

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Факультет автоматики и вычислительной техники  
Кафедра автоматики и телемеханики

Отчет по дисциплине  
«Электротехника и электроника»

## **Расчет линейных и нелинейных электрических цепей**

Вариант 7

Выполнил студент ИТ-22:  
**Перевезенцев Александр  
Алексеевич**

Проверила:  
**Ланских Анна  
Михайловна**

Киров  
2015

### Задача 1. Линейные цепи постоянного тока

Для электрической схемы, изображенной на Рис. 1 выполнить следующее:

1. Составить на основании законов Кирхгофа систему уравнений для расчета токов во всех ветвях схемы
2. Определить токи во всех ветвях схемы методом контурных токов
3. Определить токи во всех ветвях схемы методом узловых потенциалов
4. Результаты расчета токов, проведенного двумя методами, свести в таблицу и сравнить между собой
5. Составить баланс мощностей в исходной схеме (схеме с источником тока), вычислив отдельно суммарную мощность источников и суммарную мощность нагрузок (сопротивлений)
6. Определить ток  $I_1$  в заданной по условию схемы с источником тока, используя теорему об активном двухполюснике и эквивалентом генераторе

#### Исходные данные

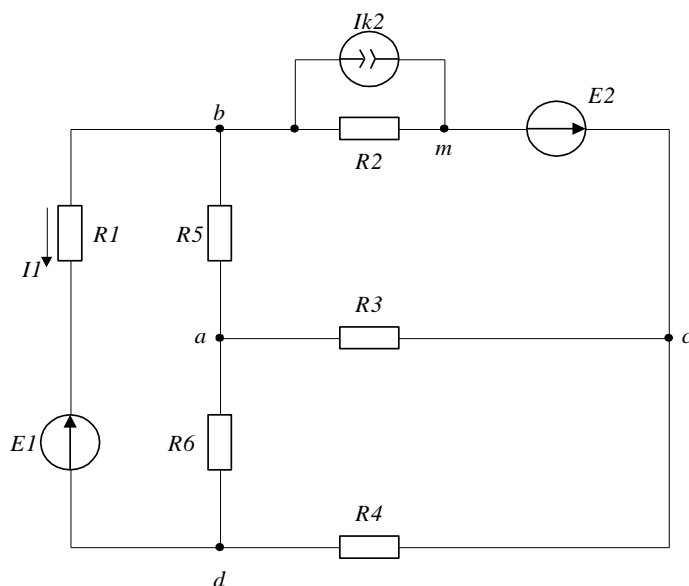


Рис. 1 – Электрическая схема

$$R_1 = 130 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 40 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 60 \text{ Ом}$$

$$R_4 = 80 \text{ Ом}$$

$$R_5 = 110 \text{ Ом}$$

$$R_6 = 45 \text{ Ом}$$

$$E_1 = 12 \text{ В}$$

$$E_2 = 13 \text{ В}$$

$$I_{k2} = 0.3 \text{ А}$$

### 1.1. Системы уравнений на основании законов Кирхгофа

Обозначим на схеме все направления токов и направления контуров. Измененная схема представлена на Рис. 2

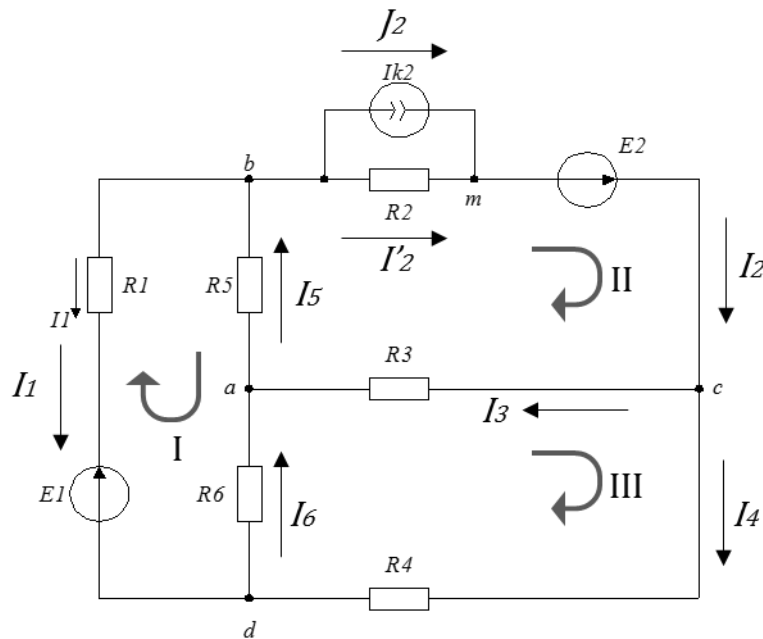


Рис. 2 – Схема с направлениями тока и контурами

Количество узлов на схеме равно 5 (узлы a, b, c, d, m). Также на схеме имеется 8 ветвей и 3 контура. Таким образом по первому закону Кирхгофа будет  $5 - 1 = 4$  уравнения. Построим их для узлов a, d, b и c:

$$\begin{cases} a: I_6 + I_3 - I_5 = 0 \\ b: I_5 - I_1 - I'_2 - J_2 = 0 \\ c: I_2 - I_4 - I_3 = 0 \\ d: I_4 - I_6 + I_1 = 0 \end{cases}$$

По второму закону Кирхгофа получится уже три уравнения. Для того, чтобы записать уравнения, нужно преобразовать источник тока в источник ЭДС (Рис. 3)

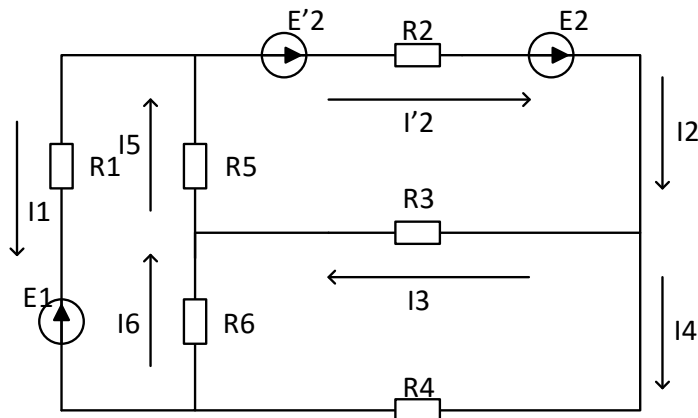


Рис. 3 – Преобразование источника тока в источник ЭДС

Т.к. мы проводили преобразования схемы, то  $E'_2 = I_{k2}R_2$

Тогда мы получим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} I: -I_1R_1 - I_5R_5 - I_6R_6 = E_1 \\ II: I_3R_3 + I_5R_5 + I_2R_2 = E_2 + E'_2 \\ III: I_4R_4 + I_6R_6 - I_3R_3 = 0 \end{cases}$$

## 1.2. Метод контурных токов

Для использования методов контурного тока необходимо все источники тока преобразовать в источники ЭДС (Рис. 3). Направления токов и контуров мы возьмем такие же, как и в предыдущем задании (Рис. 2)

$$R_{11} = R_1 + R_5 + R_6 = 130 + 110 + 45 = 285 \text{ Ом}$$

$$R_{22} = R_2 + R_3 + R_5 = 40 + 60 + 110 = 210 \text{ Ом}$$

$$R_{33} = R_3 + R_4 + R_6 = 60 + 80 + 45 = 185 \text{ Ом}$$

Найдем общие сопротивления:

$$R_{12} = R_{21} = R_5 = 110 \text{ Ом}$$

$$R_{23} = R_{32} = R_3 = 60 \text{ Ом}$$

$$R_{13} = R_{31} = R_6 = 45 \text{ Ом}$$

Т.к. мы проводили преобразования схемы, то  $E'_2 = I_{k2}R_2 = 0.3 * 40 = 12 \text{ В}$

Составляем систему уравнений. Число уравнений равно числу независимых контуров. Так как направление тока и направления ЭДС совпадают, то ЭДС везде берется со знаком «+».

$$\begin{cases} I_{11}R_{11} - I_{22}R_{21} - I_{33}R_{31} = E_1 \\ -I_{11}R_{21} + I_{22}R_{22} - I_{33}R_{23} = E_2 + E'_2 \\ -I_{11}R_{31} - I_{22}R_{32} + I_{33}R_{33} = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} 285I_{11} - 110I_{22} - 45I_{33} = 12 \\ -110I_{11} + 210I_{22} - 60I_{33} = 25 \\ -45I_{11} - 60I_{22} + 185I_{33} = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} I_{11} = 0,148 \text{ А} \\ I_{22} = 0,227 \text{ А} \\ I_{33} = 0,11 \text{ А} \end{cases}$$

Теперь выразим истинные токи через контуры. Ток для ветви, которая принадлежит двум или более контурам, то он равен алгебраической сумме соответствующих контурных токов. Контурные токи, которые совпадают с током ветви, берутся со знаком «+», несовпадающие – со знаком «-»

$$\begin{cases} I_1 = -I_{11} = -0.147 \text{ А} \\ I_2 = I_{22} = 0.227 \text{ А} \\ I'_2 = I_2 - I_{k2} = -0.073 \text{ А} \\ I_4 = I_{33} = 0.11 \text{ А} \\ I_3 = I_{22} - I_{33} = 0.117 \text{ А} \\ I_5 = I_{22} - I_{11} = 0.08 \text{ А} \\ I_6 = I_{33} - I_{11} = -0,038 \text{ А} \\ I_{кз} = 0.3 \text{ А (из условия)} \end{cases}$$

### 1.3. Метод узловых потенциалов

Пусть потенциал узла А будет равен нулю  $f_a = 0$ . Тогда нам нужно найти потенциалы узлов  $b, c, d$ .

$$\begin{cases} f_b \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_5} \right) - f_d \left( \frac{1}{R_1} \right) - f_c \left( \frac{1}{R_2} \right) = -I_{к2} - \frac{E_2}{R_2} + \frac{E_1}{R_1} \\ f_c \left( \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) - f_b \left( \frac{1}{R_2} \right) - f_d \left( \frac{1}{R_4} \right) = I_{к2} + \frac{E_2}{R_2} \\ f_d \left( \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_6} + \frac{1}{R_1} \right) - f_b \left( \frac{1}{R_1} \right) - f_c \left( \frac{1}{R_4} \right) = -\frac{E_1}{R_1} \end{cases}$$

$$\begin{cases} 0,04178f_b - 0,00769f_d - 0,025f_c = -0,5327 \\ 0,05416f_c - 0,025f_b - 0,0125f_d = 0,625 \\ 0,04241f_d - 0,00769f_b - 0,0125f_c = -0,0923 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} f_b = -8,8286 \text{ В} \\ f_c = 7,074 \text{ В} \\ f_d = -1,692 \text{ В} \end{cases}$$

Используя направления токов из Рис. 3 рассчитаем все токи в ветвях:

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{f_b - f_d - E_1}{R_1} = -0,147 \text{ А} & I'_2 &= \frac{f_b - f_c + E_2}{R_2} = -0,073 \text{ А} \\ I_3 &= \frac{(f_c - f_a)}{R_3} = 0,117 \text{ А} & I_4 &= \frac{(f_c - f_d)}{R_4} = 0,11 \text{ А} \\ I_5 &= \frac{f_a - f_b}{R_5} = 0,08 \text{ А} & I_6 &= \frac{f_d - f_a}{R_6} = -0,038 \text{ А} \\ I_2 &= I'_2 + I_{к2} = 0,227 \end{aligned}$$

### 1.4. Сравнение результатов двух методов

Теперь можно составить таблицу, в которую мы занесем результаты вычислений и сравним их.

	$I_1, \text{А}$	$I'_2, \text{А}$	$I_3, \text{А}$	$I_4, \text{А}$	$I_5, \text{А}$	$I_6, \text{А}$	$I_2, \text{А}$
Метод контурных токов	-0,147	-0,073	0,117	0,11	0,08	-0,038	0,227
Метод узловых потенциалов	-0,147	-0,073	0,117	0,11	0,08	-0,038	0,227

Значения токов, полученные двумя методами совпадают, следовательно, можно сделать вывод, что расчеты сделаны верно

## 1.5. Баланс мощностей

Теперь нужно составить баланс мощностей, вычислив отдельно суммарную мощность источников и суммарную мощность нагрузок (сопротивлений)

$$\sum P_{\text{ист}} = E_1 I_1 + E_2 I_2 - E'_2 I_{k2} = 1.764 + 2.951 + 0.876 = 5.591 \text{ В}$$

$$\sum P_{\text{пр}} = I_1^2 R_1 + I_2'^2 R_2 + I_3^3 R_3 + I_4^4 R_4 + I_5^5 R_5 + I_6^6 R_6 = 2.809 + 0.215 + 0.824 + 0.972 + 0.705 + 0.064 = 5.589 \text{ В}$$

$\sum P_{\text{ист}} = \sum P_{\text{пр}} = 5.590 \pm 0.001 \text{ В}$ . Баланс мощностей практически полностью сходится. Имеется допустимая небольшая погрешность.

## 1.6. Теорема об активном двухполюснике и эквивалентном генераторе

Активный двухполюсник преобразуем в пассивный и определяем эквивалентные сопротивления. Немного изменим схему и применим преобразование «треугольник – звезда» (Рис. 4)

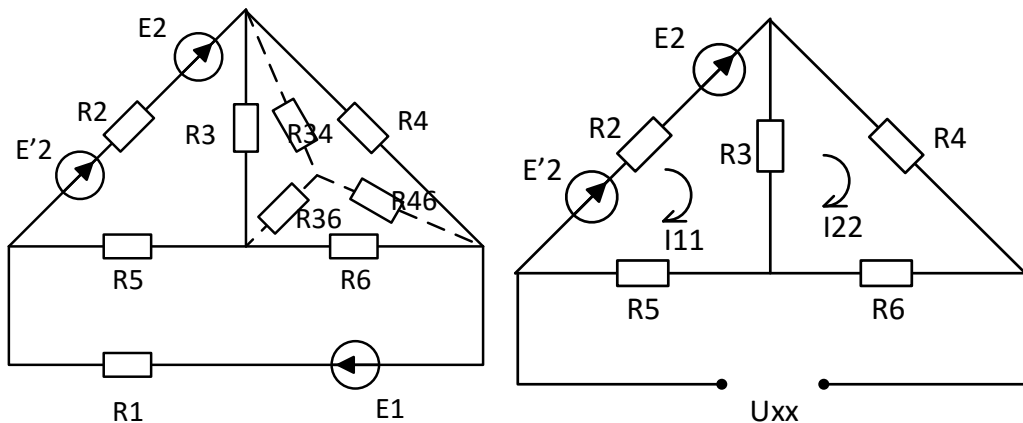


Рис. 4 – Преобразование «Треугольник – Звезда»

Исходная и измененная схема эквивалентны, т.е. если при замене одной из этих схем не изменяются потенциалы одноименных узлов, а также подтекающие к ним токи, то во внешней цепи изменения не произойдут.

$$R_{34} = \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4 + R_6} = 25.94 \text{ Ом} \quad R_{36} = \frac{R_3 R_6}{R_3 + R_4 + R_6} = 14.59 \text{ Ом}$$

$$R_{46} = \frac{R_4 R_6}{R_3 + R_4 + R_6} = 19.46 \text{ Ом}$$

$$R_{\text{вх}} = R_{46} + \frac{(R_2 + R_{34})(R_5 + R_{36})}{R_2 + R_5 + R_{34} + R_{36}} = 62.58 \text{ Ом}$$

Любой активный двухполюсник может быть заменен эквивалентным генератором, ЭДС которого  $E_3$  равна напряжению холостого хода двухполюсника, а внутреннее сопротивление  $R_3$  напряжению холостого хода, деленному на ток  $I_{k2}$ .

Определим напряжение холостого хода  $U_{xx}$ . Воспользуемся методом контурных токов.

$$\begin{cases} I_{11}(R_2 + R_3 + R_5) - I_{22}R_3 = E_2 + E'_2 \\ I_{22}(R_3 + R_4 + R_6) - I_{11}R_3 = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} 210I_{11} - 60I_{22} = 25 \\ -60I_{11} + 185I_{22} = 0 \end{cases}$$

Выполнив вычисления, получим, что:

$$I_{11} = 0.131 \text{ A}; \quad I_{22} = 0.042 \text{ A}$$

$$\text{Найдем } U_{xx}: U_{xx} = -I_{11}R_5 - I_{22}R_6 - E_1 = -28.3 \text{ В}$$

$$I_1 = \frac{U_{xx}}{R_1 + R_{\text{BX}}} = -0.147 \text{ A}$$