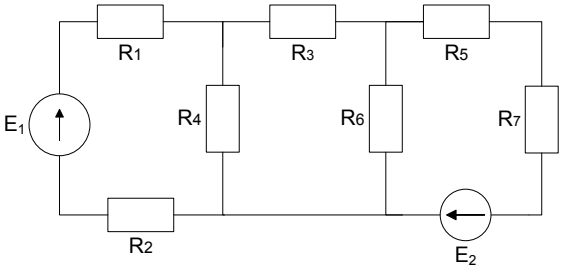
1.4 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания:



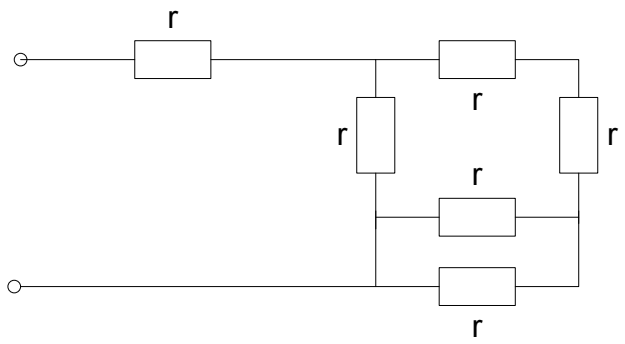
1.5 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



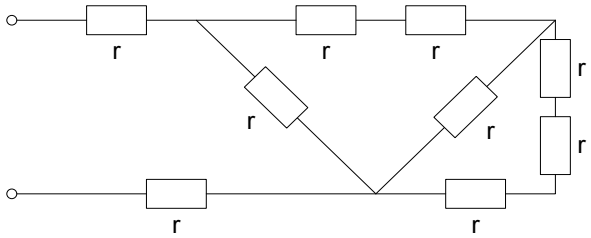
1.6 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**



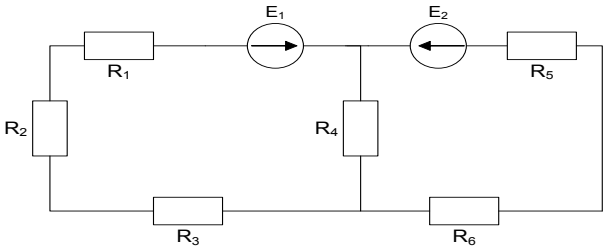
1.7 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания:



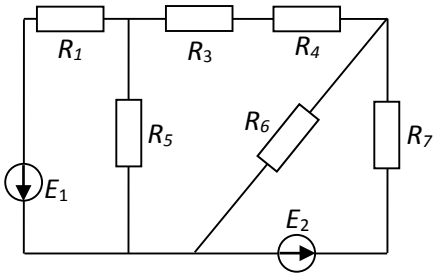
1.10 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания:



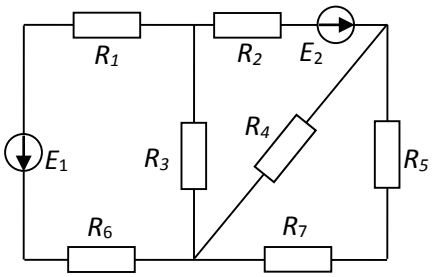
1.8 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



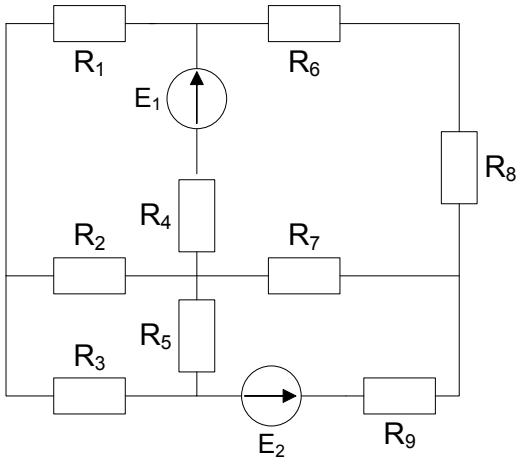
1.11 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**

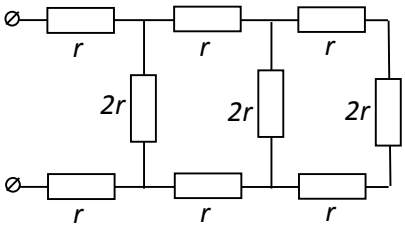
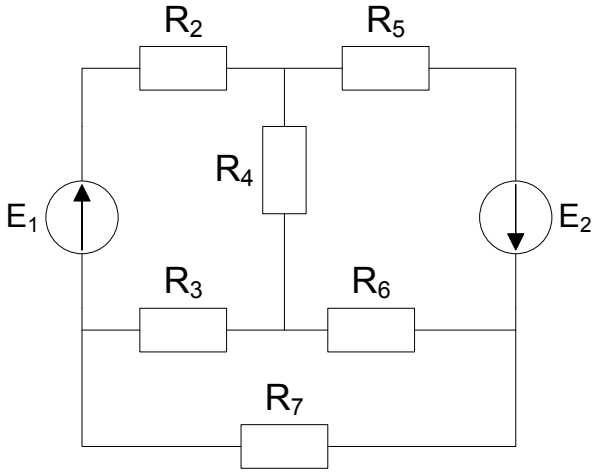
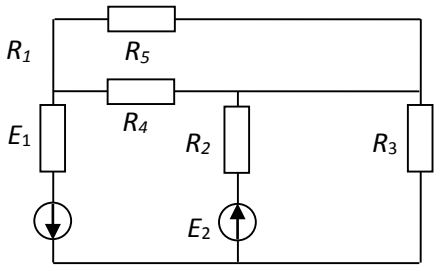
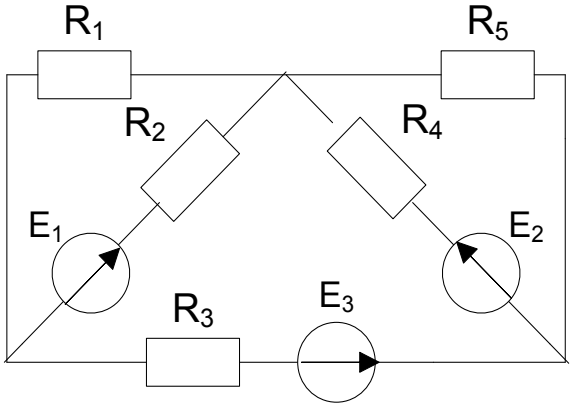
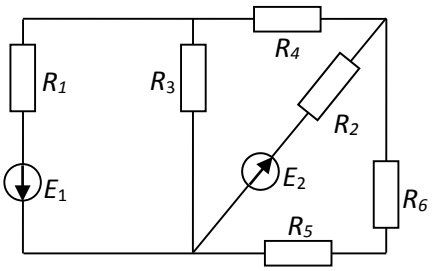


1.9 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**

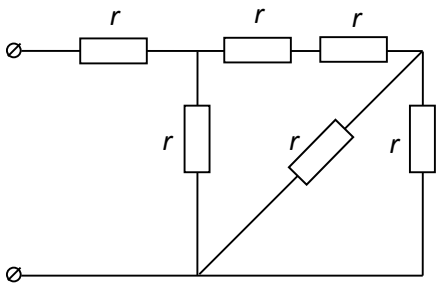


1.12 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**

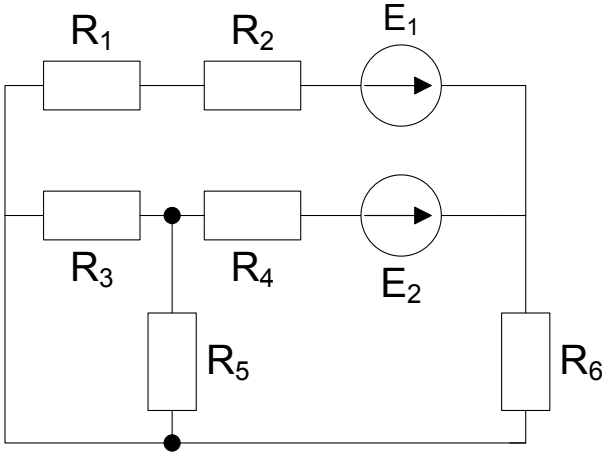


1.13 Определить сопротивление резистора, который необходимо включить параллельно с резистором с сопротивлением R=15 кОм, при условии чтобы эквивалентное сопротивление всей цепи состовляло10 кОм.	1.16 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания: 
1.14 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:** 	1.17 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:** 
1.15 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:** 	1.18 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:** 

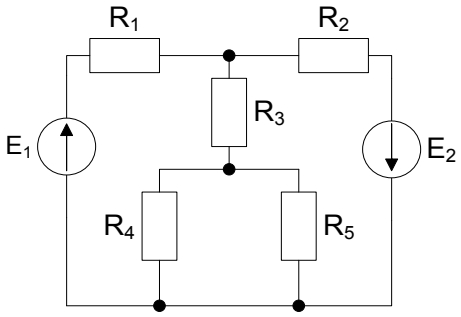
1.19 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания:



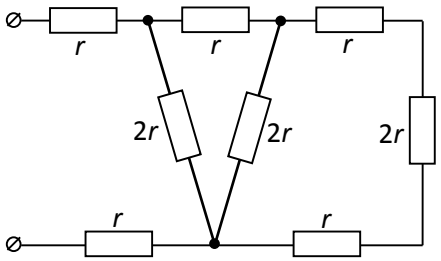
1.20 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



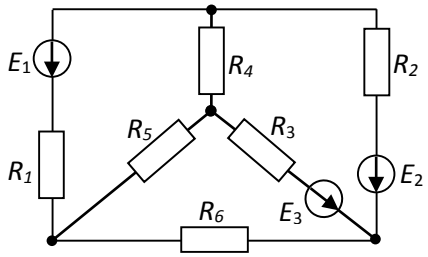
1.21 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**



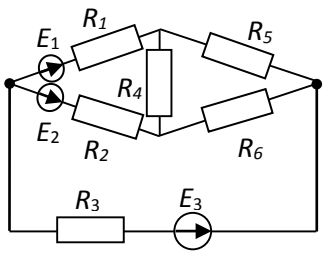
1.22 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания:



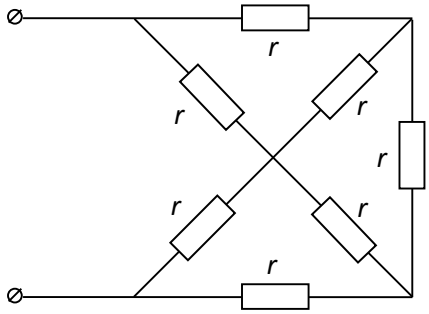
1.23 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



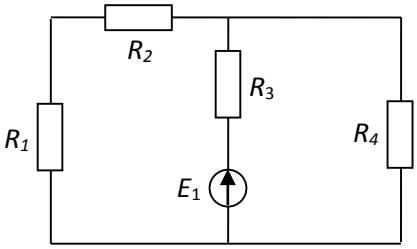
1.24 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**



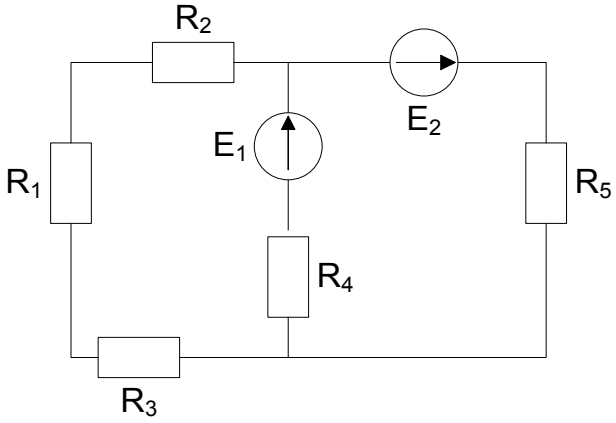
1.25 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания:



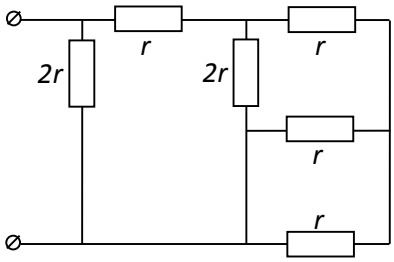
1.26 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



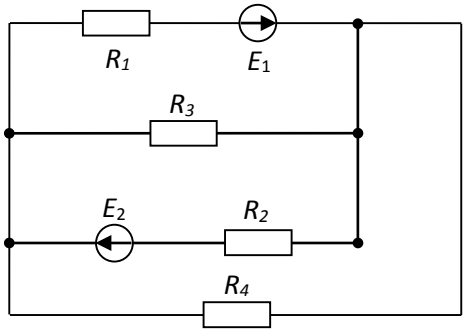
1.27 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**



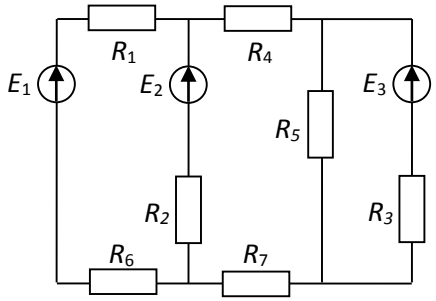
1.28 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания:



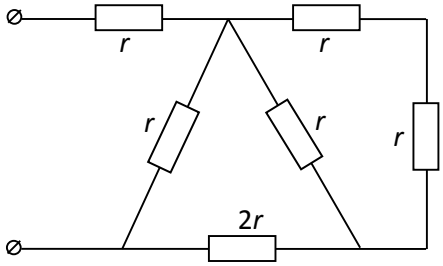
1.29 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



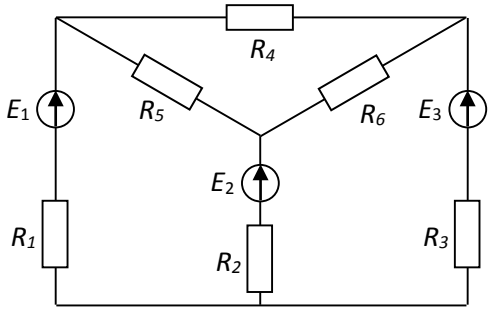
1.30 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**



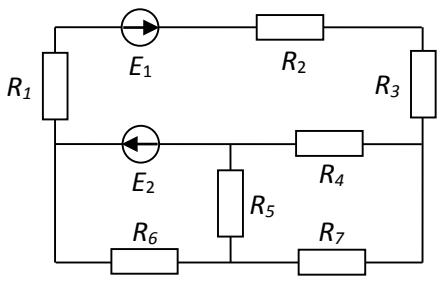
1.31 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания:



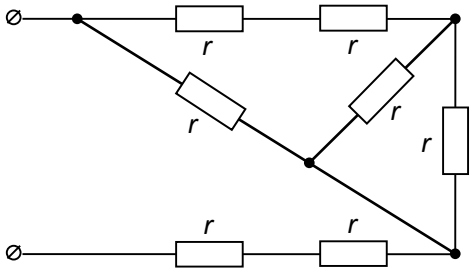
1.32 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



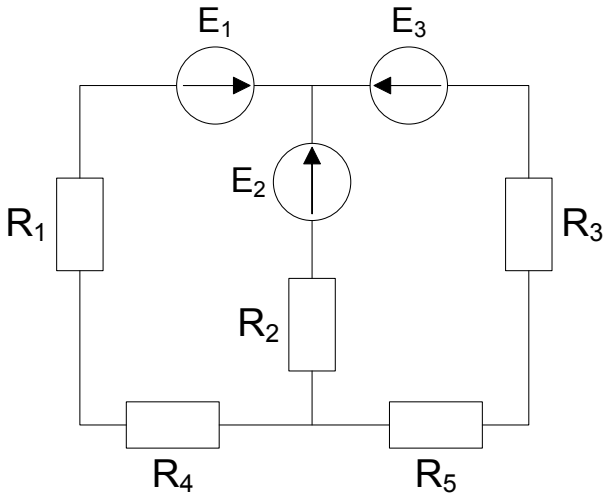
1.33 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**



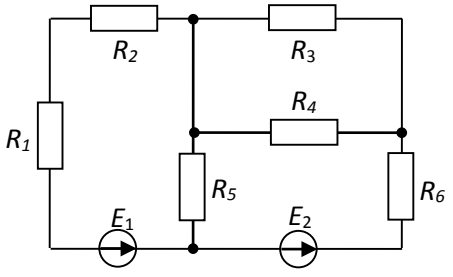
1.34 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания:

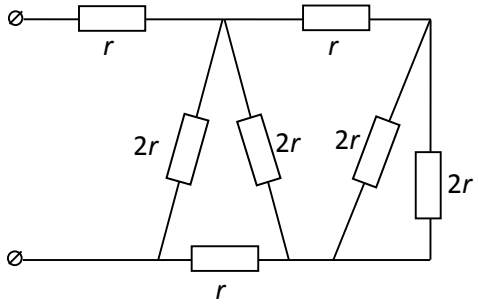
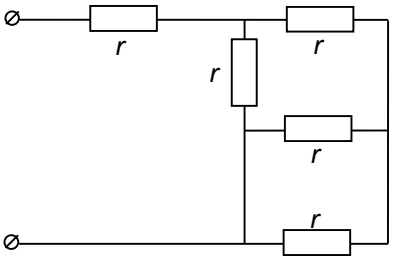
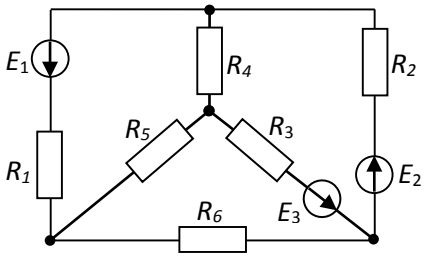
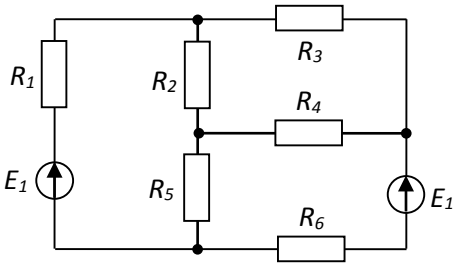
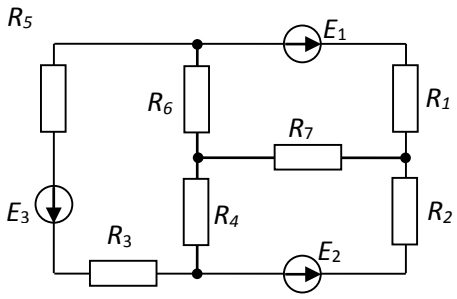
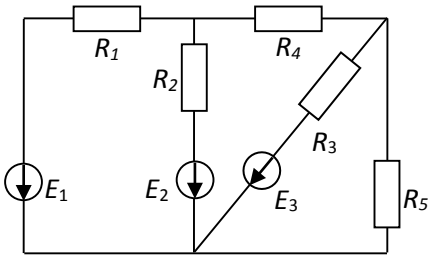


1.35 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**

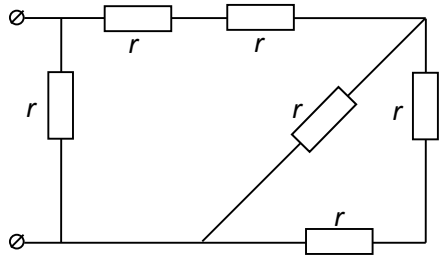


1.36 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**

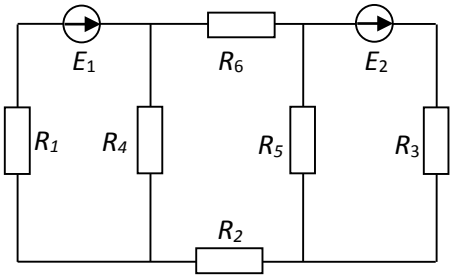


1.37 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания:  	1.40 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания: 
1.38 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**  	1.41 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:** 
1.39 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**  	1.42 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:** 

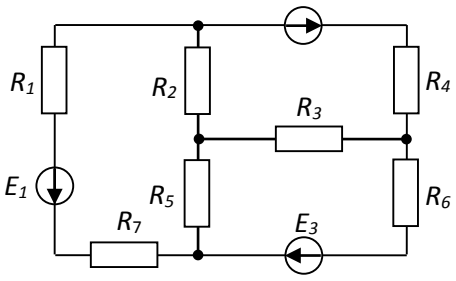
1.43 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания:



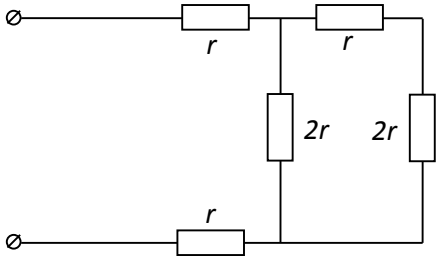
1.44 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



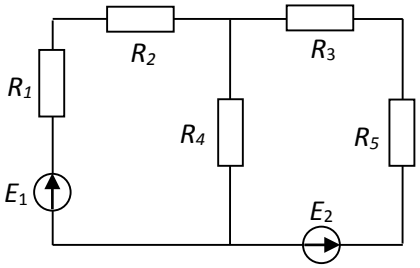
1.45 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**



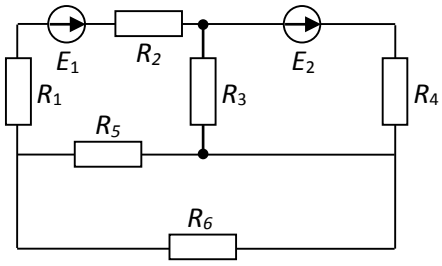
1.46 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания:



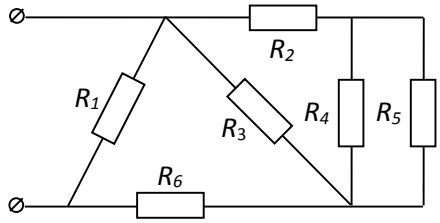
1.47 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



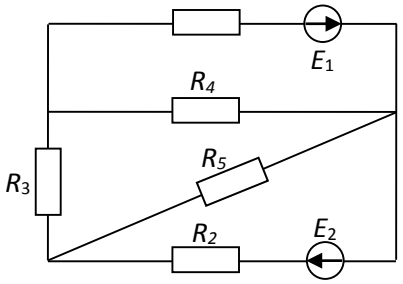
1.48 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**



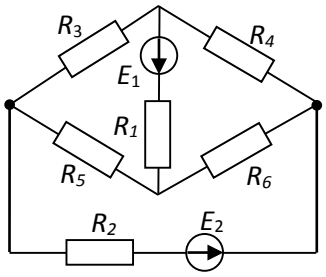
1.49 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания при $R_4 = R_5 = r$, $R_1 = R_2 = R_3 = R_6 = 2r$:



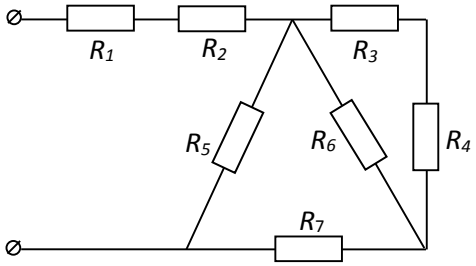
1.50 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



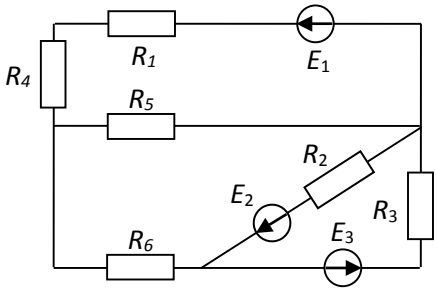
1.51 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**



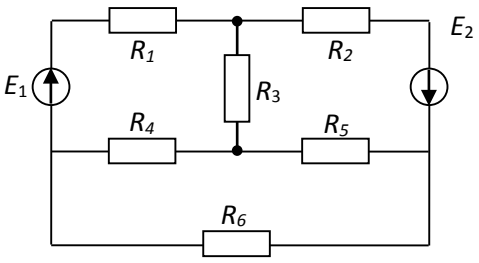
1.52 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания при $R_4 = R_5 = r$, $R_1 = R_2 = R_3 = R_6 = R_7 = 2r$:



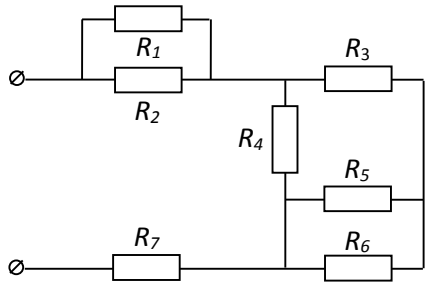
1.53 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



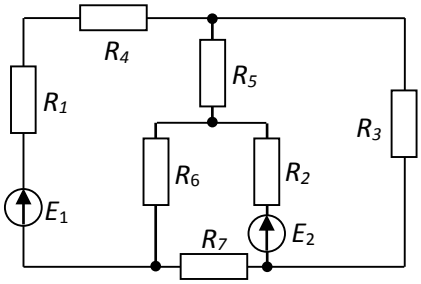
1.54 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**



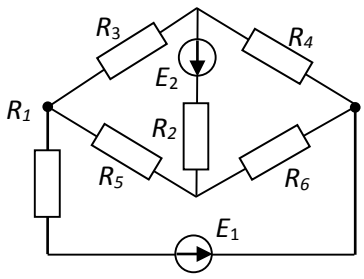
1.55 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания при $R_1 = R_2 = R_5 = R_6 = r$, $R_3 = R_4 = R_7 = 2r$:



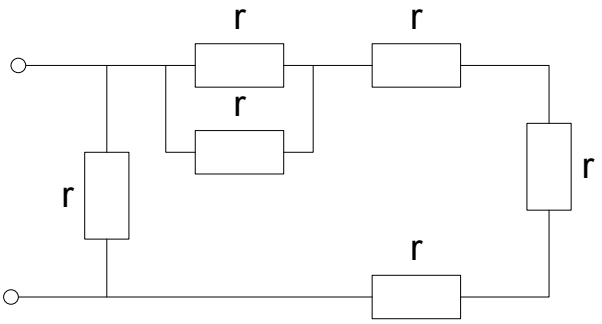
1.56 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



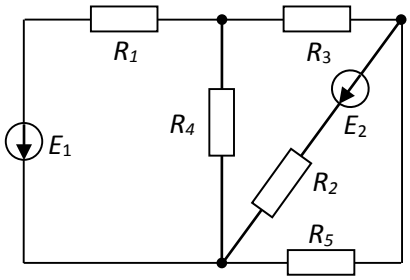
1.57 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**



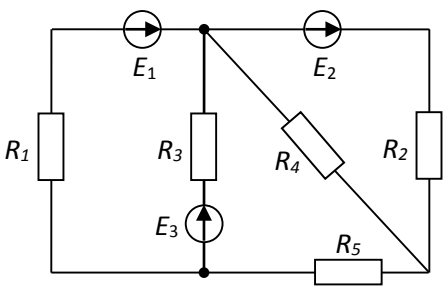
1.58 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания:



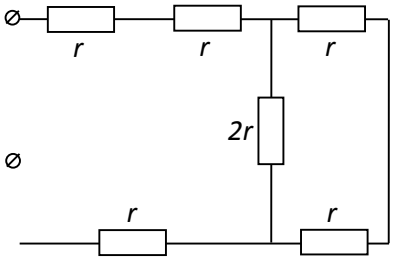
1.59 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



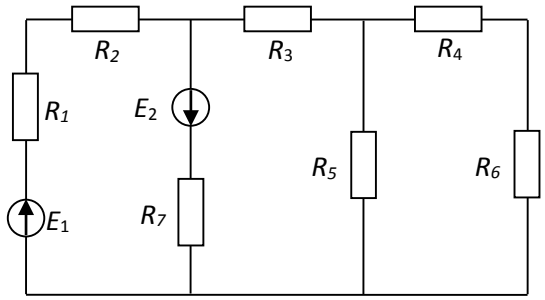
1.60 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**



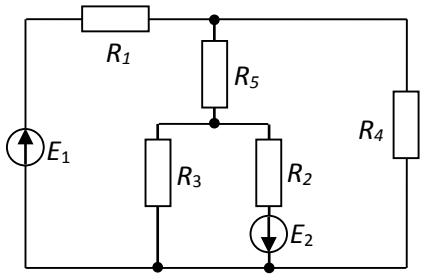
1.61 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания:



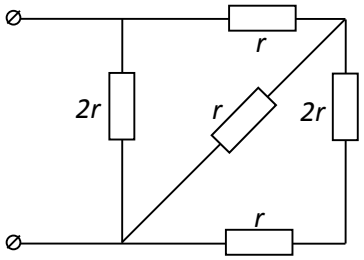
1.62 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



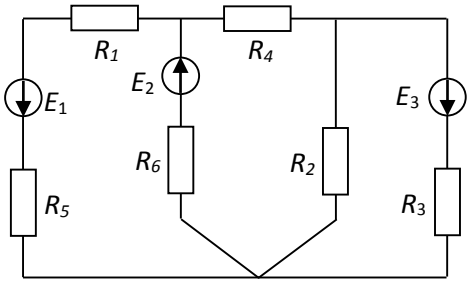
1.63 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**



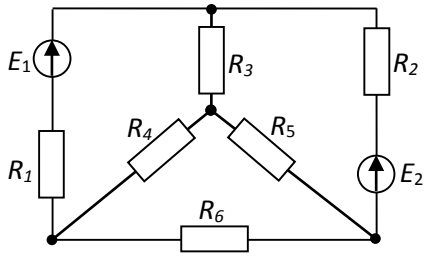
1.64 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания:



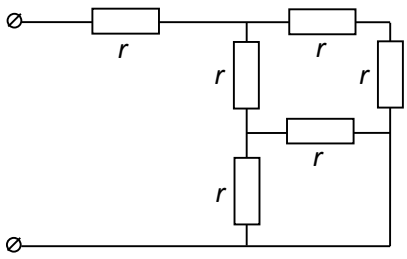
1.65 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



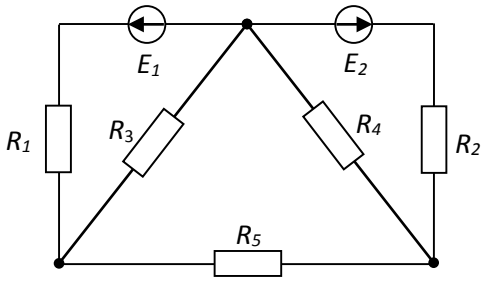
1.66 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**



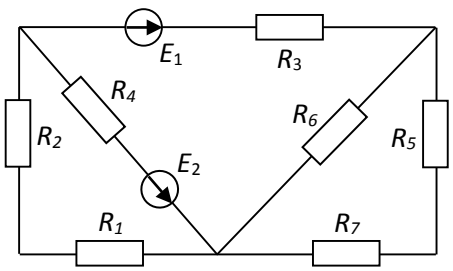
1.67 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания:



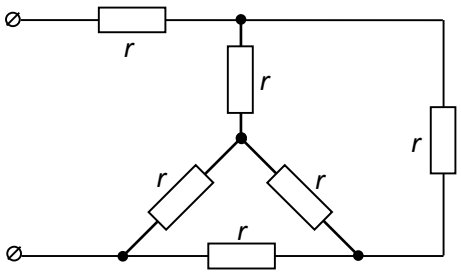
1.68 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



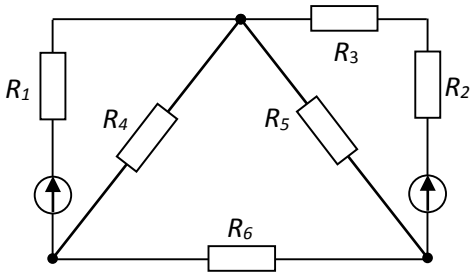
1.69 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**



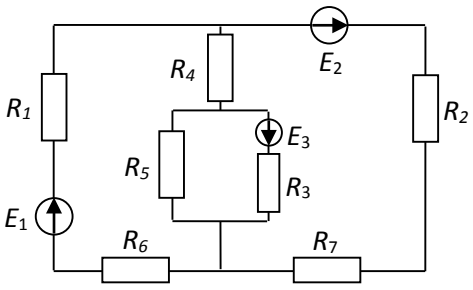
1.70 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания:



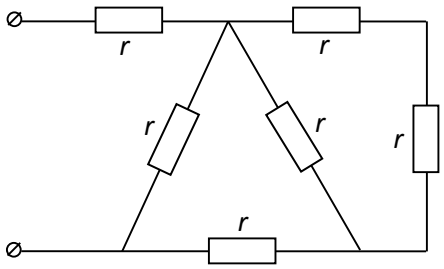
1.71 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



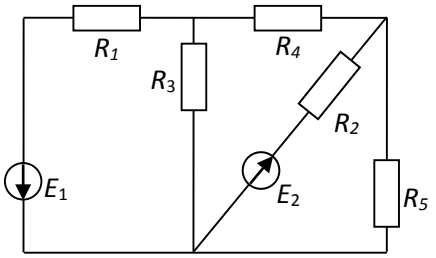
1.72 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**



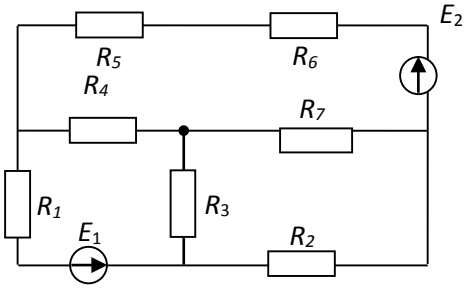
1.73 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания:



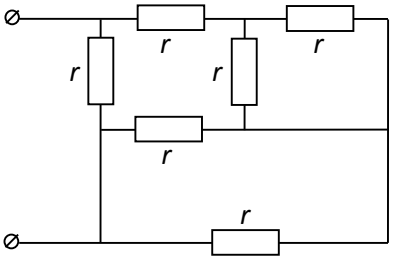
1.74 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



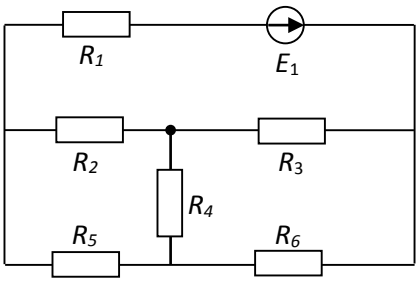
1.75 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**



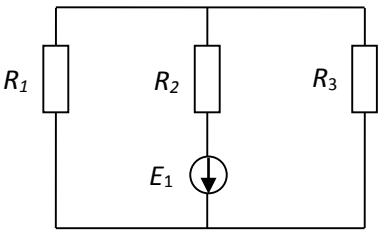
1.76 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания:



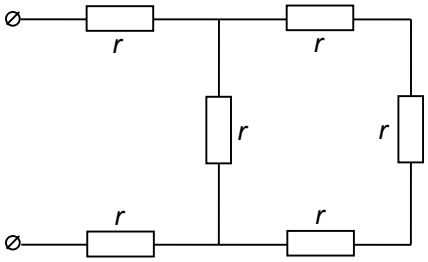
1.77 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



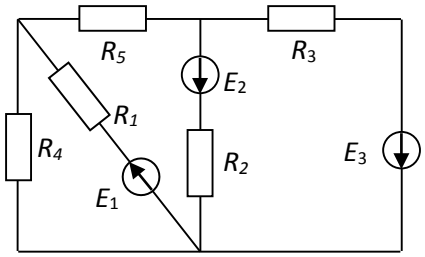
1.78 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**



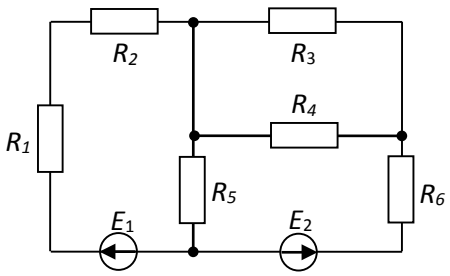
1.79 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания:



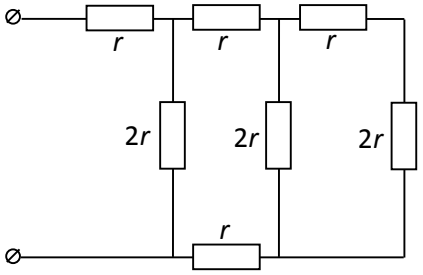
1.80 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



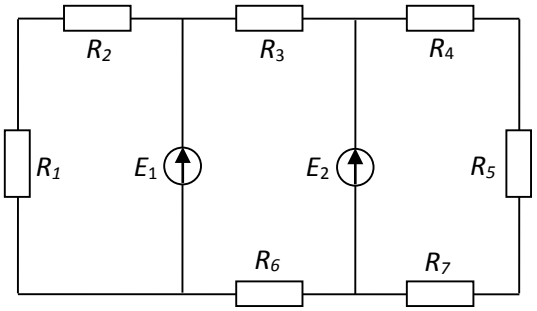
1.81 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**



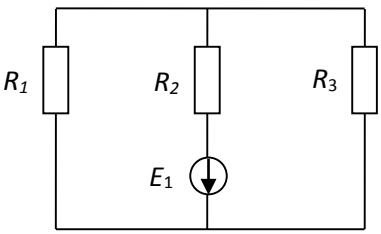
1.82 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания:



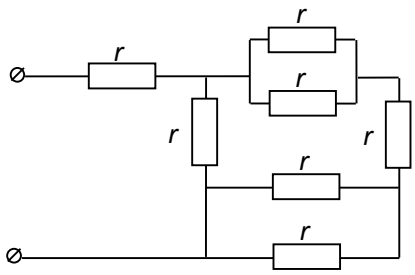
1.83 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



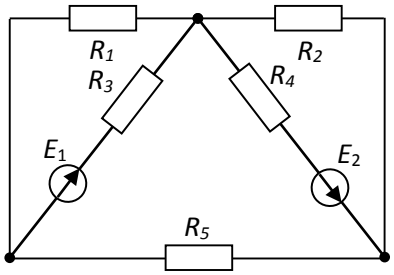
1.84 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**



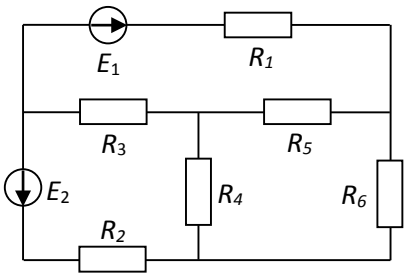
1.85 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания:



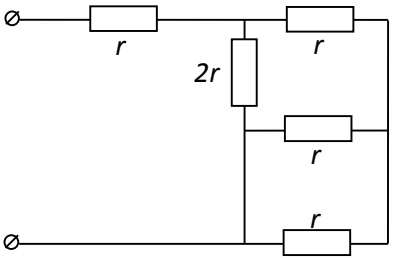
1.86 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



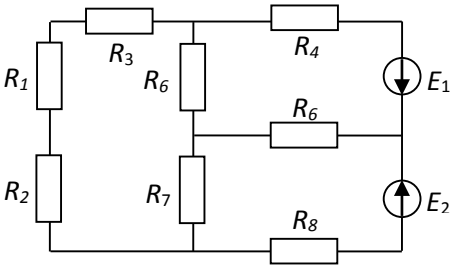
1.87 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**



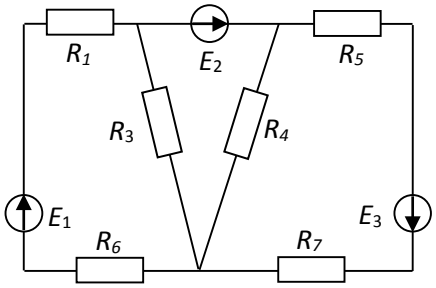
1.88 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания:



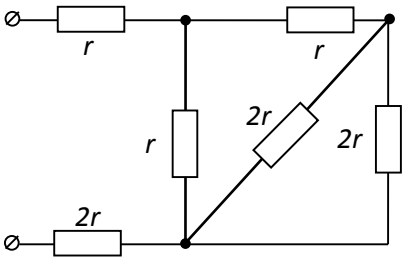
1.89 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



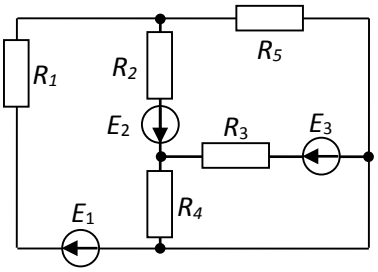
1.90 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**



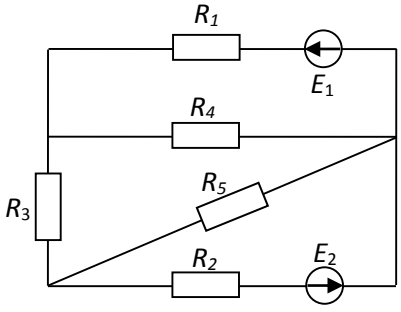
1.91 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания:



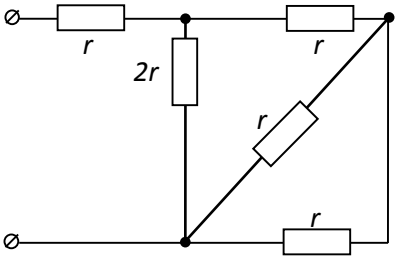
1.92 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



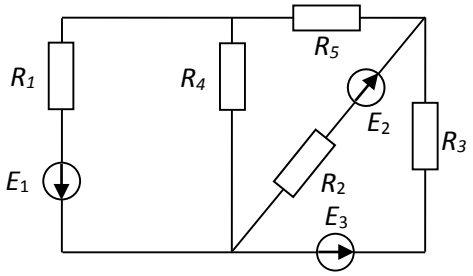
1.93 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**



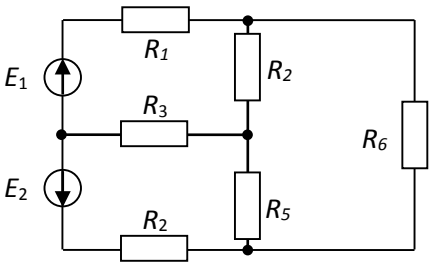
1.94 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания:



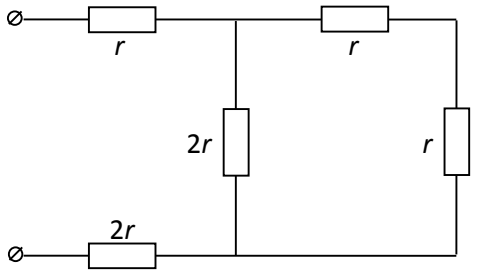
1.95 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



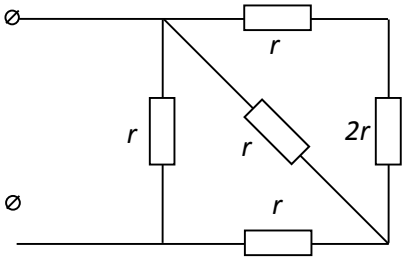
1.96 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**



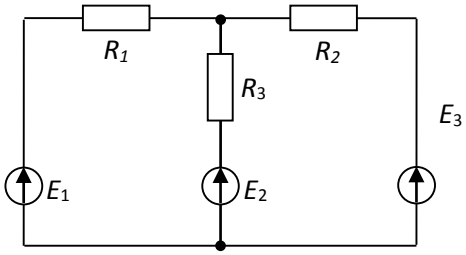
1.97 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов:



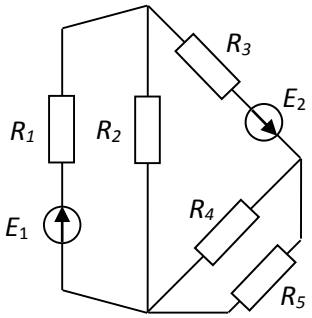
1.100 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания:



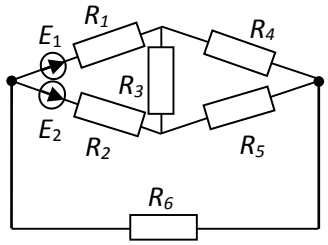
1.98 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



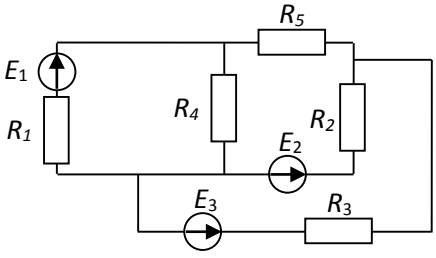
1.101 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



1.99 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**

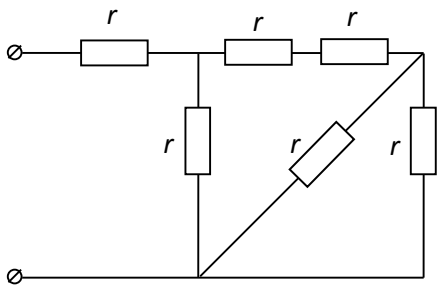


1.102 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**

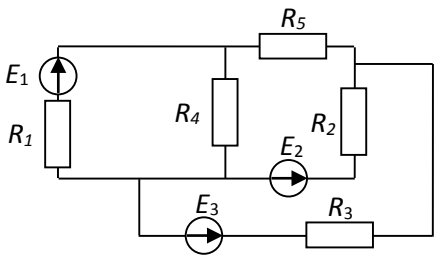


1.103 Чему равно эквивалентное сопротивление из десяти последовательно соединенных резисторов если сопротивление каждого из них больше на 100 Ом предыдущего, а сопротивление первого 1 кОм? Найти напряжение на пятом резисторе, если напряжение питания 15 В.

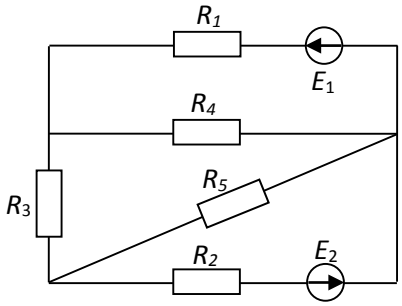
1.106 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания:



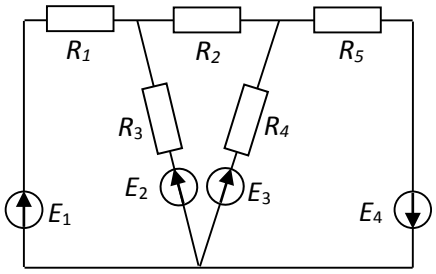
1.104 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



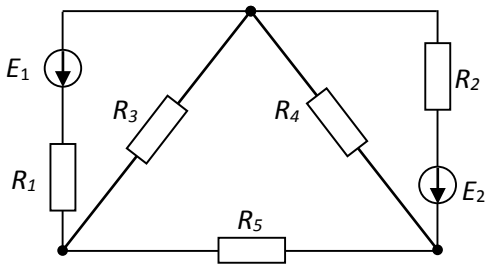
1.107 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



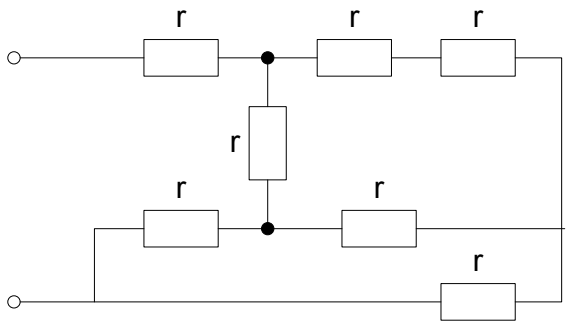
1.105 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**



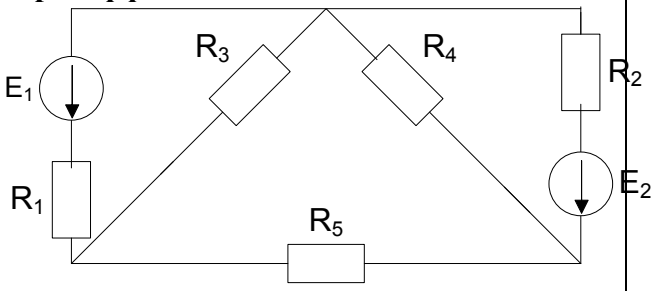
1.108 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**



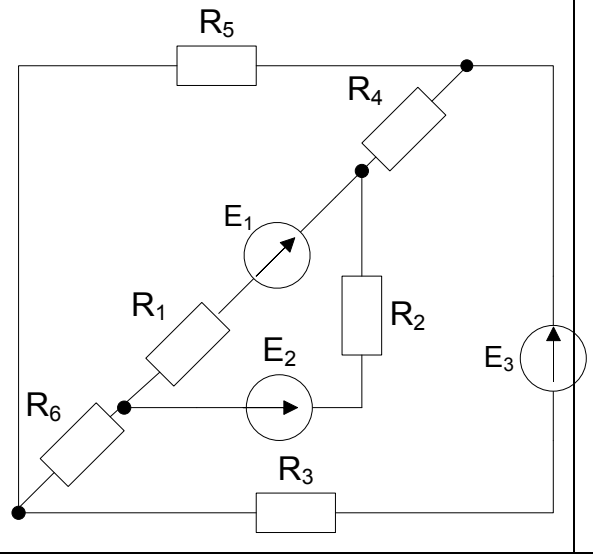
1.109 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания:



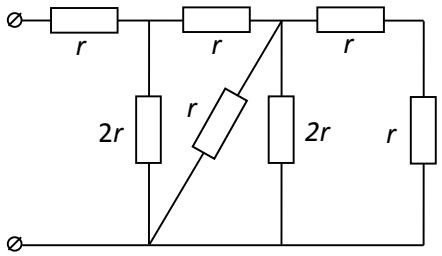
1.110 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



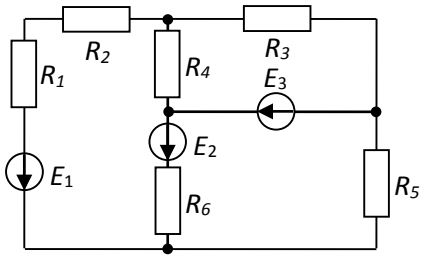
1.111 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**



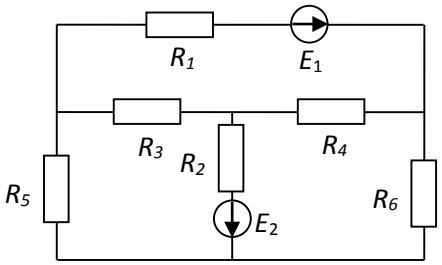
1.112 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания:



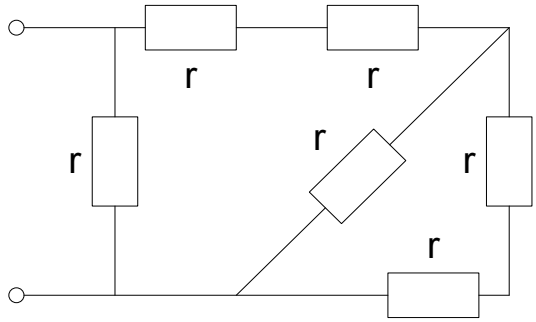
1.113 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



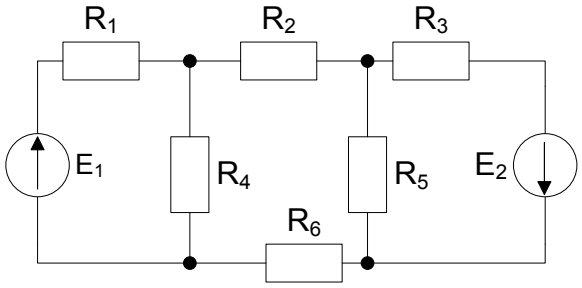
1.114 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**



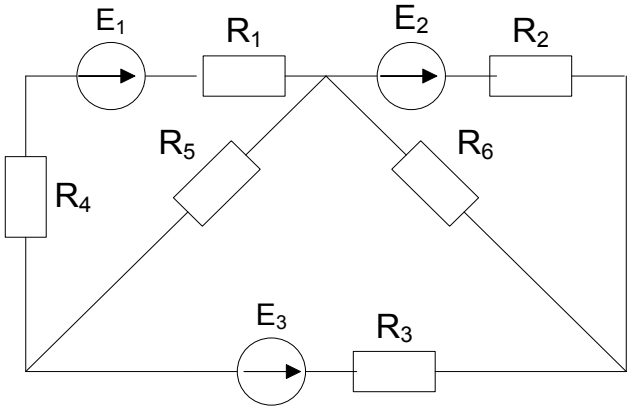
1.115 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания:



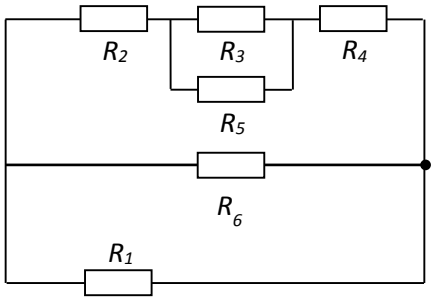
1.116 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



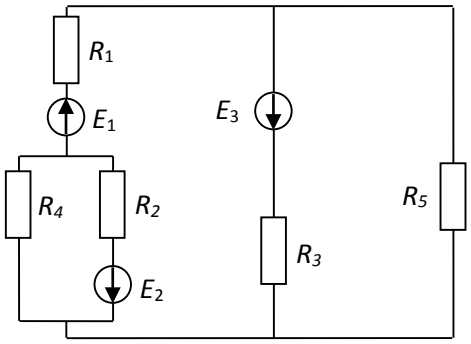
1.117 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**



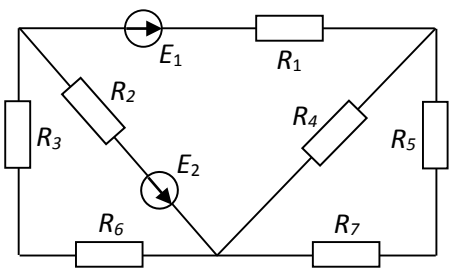
1.118 Определить эквивалентное сопротивление цепи при $R_3 = R_5 = R_6 = r$, $R_1 = R_2 = R_4 = 3r$



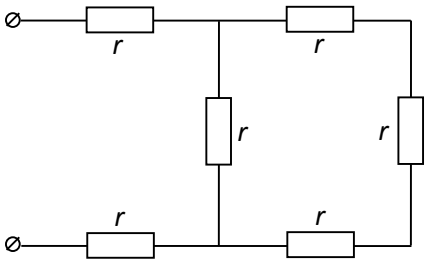
1.119 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



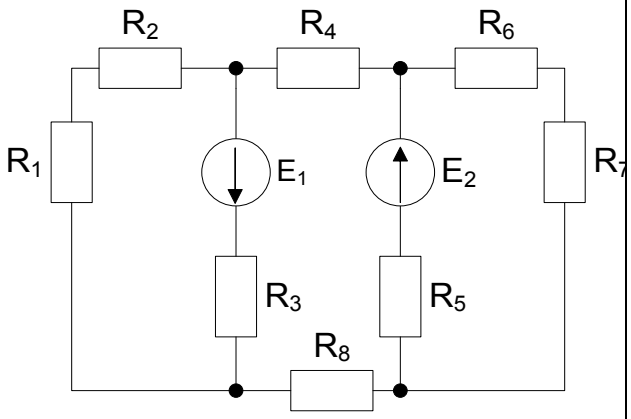
1.120 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**



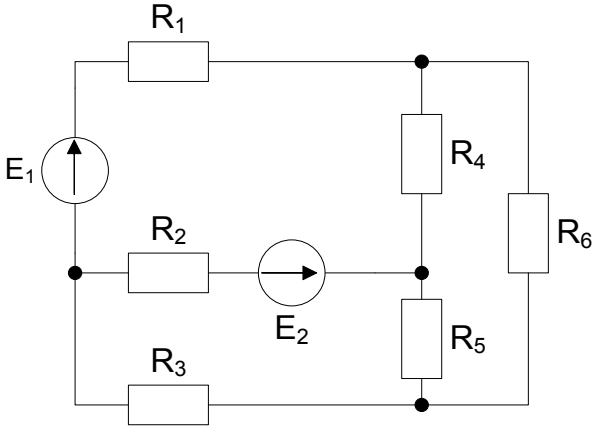
1.121 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания:



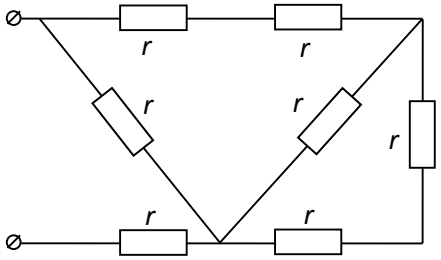
1.122 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



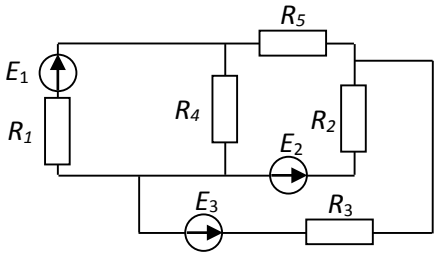
1.123 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**



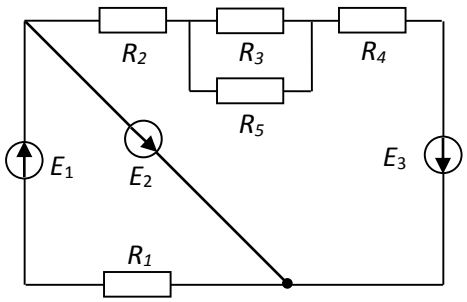
1.124 Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно выходных зажимов источника питания:



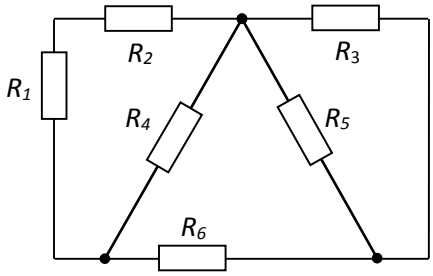
1.125 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



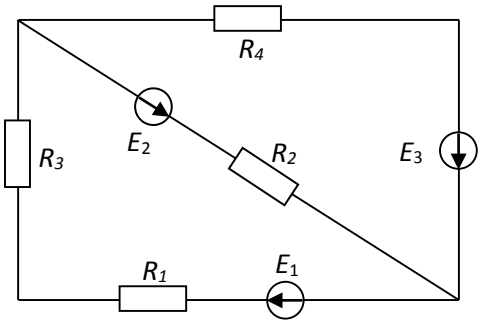
1.126 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**



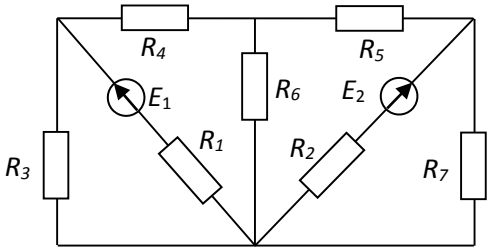
1.127 Определить эквивалентное сопротивление цепи, если сопротивления каждого из резисторов равны r



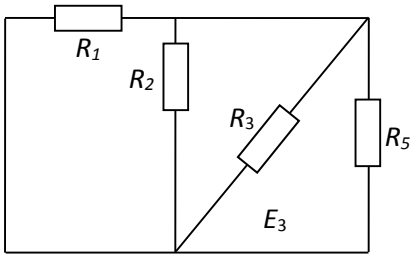
1.128 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



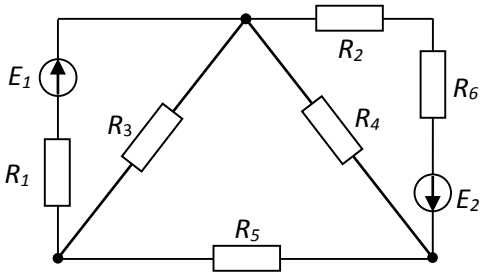
1.129 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**



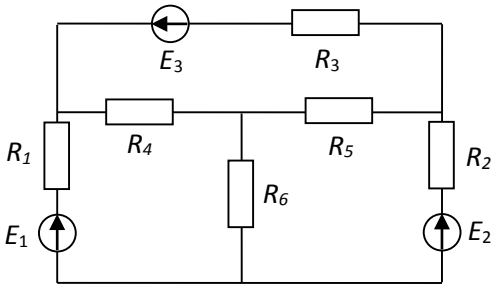
1.130 Определить эквивалентное сопротивление цепи, если сопротивления каждого из резисторов равны r



1.131 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **законы Кирхгоффа:**



1.132 Для заданной схемы написать уравнения в общем виде для определения токов в ветвях, применяя **метод контурных токов:**



Вопросы для самоконтроля

1. Законы Электротехники (закон Ома; 1-й закон Кирхгофа; 2-й закон Кирхгофа).
2. Методы расчета электрических цепей.
3. Принцип компенсации тока.
4. Принцип компенсации напряжения.
5. Принцип суперпозиции.
6. Основные термины и определения, применяемые в электротехнике.
7. Электрическая цепь, основные компоненты электрической цепи. Топологические характеристики электрической цепи.
8. Закон электромагнитной индукции.
9. Классификация и основные характеристики электротехнических материалов.
10. Алгоритм расчета электрической цепи методом эквивалентных преобразований.
11. Алгоритм расчета электрической цепи методом непосредственного применения законов Кирхгофа.
12. Алгоритм расчета электрической цепи методом контурных токов.
13. Алгоритм расчета электрической цепи методом наложения.
14. Алгоритм расчета электрической цепи методом двух узлов.
15. Алгоритм расчета электрической цепи методом эквивалентного генератора.
16. Баланс мощности электрической цепи.
17. Построение потенциальной диаграммы.
18. Построение графа электрической цепи.

Список использованной и рекомендуемой литературы

1. Касаткин А.С. Электротехника. Учебное пособие для вузов / А.С. Касаткин, М.В. Немцов. – М.: Высшая школа, 2005. – 542 с.

2. Борисов Ю.М., Липатов Д.Н. Общая электротехника. – М.: Энергоатомиздат, 1983.

3. Рекус Г.Г. Общая электротехника и основы промышленной электроники. Учебное пособие для вузов. М: Издательство Высшая школа, 2008.

4. Данилов И.А. Общая электротехника. Учебное пособие. М.: Изд-во Юрайт, 2010 – 673 с.

5. Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях. Практикум на Electronics Workbench: в 2 т. [Текст]: учеб. пособие для вузов / ред. Д.И. Панфилов. – М.: Додэка. Т. 1: Электротехника. – 1999. – 304 с.

6. Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях. Практикум на Electronics Workbench: в 2 т. [Текст]: учеб. пособие для вузов / ред. Д.И. Панфилов. – М.: Додэка. Т. 2: Электроника. – 2000. – 288 с.

7. Немцов М.В. Электротехника и электроника. Учебник для вузов. - М.: Издательство МЭИ, 2003 – 596 с.

8. Сборник задач по электротехнике и основам электроники. Учебное пособие для вузов / Под ред. В.Г. Герасимова. – М.: Высшая школа, 1987. – 288 с.

9. Прянишников, В.А. Электроника [Текст]: полный курс лекций / В.А. Прянишников. – 4-е изд. – СПб.: Корона Принт, 2004. – 416 с.

10. Комиссаров Ю.А. Общая электротехника и электроника [Электронный ресурс]: учебник / Ю.А. Комиссаров, Г.И. Бабокин. – 2-е изд. – М.: ИНФРА-М, 2016.

11. Лопатин В.П. Электротехника, основы электроники и электрооборудование. Учебное пособие. Уфа: УГНТУ, 2011.

12. Гузеев Б.В., Кирлан В.Л. Учебно-методическое пособие к лабораторному практикуму по дисциплине «Общая электротехника и

электроника» с выполнением работ на ЭВМ с моделирующей программой Electronics Workbench. Уфа: УГНТУ, 2009.

13. Шабанов В.А., Лопатин В.П. Расчет цепей постоянного тока Методические указания к выполнению домашнего задания по электротехнике для студентов неэлектрических специальностей. Уфа: УГНТУ, 2005.

14. Расчет цепей постоянного тока: Методические указания к выполнению домашнего задания по электротехнике для студентов неэлектрических специальностей. Уфа, УГНТУ, 2002. – 19 с.

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Хазиева Регина Тагировна

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Практикум

Корректор
Кудряшова Татьяна Сергеевна – специалист по учебно-методической работе
ОУИТ ССП УГНТУ «ИДПО»

Объем издания: 1,3 Мб