

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. РАСЧЕТ ЛИНЕЙНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА.....	4
1.1 Составление в общем виде системы уравнений с помощью законов Кирхгофа.....	6
1.2 Определение токов во всех ветвях методом контурных токов и узловых потенциалов.....	6
1.3 Определение тока $I_1$ методом эквивалентного генератора при изменении величины сопротивления $R_1$ в пределах от $R_1$ до $6R_1$ . Построение графика зависимости $I_1 = f(R_1)$ .....	9
1.4 Сравнение результатов расчётов, проведённых двумя методами.....	12
1.5 Составление баланса мощностей.....	13
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	14
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	15

ЭА15.3436.23 ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата
Разраб		Сафиуллин Т.М		
Пров		Фефелова С.В		
Н. Контр.				
Утв				

Расчет линейной электрической цепи постоянного тока Пояснительная записка		
Литера	Лист	Листов
у	2	
БГАУ 2023, АИЭ-201		

## ВВЕДЕНИЕ

Один из методов анализа электрической цепи является **метод контурных токов**. Основой для него служит второй закон Кирхгофа. Главное его преимущество это уменьшение количества уравнений до  $m - n + 1$ , напомним что  $m$  - количество ветвей, а  $n$  - количество узлов в цепи. На практике такое уменьшение существенно упрощает расчет.

Основные понятия:

**Контурный ток** - это величина, которая одинакова во всех ветвях данного контура. Обычно в расчетах они обозначаются двойными индексами, например  $I_{11}$ ,  $I_{22}$  и тд.

**Действительный ток** в определенной ветви определяется алгебраической суммой контурных токов, в которую эта ветвь входит. Нахождение действительных токов и есть первоочередная задача метода контурных токов.

**Контурная ЭДС** - это сумма всех ЭДС входящих в этот контур.

**Собственным сопротивлением** контура называется сумма сопротивлений всех ветвей, которые в него входят.

**Общим сопротивлением** контура называется сопротивление ветви, смежное двум контурам.

**Метод узловых потенциалов** - один из методов анализа электрической цепи, который целесообразно использовать, когда количество узлов в цепи меньше или равно числу независимых контуров. Данный метод основан на составлении уравнений по первому закону Кирхгофа. При этом, потенциал одного из узлов цепи принимается равным нулю, что позволяет сократить число уравнений до  $n-1$ .

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

ЭА15.3436.23 ПЗ

Лист

3



# 1. РАСЧЕТ ЛИНЕЙНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

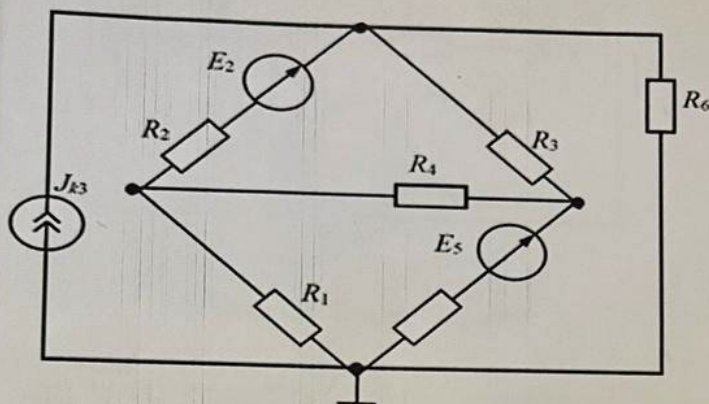


Рисунок 1.1 Исходная схема электрическая схема

В соответствии с составленной расчетной схемой и индивидуальным заданием выполнить следующие расчеты:

- Составить в общем виде систему уравнений с помощью законов Кирхгофа.
- Определить токи в ветвях схемы методом контурных токов и узловых потенциалов.
- Определить ток  $I_1$  методом эквивалентного генератора при изменении величины сопротивления  $R_1$  в пределах от  $R_1$  до  $6R_1$ . Построить график зависимости  $I_1 = f(R_1)$ .
- Для сравнения результаты расчетов, проведенных тремя методами, свести в одну таблицу.
- Составить баланс мощностей.

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

ЭА15.3436.23 ПЗ

Лист

4

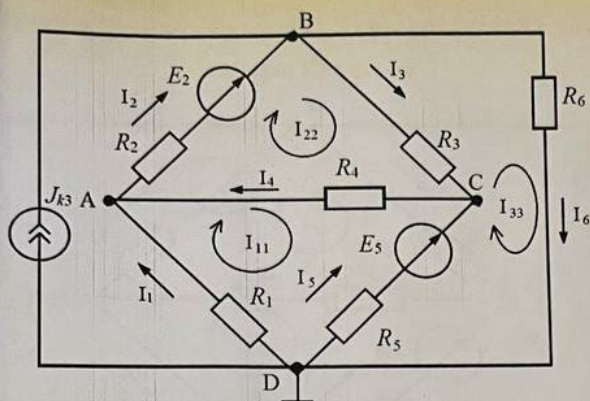


Рисунок 1.2 Расчетная схема

Исходные данные:

Вар	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_6$	$E_2$	$E_5$	$J_3$
23	75	25	12	50	46	22	80	100	5

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

ЭА15.3436.23 ПЗ

Лист

5



### 1.1 Составление в общем виде системы уравнений с помощью законов Кирхгофа

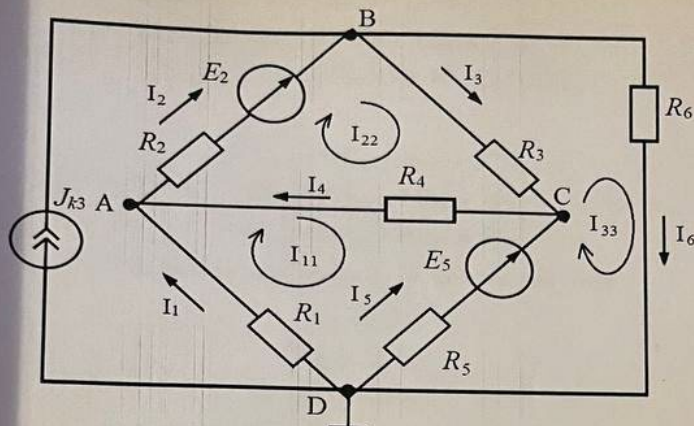


Рисунок 1.3 Расчетная схема для метода контурных токов

По первому закону Кирхгофа, количество независимых уравнений, равно  $n-1$ , значит уравнений 3.

$$I_1 - I_2 + I_4 = 0$$

$$I_2 - I_3 + I_6 + J_{k3} = 0$$

$$I_3 - I_4 + I_5 = 0$$

По второму закону Кирхгофа для контуров, недостающие уравнения составляют:

$$I_1 R_1 - I_4 R_4 - I_5 R_5 = -E_5$$

$$I_2 R_2 + I_3 R_3 + I_4 R_4 = E_2$$

$$-I_3 R_3 + I_5 R_5 + I_6 R_6 = E_5$$

### 1.2 Определение токов во всех ветвях методом контурных токов и узловых потенциалов

Метод контурных токов

Метод контурных токов:

$$I_{11}(R_1 + R_4 + R_5) - I_{22}R_4 - I_{33}R_5 = -E_5 + J_{k3}R_1$$

$$-I_{11}R_4 + I_{22}(R_2 + R_3 + R_4) - I_{33}R_3 = E_2 + J_{k3}R_2$$

$$-I_{11}R_5 - I_{22}R_3 + I_{33}(R_3 + R_5 + R_6) = E_5$$

Подставим значения:

$$I_{11}(75 + 50 + 46) - I_{22}50 - I_{33}46 = -100 + 5 \cdot 75$$

$$-I_{11}50 + I_{22}(25 + 12 + 50) - I_{33}12 = 80 + 5 \cdot 25$$

$$-I_{11}46 - I_{22}12 + I_{33}(12 + 46 + 22) = 100$$

$$171I_{11} - 50I_{22} - 46I_{33} = 275$$

$$-50I_{11} + 87I_{22} - 12I_{33} = 205$$

$$-46I_{11} - 12I_{22} + 80I_{33} = 100$$

Решим систему уравнений, контурные токи:

$$I_{11} = 4,5 \text{ A}$$

$$I_{22} = 5,587 \text{ A}$$

$$I_{33} = 4,675 \text{ A}$$

Вычислим значения токов в ветвях

$$I_1 = -J_{k3} + I_{11} = -5 + 4,5 = -0,5 \text{ A}$$

$$I_2 = -J_{k3} + I_{22} = -5 + 5,587 = 0,587 \text{ A}$$

$$I_3 = I_{22} - I_{33} = 5,587 - 4,675 = 0,912 \text{ A}$$

$$I_4 = -I_{11} + I_{22} = -4,5 + 5,587 = 1,087 \text{ A}$$

$$I_5 = -I_{11} + I_{33} = -4,5 + 4,675 = 0,175 \text{ A}$$

$$I_6 = I_{33} = 4,675 \text{ A}$$

Метод узловых потенциалов

Приравниваем потенциал узла D нулю и составим уравнения для определения потенциала остальных узлов

$$\begin{cases} \varphi_a G_{11} + \varphi_a G_{12} + \varphi_a G_{13} = I_{AA} \\ \varphi_a G_{21} + \varphi_a G_{22} + \varphi_a G_{23} = I_{BB} \\ \varphi_a G_{31} + \varphi_a G_{32} + \varphi_a G_{33} = I_{CC} \end{cases}$$

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

ЭА15.3436.23 ПЗ

Лист

7

Обозначим через проводимости

$$G_{11} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{75} + \frac{1}{25} + \frac{1}{50} = 0,073 \text{ См}$$

$$G_{22} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_6} = \frac{1}{25} + \frac{1}{12} + \frac{1}{22} = 0,169 \text{ См}$$

$$G_{33} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} = \frac{1}{12} + \frac{1}{50} + \frac{1}{46} = 0,125 \text{ См}$$

$$G_{12} = G_{21} = -\frac{1}{R_2} = -\frac{1}{25} = -0,04 \text{ См}$$

$$G_{13} = G_{31} = -\frac{1}{R_4} = -\frac{1}{50} = -0,02 \text{ См}$$

$$G_{23} = G_{32} = -\frac{1}{R_3} = -\frac{1}{12} = -0,083 \text{ См}$$

Узловые токи

$$I_{AA} = -\frac{E_2}{R_2} = -\frac{80}{25} = -3,2 \text{ А}$$

$$I_{BB} = \frac{E_2}{R_2} + J_{k3} = \frac{80}{25} = 8,2 \text{ А}$$

$$I_{CC} = \frac{E_5}{R_5} = \frac{100}{46} = 2,174 \text{ А}$$

Подставим значения

$$\begin{cases} 0,073\varphi_a - 0,04\varphi_a - 0,02\varphi_a = -3,2 \\ -0,04\varphi_a + 0,169\varphi_a - 0,083\varphi_a = 8,2 \\ -0,02\varphi_a + 0,083\varphi_a + 0,125\varphi_a = 2,174 \end{cases}$$

Решим систему уравнений:

$$\varphi_a = 37,535 \text{ В}$$

$$\varphi_b = 102,857 \text{ В}$$

$$\varphi_c = 91,915 \text{ В}$$

Найдем значения токов в ветвях

$$I_1 = \frac{\varphi_d - \varphi_a}{R_1} = \frac{0 - 37,535}{75} = -0,5 \text{ А}$$

ЭА15.3436.23 ПЗ					Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	8



$$I_2 = \frac{\varphi_a - \varphi_b + E_2}{R_2} = \frac{37,535 - 102,857 + 80}{75} = 0,587 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{\varphi_b - \varphi_c}{R_3} = \frac{102,857 - 91,915}{75} = 0,912 \text{ A}$$

$$I_4 = \frac{\varphi_c - \varphi_a}{R_4} = \frac{91,915 - 37,535}{75} = 1,088 \text{ A}$$

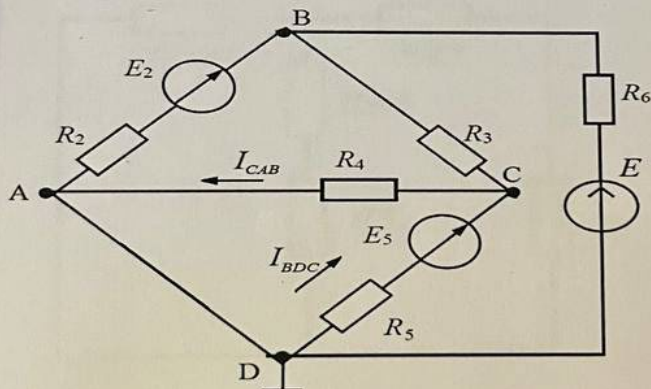
$$I_5 = \frac{\varphi_d - \varphi_c + E_5}{R_5} = \frac{0 - 91,915 + 100}{75} = 0,176 \text{ A}$$

$$I_6 = \frac{\varphi_b - \varphi_d}{R_6} = \frac{102,857 - 0}{75} = 4,675 \text{ A}$$

### 1.3 Определение тока $I_1$ методом эквивалентного генератора при изменении величины сопротивления $R_1$ в пределах от $R_1$ до $6R_1$ . Построение график зависимости $I_1 = f(R_1)$

Определить ток  $I_1$  методом эквивалентного генератора

Напряжение холостого хода эквивалентного генератора для первой ветви схемы электрической цепи:



Заменяем источник ток источником ЭДС

$$E = J_{k3} R_6 = 5 \cdot 22 = 110 \text{ В}$$

$$U_{BC} = \frac{\frac{E_2}{R_2 + R_4} + \frac{E - E_5}{R_5 + R_6}}{\frac{1}{R_2 + R_4} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_5 + R_6}} = \frac{\frac{80}{25 + 50} + \frac{110 - 100}{46 + 22}}{\frac{1}{25 + 50} + \frac{1}{12} + \frac{1}{46 + 22}} = 10,9 \text{ В}$$

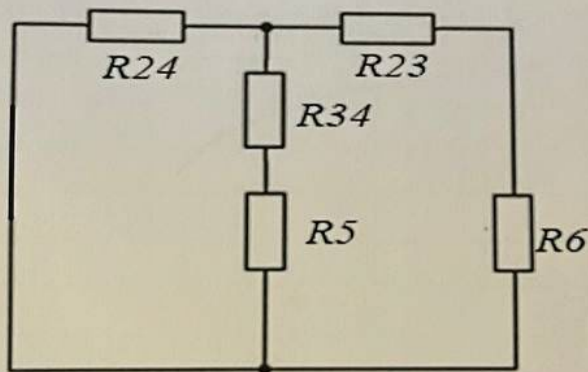
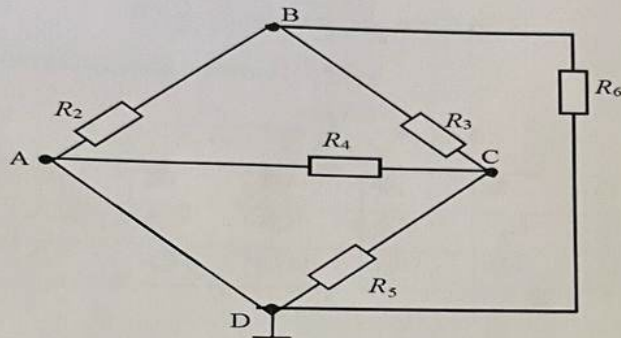


$$I_{CAB} = \frac{E_2 - U_{BC}}{R_2 + R_4} = \frac{80 - 10,9}{25 + 50} = 0,921 \text{ A}$$

$$I_{BDC} = \frac{U_{BC} - E + E_5}{R_5 + R_6} = \frac{10,9 - 110 + 100}{46 + 22} = 0,013 \text{ A}$$

$$U_{XX} = -E_5 + I_{BDC}R_5 + I_{CAB}R_4 = 100 - 0,013 \cdot 46 + 0,921 \cdot 50 = -53,325 \text{ В}$$

Внутреннее сопротивление эквивалентного генератора:



Преобразуем треугольник сопротивлений ABC в эквивалентную звезду

$$R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3 + R_4} = \frac{25 \cdot 12}{25 + 12 + 50} = 3,45 \text{ Ом}$$

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

ЭА15.3436.23 ПЗ

Лист  
10

$$R_{24} = \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_3 + R_4} = \frac{25 \cdot 50}{25 + 12 + 50} = 14,37 \text{ Ом}$$

$$R_{34} = \frac{R_3 R_4}{R_2 + R_3 + R_4} = \frac{12 \cdot 50}{25 + 12 + 50} = 6,9 \text{ Ом}$$

$$R_{\Gamma} = R_{24} + \frac{(R_{34} + R_5)(R_{23} + R_6)}{R_{34} + R_5 + R_{23} + R_6} = 14,37 + \frac{(6,9 + 46)(3,45 + 22)}{6,9 + 46 + 3,45 + 22} = 31,55 \text{ Ом.}$$

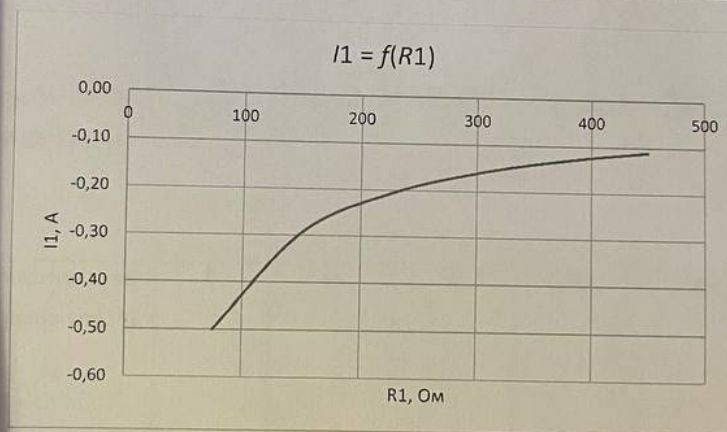
Значение тока во второй ветви:

$$I_1 = \frac{U_{XX}}{R_{\Gamma} + R_1} = \frac{-53,325}{31,55 + 75} = -0,5 \text{ А.}$$

Построим график зависимости  $I_1 = f(R_1)$ :

$$I_1 = \frac{U_{XX}}{R_{\Gamma} + R_1} = \frac{-53,325}{31,55 + R_1} = -0,5 \text{ А.}$$

	$1R_1$	$2R_1$	$3R_1$	$4R_1$	$5R_1$	$6R_1$
$R_1$	-0,50	-0,29	-0,21	-0,16	-0,13	-0,11
$I_1$	-0,5	0,587	0,912	1,087	0,175	4,675



Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

ЭА15.3436.23 ПЗ

Лист  
11



#### 1.4 Сравнение результатов расчётов, проведённых двумя методами в таблице

Сравним результаты расчетов

Составляем таблицу и вписываем данные вычисления и находим погрешность двух методов нахождения токов и записываем в таблицу

##### 1.1 Данные вычислений

Таблица 1.1 Данные вычислений

Метод расчета	I1	I2	I3	I4	I5	I6
Метод контурных токов	-0,5	0,587	0,912	1,087	0,175	4,675
Метод узловых потенциалов	-0,5	0,587	0,912	1,088	0,176	4,675
Относительная погрешность, %	0	0	0	0,001	0,001	0

и	Лист	№ докум	Подпись	Дата

ЭА15.3436.23 ПЗ

Лист  
12

### 1.5 Составление баланса мощностей

Баланс мощности:

$$U_{j3} = I_6 R_6 = 4,675 \cdot 22 = 102,85 \text{ Вт};$$

$$\Sigma P_{\text{ист}} = E_2 I_2 + E_5 I_5 + U_{j3} I_{k3} = 80 \cdot 0,587 + 100 \cdot 0,176 + 5 \cdot 102,85 \\ = 578,78 \text{ Вт};$$

$$\Sigma P_{\text{ист}} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4 + I_5^2 R_5 + I_6^2 R_6 \\ = (-0,5)^2 \cdot 75 + 0,587^2 \cdot 25 + 0,912^2 \cdot 12 + 1,088^2 \cdot 50 + 0,176^2 \\ \cdot 46 + 4,675^2 \cdot 22 = 578,8 \text{ Вт};$$

Баланс сошелся!

Лист	№ докум	Подпись	Дата	

ЭА15.3436.23 ПЗ

Лист  
13



### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной расчетно-графической работе для линейной электрической цепи постоянного тока определили следующие параметры:

Значения токов в ветвях линейной электрической цепи тремя методами:

а) Метод контурных токов:

$$I_1 = -0,5 A$$

$$I_2 = 0,587 A$$

$$I_3 = 0,912 A$$

$$I_4 = 1,087 A$$

$$I_5 = 0,175 A$$

$$I_6 = 4,675 A$$

б) Метод узловых потенциалов:

$$I_1 = -0,5 A$$

$$I_2 = 0,587 A$$

$$I_3 = 0,912 A$$

$$I_4 = 1,088 A$$

$$I_5 = 0,176 A$$

$$I_6 = 4,675 A$$

в) Метод эквивалентного генератора:

$$I_1 = -0,5 A$$

$$I_2 = 0,587 A$$

$$I_3 = 0,912 A$$

$$I_4 = 1,087 A$$

$$I_5 = 0,175 A$$

$$I_6 = 4,675 A$$

Лист	№ докум	Подпись	Дата	

ЭА15.3436.23 ПЗ

Лист

14

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Атабеков, Г. И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи: учеб. пособие / Г. И. Атабеков. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2009. – 592 с.
2. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи [Электронный ресурс] : учебник для бакалавров : для студентов вузов, обуч. по направлениям подготовки дипломированных специалистов "Электротехника, электромеханика и электротехнологии", "Электроэнергетика", "Приборостроение" : допущено М-вом образования РФ / Л. А. Бессонов. - 11-е изд., перераб. и доп. - М. : Юрайт, 2013. - 701 с. – Режим доступа: <http://biblio.bsau.ru/metodic/20907.pdf> (21.11.2023)
3. Евдокимов Ф.Е. Теоретические основы электротехники: учебник - М.: Высш. шк.: Академия, 2001.- 496 с. 4. Касаткин, А.С. Электротехника [Электронный ресурс]: учебник для студ. неэлектротехнических спец. вузов: рек. М-вом образования РФ / А. С. Касаткин, М. В. Немцов. - М.: Издательский центр "Академия", 2008. - 540 с. – Режим доступа: <http://biblio.bsau.ru/metodic/18254.djvu> (21.11.2023)

ЭА15.3436.23 ПЗ

Лист

15

№	Лист	№ докум	Подпись	Дата