# **1. АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЛИНЕЙНЫХ И НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

1.1. Расчет линейных электрических цепей постоянного тока

Для электрической цепи, изображенной на рисунке выполнить сле­дующее:

1. Составить на основании законов Кирхгофа систему уравнений для определения токов во всех ветвях схемы;

2. Определить токи во всех ветвях схемы, используя метод контур­ных токов;

3. Определить токи во всех ветвях схемы на основании метода нало­жения;

4. Составить баланс мощностей для заданной схемы;

5. Результаты расчета токов по пунктам 2 и 3 представить в виде таблицы и сравнить;

6. Построить потенциальную диаграмму для любого замкнутого кон­тура, включающего обе ЭДС.

Дано: Е1=20В; Е2=40В; R1=64 Ом; R2=48Ом; R3=32Ом; R4 =25Ом; R5=51Ом; R6=15Ом; r01=1Ом; r02=2Ом;

Определить: I1; I2; I3; I4; I5; I6

Решение:

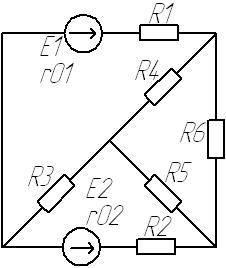


Рисунок 1.1.1 (схема 1.23) – Схема электрической цепи

**1.1.1. Составляем на основании законов Кирхгофа систему уравнений для определения токов во всех ветвях схемы**

Составим систему уравнений, применяя законы Кирхгофа для определения токов во всех ветвях. Метод узловых и контурных уравнений основан на применении первого и второго законов Кирхгофа. При расчёте данным методом произвольно задаём направление токов в ветвях I1; I2; I3; I4; I5; I6. Составим систему уравнений. В системе должно быть шесть уравнений (m = 6), т.к. число неизвестных токов также 6. По первому закону Кирхгофа составим (n—1) уравнений, где n-число узлов. В данной цепи четыре узла, значит, число уравнений: n–1=4–1=3 уравнения.

Составим три уравнения для любых 3-х узлов, например, для узлов В, С, Д.

Узел В: I4 + I5 = I3

Узел С: I1 + I6 = I4

Узел Д: I5 + I6 = I2

Три не­достающих уравнения составляем для линейно независимых контуров. Задаемся обходом каждого контура и составляем уравнения по вто­рому закону Кирхгофа.

# Контур А'СВА - обход по часовой стрелке

Е1 = I1(R1+ r01) + I4R4 + I3R3

Контур АВДА - обход против часовой стрелки

Е2 = I2(R2+ r02) + I5R5 + I3R3

Контур СВДС - обход против часовой стрелки

0= I4R4 – I5R5 + I6R6

Мы получили систему из шести уравнений с шестью неизвестными:

I3 = I4 + I5

I4 = I1 + I6

I2 = I5 + I6

E1 = I1(R1 + r01) + I4R4 + I3R3

E2 = I2(R2 + r02) + I5R5 + I3R3

0 = I4R4 – I5R5 + I6R6

Решив систему, определим величину и направление тока во всех вет­вях схемы.

**1.1.2. Определяем токи во всех ветвях схемы, используя метод контур­ных токов**

Определить токи во всех ветвях схемы, используя метод контур­ных токов. Он основан на использовании второго закона Кирхгофа, что позволяет уменьшить число уравнений в системе на n–1. В заданной цепи можно рассмотреть три контура – ячейки (АА'СВА; АВДА; ВДСВ) и ввести для них контурные токи Iк1; Iк2; Iк3. Контуры – ячейки имеют ветвь, не входящую в другие контуры — это внешние ветви. В этих ветвях контурные токи являются действительными токами ветвей.

Составляем уравнения и решаем их.

Е1 = Iк1(R1+ r01+R4+R3) + Iк3R4 + Iк2R3

Е2 = Iк2(R2+ r02+R5+R3) – Iк3R5 + Iк1R3

0 = Iк3(R6+ R4+R5) + Ik1R4 – Iк2R5

20 = Iк1122 + Iк2 32 + Iк3 25

40 = Iк1 32 + Iк2 133 – Iк3 51

0 = Iк1 25 – Iк2 51 + Iк3 91

Решим систему с помощью определителей. Вычислим определитель системы Δ и частные определители Δ1; Δ2; Δ3.

122 32 25

Δ = 32 133 -51 = 122×133×91+32×(-51)×25+25×32×(-51)–25×133×25–

25 -51 91 – (-51)×(-51)×122–91×32×32 = 901335

20 32 25

Δ1 = 40 133 -51 = 20×133×91+32×(-51) × 0 + 25×40×(-51)– 0×133×25–

0 -51 91 – (-51)×(-51)×20 – 91×40×32=22560

122 20 25

Δ2 = 32 40 -51 = 122×40×91+20×(-51)×25+25×32×0–25×40×25–0×(-51)×

25 0 91 ×122–91×32×20=325340

122 32 20

Δ3 = 32 133 40 = 122×133×0+32×40×25+20×32×(-51)–25×133×20–

25 -51 0 –(-51)×40×122 – 0×32×32=181740

Вычислим контурные токи:

Ik1 =A

Ik2 = A

Ik3 = A

### Действительные токи ветвей:

I1 = Iк1 = 0,025 А

I2 = Iк2 = 0,372 А

I3 = Iк1+ Iк2 = 0,025+ 0,372 = 0,397 А

I6 = Iк3= 0,2016 А

I4 = I1+ I6 = 0,025+ 0,2016 = 0,2216 А

I5 = I2 – I6 = 0,372 – 0,2016 = 0,1704 А

Составим баланс мощностей для заданной схемы:

E1I1 + E2I2 = I12(r01 + R1) + I22(r02 + R2) + I32R3 + I42R4 + I52R5 +I62R6

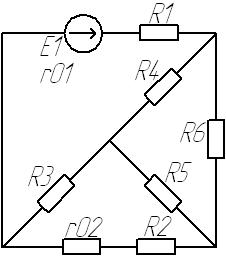
0,50059 + 14,881924 = 0,0006264×65 + 0,1384197×50 + 0,1576693×32 + 0,051347456×25 + 0,0290361×51 + 0,0406546×15;

15,382514 = 0,040716 + 6,920985 + 5,0454176 + 1,283689 + 1,4808411 + 0,609819

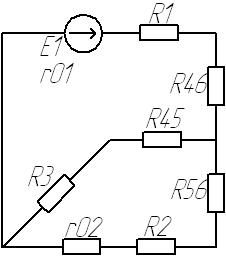
15,38= 15,38

**1.1.3. Определяем токи во всех ветвях схемы на основании метода нало­жения**

**Метод наложения** — метод расчёта электрических цепей, основанный на предположении, что электрический ток в каждой из ветвей электрической цепи при всех включённых генераторах равен сумме токов в этой же ветви, полученных при включении каждого из генераторов по очереди и отключении остальных генераторов (только в линейных цепях).Метод наложения используется как для расчёта цепей постоянного тока, так и для расчёта цепей переменного тока. По методу наложения ток в любом участке цепи рассматривается как алгебраическая сумма частных токов, созданных каждой ЭДС в отдельности.) Определим частные токи от ЭДС Е1, при отсутствии ЭДС Е2, то есть рассчитываем цепь по рисунку. Показываем направление частных токов от ЭДС E1 и обозначаем буквой I с одним штрихом ( I' ).



Решаем задачу методом ''свёртывания''. Преобразуем треугольник сопротивлений в эквивалентную звезду.



R46 = Ом

R45 = Oм

R56 = Ом



# Ток источника:

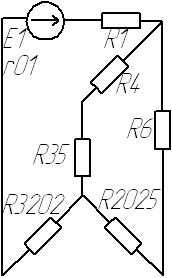
I1'=

Применяя форму разброса и 1-й закон Кирхгофа, вычисляем токи ветвей:

I2' = I1' 

I3' = I1'– I2' = 0,211 – 0,093 = 0,118 А

Для нахождения токов ветвей R4 ; R6 преобразуем треугольник сопротивлений R3 ; R5 ; (R2 + r02) в эквивалентную звезду.



Определяем эквивалентное сопротивление:

R35 = Ом

R2025=Ом

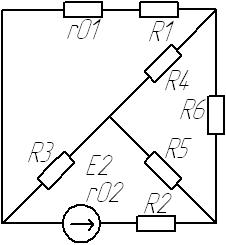
Применяя формулу разброса и первый закон Кирхгофа, определяем:

I4' = I1' А

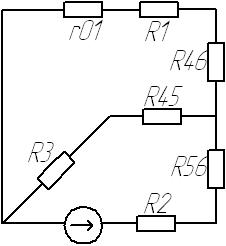
I6' = I1'– I4' = 0,211 – 0,1 = 0,111 А

I5' = I3'– I4' = 0,118 – 0,1 = 0,018 А

б) Определим частные токи от ЭДС Е2 при отсутствии ЭДС Е1, т. е. рассчитываем цепь по рисунку. Показываем направление частных токов от ЭДС Е2 и обозначим их ( I '').



Затем преобразуем эту схему в более простую. Заменяем треугольник сопротивлений R4 ; R5 ; R6 в эквивалентную звезду.



Общее сопротивление цепи:



Вычисляем ток источника:

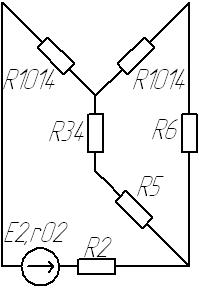
I2'' = А

Применяя форму разброса и первый закон Кирхгофа, вычисляем токи ветвей:

I1'' = I2'' А

I3'' = I2'' – I1'' = 0,465 – 0,186 = 0,279 А

Для нахождения токов в ветвях R5 ; R6 преобразуем треугольник сопротивлений в эквивалентную звезду.



Определяем эквивалентные сопротивления.

R1014 = Ом

R34 = Ом

Находим частные токи:

I5'' = I2'' А

I6'' = I2'' – I5'' = 0,465 – 0,153 = 0,312 А

I4'' = I6'' – I1'' = 0,312 – 0,186 = 0,126 А

Вычисляем токи ветвей исходной цепи, выполняя алгебраическое сложение частных токов, учитывая их направления.

I1 = I1' – I1'' = 0,211 – 0,186 =0,025 А

I2 = I2'' – I2' = 0,465–0,093 = 0,372 А

I3 = I3' + I3'' = 0,118 + 0,279 = 0,397 А

I4 = I4' + I4'' = 0,1 + 0,126 = 0,226 А

I5 = I5' + I5'' = 0,018 + 0,153 = 0,171 А

I6 = I6'' – I6' = 0,312– 0,111 = 0,201 А

**1.1.4.Составляем баланс мощностей для заданной схемы.**

Источники Е1 и Е2 вырабатывают электрическую энергию, т. к. на­правление ЭДС и тока в ветвях с источниками совпадают. Баланс мощно­стей для

заданной цепи будет выглядеть так:

E1I1 + E2I2 = I12(r01 + R1) + I22(r02 + R2) + I32R3 + I42R4 + I52R5 +I62R6

20×0.025 + 40×0.372 = 0.0252(64+1) + 0.3722(48+2) + 0.3972×32 + 0.2262×25 + 0.1712×51 + 0.2012×15 = 0.040625 + 6.9192 + 5.043488 + 1.2769 + 1.491291 + 0.606015

0,5 + 14,88 = 15,377519

15,38 = 15,38

**1.1.5. Результаты расчетов токов по пунктам 2 и 3 представляем в виде таблицы и сравниваем.**

Таблица 1.1.1 – Результаты расчета токов различными методами

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ток в ветви Метод расчёта | I1 А | I2  А | I3  А | I4  А | I5  А | I6  А |
| Метод контурных токов | 0,025 | 0,372 | 0,397 | 0,226 | 0,1704 | 0,2016 |
| Метод наложения | 0,025 | 0,372 | 0,397 | 0,226 | 0,171 | 0,201 |

Как видно из табл. значения токов, полученные различными методами, совпадают , что говорит о правильности расчета.

**1.1.6. Строим потенциальную диаграмму для любого замкнутого кон­тура, включающего обе ЭДС**

Возьмем контур ДАА'СД. Зададимся обходом контура по часовой стрелке. Заземлим одну из точек контура, пусть это будет точка Д. Потенциал этой точки равен нулю (φД=0). Зная величину и направление токов ветвей и ЭДС, а также величины сопротивлений, вычислим потенциалы всех точек контура при переходе от элемента к элементу. Начнём обход от точки Д.

φД' = φД + I2R2 = 0.372×48 = 17.856 B

φА = φД' – Е2 + I2r02 = 17.856 – 40 + 0.372×2 = – 21.4 B

φС' = φА + Е1 – I1r01 = – 21.4 + 20 – 0.025×1 = – 1.425 B

φС = φС' – I1R1 = – 1.425 – 0.025×64 = – 3.025 B

φД = φС + I6R6 = – 3.025 + 0.2016×15 = 0 B

Строим 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.

**Приложение 1.**