МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования –

«Оренбургский государственный университет» Кафедра теоретической и общей электротехники

# Н.И.ДОБРОЖАНОВА, В.Н.ТРУБНИКОВА

**Расчет электрических цепей постоян- ного тока методом эквивалентных преобразований**

ПРАКТИКУМ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКИМ ОСНОВАМ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования – «Оренбург- ский государственный университет»

Оренбург 2003

ББК 31.211я7

Д 56

УДК621.3.011.7(076.5)

Рецензент

кандидат технических наук, доцент Н.Ю.Ушакова

# Доброжанова Н.И., Трубникова В.Н.

|  |  |
| --- | --- |
| Д 56 | **Расчет электрических цепей постоянного тока методом эквивалентных преобразований: Практикум по теорети-**  **ческим основам электротехники. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003. - 26 с.** |

**Практикум предназначен для самостоятельной под- готовки студентов по разделу «Цепи постоянного тока». Содержит примеры расчета цепей методом эквивалент- ных преобразований, а также задачи для самостоятельно- го решения.**

ББК 31.211я7

|  |
| --- |
| © Доброжанова Н.И.,  Трубникова В.Н., 2003 |
| © ГОУ ОГУ, 2003 |

# Введение

Основными законами, определяющими электрическое состояние лю- бой электрической цепи, являются законы Кирхгофа.

На основе этих законов разработан ряд практических методов расчета цепей постоянного тока, позволяющих сократить вычисления при расчете сложных схем. Существенно упростить вычисления, а в некоторых случаях и снизить трудоемкость расчета, возможно с помощью эквивалентных преобразований схемы.

Преобразуют параллельные и последовательные соединения элемен- тов, соединение «звезда» в эквивалентный «треугольник» и наоборот. Осуществляют замену источника тока эквивалентным источником ЭДС. Методом эквивалентных преобразований теоретически можно рассчитать любую цепь, и при этом использовать простые вычислительные средства. Или же определить ток в какой-либо одной ветви, без расчета токов других участков цепи.

В данном практикуме по теоретическим основам электротехники рас- смотрены примеры расчета линейных электрических цепей постоянного тока с использованием эквивалентных преобразований типовых схем со- единения источников и потребителей энергии, приведены расчетные фор- мулы, а также задачи для самостоятельного решения.

Практикум предназначен для глубокой самостоятельной проработки и самоконтроля усвоения курса ТОЭ.

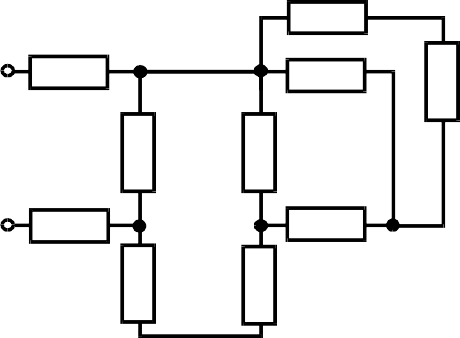
# 1 Расчет линейных электрических цепей постоянного тока методом эквивалентных преобразований

## 1.1 Примеры решения

**Задача 1.1.1** Для цепи (рисунок 1), определить эквивалентное сопро-

*R*9 тивление относительно входных за-

жимов *a*  *g* , если известно:



*R*1

*b*

*b*

*R R*

*R*

7

*R*2

3 6

*R*8

*f d c*

*R*4 *R*5

*a R R*1= *R*2 =0,5 Ом,

*R*3 =8 Ом,

*R*4 = *R*5 =1

10 Ом, *R*6 =12 Ом,

*R*7 =15 Ом,

*R*8 =2 Ом,

*R*9 =10 Ом, *R*10 =20 Ом.

*g*

# Решение:

Начнем преобразование схемы с ветви наиболее удаленной от источ-

Рисунок 1

ника, т.е. зажимов

*a*  *g* :

м;

|  |  |
| --- | --- |
| *R*11  *R*9  *R*10 =10+20=30 О | м; *R*  *R*11  *R*7  30 15  10 О  12 *R*11  *R*7 30  15 |
| *R*13  *R*8  *R*12 =2+10=12 Ом; | *R*  *R*6  *R*13  12 12  6 О  14 *R*6  *R*13 12  12 |
| *R*15  *R*14  *R*5  *R*4 =6+1+1= | 8 Ом; *R*  *R*3  *R*15  8  8  4 Ом;  16 *R*3  *R*15 8  8 |
| *Rэ*  *R*1  *R*16  *R*2 =0,5+4+0,5=5 Ом. | |

м;

**Задача 1.1.2** Для цепи (рисунок 2а), определить входное сопротив-

ление если известно:

*R*1= *R*2 = *R*3 = *R*4 =40 Ом

*R*1 *b R*2



*a*

*b*

*R*3

*R*4

*a*

*a a*



*R*1

*R*2

*R*3

*R*4

*b*

1. б)

Рисунок 2

# Решение:

Исходную схему можно перечертить относительно входных зажимов (рисунок 2б), из чего видно, что все сопротивления включены параллель- но. Так как величины сопротивлений равны, то для определения величины эквивалентного сопротивления можно воспользоваться формулой:

*R*  *R* ,

*э n*

где *R* – величина сопротивления, Ом;

*n* – количество параллельно соединенных сопротивлений.

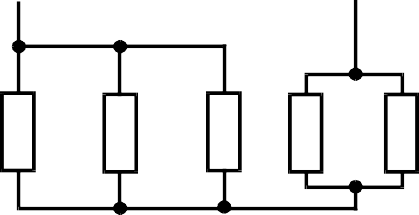
*R*  40  10

*э* 4

Ом.

**Задача 1.1.3** Найти эквивалентное сопротивление цепи (рисунок 3а), которая образована делением нихромовой проволоки сопротивлением 0,3 Ом на пять равных частей и припайкой в полученных точках медных перемычек 1-3, 2-4, 4-6. Сопротивлениями перемычек и переходных кон- тактов пренебречь.

*а b а b*



*R*2

*R*3 *R*4

*R*5

*R*1



*R*1

*R*2

*R*3

*R*4

*R*5

1

2

3

4

5

6

а)

# Решение:

б)

Рисунок 3

При сопротивлении проволоки 0,3 Ом и при условии равенства всех пяти частей, сопротивление каждого отдельного участка проволоки равно:

*R*  0*,*3  0*,*06

5

Ом.

Обозначим каждый участок проволоки и изобразим исходную цепь эквивалентной схемой замещения (рисунок 3б).

Из рисунка видно, что схема представляет собой последовательное соединение двух параллельно соединенных групп сопротивлений. Тогда величина эквивалентного сопротивления определится:

*R*  *R*  *R*  0*,*06  0*,*06  0*,*3  0*,*05

Ом.

*э* 3 2 3 2 6

**Задача 1.1.4** Определить эквивалентное сопротивление относитель-

но зажимов

*a*  *b* , если

*R*1= *R*2 = *R*3 = *R*4 = *R*5 = *R*6 =10 Ом (рисунок 4а).

Преобразуем соединение «треугольник»

*f*  *d*  *c*

в эквивалентную

«звезду», определяем величины преобразованных сопротивлений (рису нок 4б):

*R f* 

*R*2  *R*5

*R*2  *R*5  *R*4

 10 10 10  10  10

 100 =3,33 Ом.

30

По условию задачи величины всех сопротивлений равны, а значит:

*R f*  *Rd*  *Rc* =3,33 Ом.

*R*1 *f R*5



*R*1 *Rf*

*e*

*Rc*

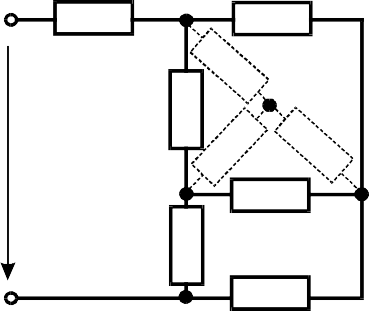
*Rd*

*U*

*R*3

*R*6

1. *a*



*R*2

*e*

*U*

*c R*3

*R*4

a)

*R*6

*d*



1. *b*

б)

Рисунок 4

На преобразованной схеме получили параллельное соединение вет-

вей между узлами *e*  *b* , тогда эквивалентное сопротивление равно:

*Reb*

 *Rc*  *R*3  *Rd*

*Rc*  *R*3   *Rd*

 *R*6  

 *R*6 

3*,*33  10 3*,*33  10 =6,67 Ом.

3*,*33  10  3*,*33  10

И тогда эквивалентное сопротивление исходной схемы представляет последовательное соединение сопротивлений:

*Rab*

 *R*1  *R f*

 *Reb* =10+3,33+6,67=20 Ом.

На примере данной схемы рассмотрим преобразование «звезда»-

«треугольник». Соединение «звезда» с сопротивлениями

*R*2 ,

*R*3 ,

*R*4 пре-

образуем в эквивалентный «треугольник» с сопротивлениями

*R fb* ,

*R fd* и

*Rbd*

(рисунок 5а):

*R fb*

 *R*2

* *R*3

 *R*2  *R*3

*R*4

 10  10  10 10 =30 Ом;

10

*R fd*

 *R*2

* *R*4

 *R*2  *R*4

*R*3

 10  10  10 10 =30 Ом;

10

*Rbd*

 *R*3

* *R*4

 *R*3  *R*4

*R*2

 10  10  10 10 =30 Ом.

10

Затем преобразуем параллельные соединения ветвей с сопротивле-

ниями

*R*5  *R fd*

и *R*6  *Rbd*

(рисунок 5б):

*R fd '* 

*R*5  *R fd*

*R*5  *R fd*

 10  30 10  30

 30

4

Ом;

*Rbd '* 

*R*6  *Rbd R*6  *Rbd*

 10  30 10  30

 30

4

Ом.

*R*1 *f R*5 *R*1 *f*

*a a*



*,*



*R Rfd*

*U Rfb*

*b*

a)

*fd*

*Rbd*

*R*6

*d U Rfb ,*

*bd*

*R*

*b*

б)

Рисунок 5

Величина сопротивления *R fb'*

определяется преобразованием парал-

лельного соединения

*R fb*

и *R fd '* *Rbd '* :

*R fb*  *R fd '* *Rbd '* 

30  30 4  30 4

450

*R fb'* 

*R*

*fb*

* *R*

*fd '* *Rbd*

*'*   30  30

4  30

4 

=10 Ом.

45

Тогда эквивалентное сопротивление представляет собой сумму со-

противлений

*R*1 и

*R fb'* :

*R*экв

 *R*1  *R fb'* =10+10=20 Ом.

**Задача 1.1.5** В заданной цепи (рисунок 6а) определить входные со-

противления ветвей

*a*  *b,*

*c*  *d* и

*f*  *b* , если известно, что:

*R*1=4 Ом,

*R*2 =8 Ом,

*R*3 =4 Ом,

*R*4 =8 Ом,

*R*5 =2 Ом,

*R*6 =8 Ом,

*R*7 =6 Ом,

*R*8 =8 Ом.

# Решение:

Для определения входного сопротивления ветвей исключают из схе-

мы все источники ЭДС. При этом точки *c* и *d* , а также *b* и *f* соединяют-

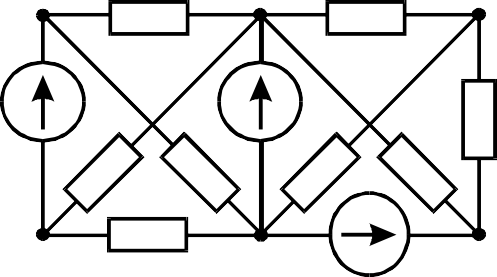
ся накоротко, т.е. внутренние сопротивления источников напряжения рав- ны нулю.

*c*

*Ecd*

*d*

*R*1 *а*

*R*3 *Eab R*4

*R*2 *b*

а)

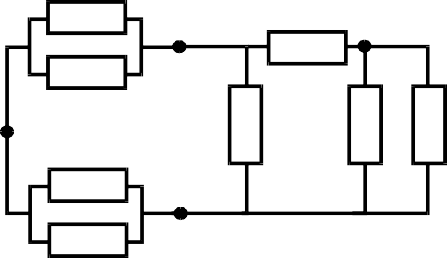
*R*5

*R*7 *R*8

*Efb*

*e*

*R*6 *c*=*d R*6



*R*1

*а*

*R*

5

*e*

*R*3 *R*4

*R*7

*R*8

*b*=*f*

*f*

*R*

2

б)

Ветвь

*a*  *b*

Рисунок 6

разрывают, и т.к. сопротивление

*Ra**b*

 0 , то входное

сопротивление ветви равно эквивалентному сопротивлению схемы относи-

тельно точек *a* и *b* (рисунок 6б):

*R'ab* 

*R*1  *R*3 *R*1  *R*3

 *R*2  *R*4 *R*2  *R*4

 4  4

4  4

 8  8

8  8

=6 Ом;

 *R*6  *R*8 

 8  8 

 *R*5  *R*  *R*   *R*7

 2    6

8  8

*R''ab*   6 8     =3 Ом;

*R*5 

*R*6  *R*8 *R*6  *R*8

* *R*7

2  8  8  6

8  8

*Rab*

 *R'ab* *R''ab*

*R'ab* *R''ab*

 6  3 =2 Ом.

6  3

Аналогично определяются входные сопротивления ветвей

*Rcd*

и *Rbf* .

Причем, при вычислении сопротивлений учтено, что соединение накорот-

ко точек *a* и *b* исключает из схемы сопротивления *R*1, *R*2 , *R*3 , *R*4 в пер-

вом случае, и

*R*5 ,

*R*6 ,

*R*7 ,

*R*8 во втором случае.

*Rcd*

 *R*1  *R*4 *R*1  *R*4

 *R*2  *R*3 *R*2  *R*3

 4  8

4  8

 8  4

8  4

 16 Ом

3

 *R*5  *R*8 

 2  8 

 *R*6  *R*  *R*   *R*7

8    6

2  8 48

*Rbf*

  5 8     

Ом.

*R*6 

*R*5  *R*8 *R*5  *R*8

* *R*7

8  2  8  6 13

2  8

**Задача 1.1.6** Двенадцать отрезков провода одинаковой длины, со- противления каждого отрезка равно 1 Ом, спаяны таким образом, что они занимают положения ребер куба (рисунок 7а). К двум вершинам, лежащим

на одной диагонали куба припаяны еще два таких же отрезка. Определить эквивалентное сопротивление между свободными концами двух последних отрезков.

# Решение:

Звезду с лучами 8-5, 8-7, 8-4 преобразуем в эквивалентный треуголь- ник, сопротивление сторон которого определится (рисунок 7б):

*R*57 *R*54 *R*47

6

5

 *R*85

 *R*85

 *R*84

8

 *R*87

 *R*84

 *R*87

7

 *R*85  *R*87

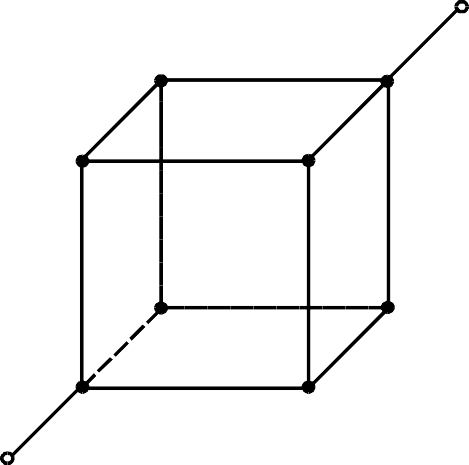
*R*84

 *R*85  *R*84

*R*87

 *R*84  *R*87

*R*85

*b*



6

7

5

2

3

1

4

б)

 1  1  11 =3 Ом; 1

 1  1  11 =3 Ом; 1

 1  1  11 =3 Ом.

1

*b*

2 3

1

4

*а* а)

*а*

Рисунок 7

Треугольники 1-5-4; 5-6-7, 4-3-7 преобразуем в эквивалентные звез- ды, сопротивления лучей которых будут следующие (рисунок 8а):

|  |  |
| --- | --- |
| 1-5-4 | *R*  *R*15  *R*14  11  1 О  19 *R*15  *R*14  *R*54 1  1  3 5  *R*  *R*14  *R*54  1 3  3 О  49 *R*14  *R*54  *R*15 1  3  1 5  *R*  *R*15  *R*54  1 3  1 О  59 *R*15  *R*54  *R*14 1  3  1 5 |
| 5-6-7 | *R*  *R*56  *R*57  1 3  3 О  510 *R*56  *R*57  *R*67 1  3  1 5 |

м;

м;

м;

м;

м;

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | *R* |  | *R*56  *R*67 |  | 11 |  1 |
| *R* |  | *R*67  *R*57 |  | 1 3 |  3 |
| 4-3-7 | *R* |  | *R*47  *R*43 |  3 1 | |  3 |
|  | 411 |  | *R*47  *R*43  *R*37 | 3  1  1 | | 5 |
|  | *R* |  | *R*43  *R*37 |  | 11 |  1 |
|  | 311 |  | *R*43  *R*37  *R*47 | 1  1  3 | | 5 |
|  | *R* |  | *R*37  *R*47 |  | 1 3 |  3 |
|  | 711 |  | *R*37  *R*47  *R*43 | 1  3  1 | | 5 |

м;

м;

м;

м.

В схеме (рисунок 8а) последовательно соединенные участки 5-9 и 5-10; 4-9 и 4-11; 2-6 и 6-10; 2-3 и 3-11 заменим эквивалентными сопротив- лениями соответственно (рисунок 8б):

м;

|  |  |
| --- | --- |
| *R*  *R*  *R*  3  3  6 Ом  910 59 510 5 5 5 | ; *R*  *R*  *R*  3  3  6 О  911 49 411 5 5 5 |
| *R*  *R*  *R*  1  1  6 Ом  210 26 610 5 5 | ; *R*  *R*  *R*  1  1  6 О  211 23 311 5 5 |

м.

Тогда в полученной схеме (рисунок 8б), звезду с лучами 9-1, 9-10, и 9-11 преобразуем в эквивалентный треугольник с сопротивлениями сторон (рисунок 9а):

1 5  6 5

6 5

*R'*  *R*  *R*

 *R*19  *R*910

 1  6 



 8 Ом;

110

1 5  6 5

6 5

19

910

*R*911 5 5 5

*R'*  *R*  *R*

 *R*19  *R*911

 1  6 



 8 Ом;

111

19

911

*R*910 5 5 5

*R'*  *R*

 *R*  *R*910  *R*911

 6  6 



 48

Ом.

1011

910

911

*R*19 5 5 5

Далее звезду с лучами 1-2, 2-10, 2-11 преобразуем в эквивалентное соединение треугольником с сопротивлениями сторон (рисунок 9б):

6 5  6 5

1 5

*R"*110

*R"*

 *R*12

 *R*

 *R*210

* *R*

 *R*12  *R*210

*R*211

 *R*12  *R*211

 1  6 

5

 1  6 

 16

5

1 6 5

6 5

 16

1 6 5

6 5

Ом;

Ом;

111

12

211

*R*210 5 5

*R"*  *R*

 *R*  *R*210  *R*211

 6  6  6 5  6 5  96

Ом.

1011

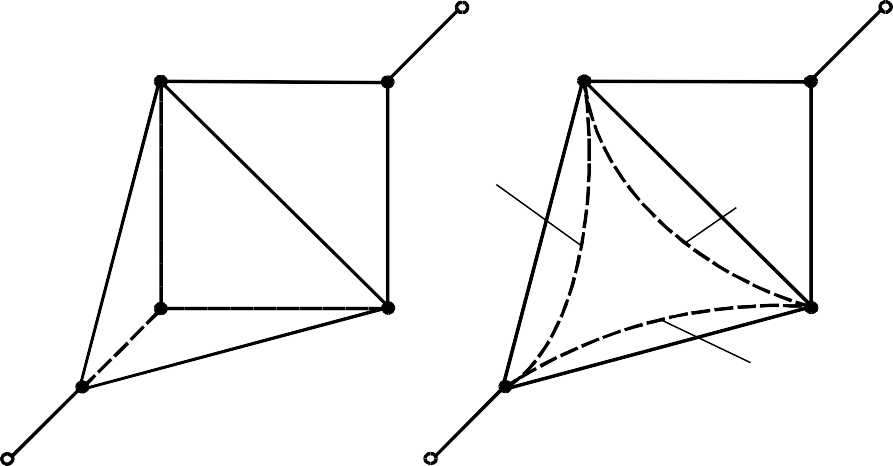
210

211

*R*12

5 5 1 25

*а*



*b*

*b*

10

7

10

7

*R’*1*’*-10

*R*1*’*-10

*R*1*’*0-11

*R*1*’’*0-11

2

11

11

1 1

*R’*

1-11

*R’*1*’*-11

а)

*а*

б)

Рисунок 8

В схеме (рисунок 9б) параллельные участки заменяются эквивалент- ными (рисунок 10а), сопротивления которых:

*R*110

*R*111

 *R'*110 *R''*110 

*R'*110 *R''*110

 *R'*111*R' '*111 

*R'*111 *R''*111

 16

15

8 5 16 5

8 5  16 5

 16

8 5 16 5

8 5  16 5

15

Ом;

Ом;

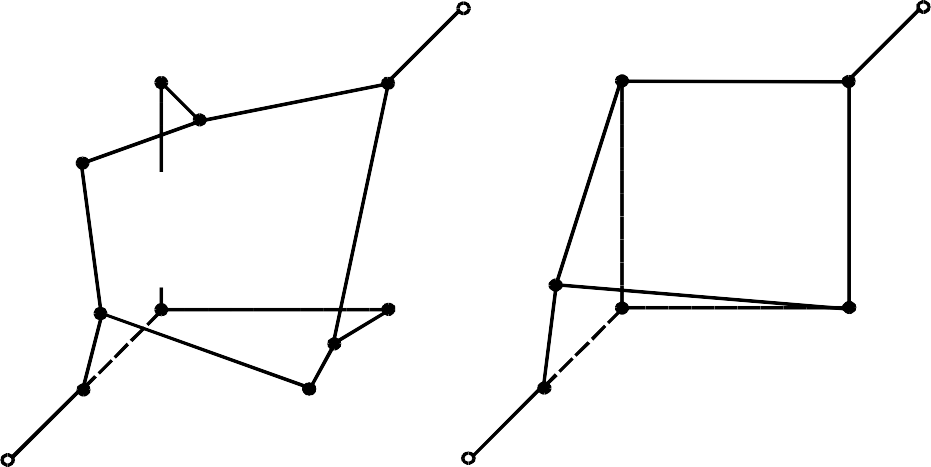
*R*1011 

6

*R'*1011*R' '*1011 

*R'*1011 *R''*1011

*b*



7

 96

35

48 5  96 25

48 5  96 25

10

Ом.

*b*

7

5 10

9 2 3 9 11

2

1 11 1

4

*а* а)

*а* б)

Рисунок 9

В схеме (рисунок 10а), треугольник 1-10-11 преобразуем в эквива- лентную звезду с лучами 12-1, 12-10, 12-11 (рисунок 10б):

*R*121 

*R*110  *R*111 *R*110  *R*111  *R*1011

 16 15 16 15  7

16 15  16 15  96 35 30

Ом;

*R*1210 *R*1211

 *R*110  *R*1011 

*R*110  *R*1011  *R*111

 *R*111  *R*1011 

*R*111  *R*1011  *R*110

 3 Ом;

5

16 15  96 35

16 15  96 35  16 15

 3 Ом.

16 15  96 35

16 15  96 35  16 15

5

10 10

*а* 1 7 *b а*



1

12

7

*b*



11 11

а) б)

Рисунок 10

Затем, преобразуя параллельное соединение участков между узлами 12 и 7, схема рисунка 10б примет вид последовательного соединения уча- стков *a* -1, 1-12, 12-7 и 7- *b* :

*R*  *R*1210  *R*107  *R*1211  *R*117  

3 5  3 5 3 5  3 5  3

Ом.

127

*R*1210  *R*107  *R*1211  *R*117 

3 5  3 5 3 5  3 5 5

*R*  *R*  *R*  *R*

 *R*  1  7

 3  1  17

Ом.

*вх a*1

121

127

7*b*

30 5 6

**Задача 1.1.7** Используя метод преобразований определить парамет-

ры эквивалентной схемы (рисунок 11а), если

*R*1= *R*2 =10 Ом.

# Решение:

*E*1=40 В,

*E*2 =10 В,

*J* =2 А,

Заменим параллельно соединенные ветви с источником тока *J* и со-

противлением

нок 11б):

*R*2 эквивалентной ветвью с источником ЭДС

*E*3 (рису-

*E*3  *J*  *R*2

 2 10 =20 В.

Затем преобразуем две параллельные активные ветви (рисунок 11в):

*R*3 

*R*1  *R*2 *R*1  *R*2

 10 10 10  10

=5 Ом;

*E '*  *E*1  *R*2  *E*3  *R*1 3 *R*1  *R*2

 40 10  20 10

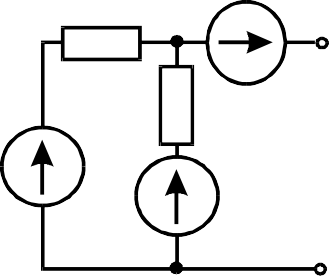
10  10

=30 В;

*R*экв = *R*3 =5 Ом;

*E*экв = *E*3*'* + *E*2 =30+10=40 В.

1



*R*1

*E*1

*R*

3

*E*2

*E*3

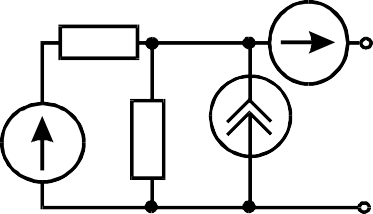


*R*3

*E*2

*E* ,

3



*R*1

*E*1

*R*2

*E*2

*J*

1 1

2 2 2

а) б) в)

Рисунок 11

Решим задачу иначе. Воспользуемся формулой преобразования па- раллельных ветвей:

*E* 

*E*1 *R*1  *J*

1 *R*1  1 *R*2

*R*3 

*R*1  *R*2 *R*1  *R*2



 10 10 10  10

40 10  2

1 10  1 10

=30 В;

=5 Ом;

*E*экв = *E* + *E*2 =30+10=40 В.

**Задача 1.1.8** В цепи (рисунок 12) определить токи

*I*1 *, I* 2 *,*

*I*3 методом

*R*1 *a*



*U*

*I*1

*Uab*

*I*2

*R*2 *I*3

эквивалентных преобразований и соста- вить баланс мощностей, если известно:

*R*1=12 Ом, *R*2 =20 Ом, *R*3 =30 Ом,

*R*3 *U* =120 В.

**Решение:** Эквивалентное сопро- тивление для параллельно включенных

*b* сопротивлений:

Рисунок 12

*R*23 

*R*2  *R*3 *R*2  *R*3

 20  30

20  30

 12 Ом.

Эквивалентное сопротивление всей цепи:

*Rэ*  *R*1  *R*23 =12+12=24 Ом.

Ток в неразветвленной части схемы:

*I*1  *U*

*Rэ*  120

24 =5 А.

Напряжение на параллельных сопротивлениях:

*U ab*

 *R*23  *I*1  12  5 =60 В.

Токи в параллельных ветвях:

*I* 2  *U ab*

*R*2  60

20 =3 А;

Баланс мощностей:

*I*3  *U ab*

*R*3  60 30 =2 А.

*Pист*

 *I*1 *U*

 5 120 =600 Вт;

*Pпотр*

 *I* 2  *R*

* + *I* 2  *R*
  + *I* 2  *R*

 52 12  32  20  22  30 =600 Вт.

**Задача 1.1.9** В цепи (рисунок 13а), определить показания ампермет-

1

1

2

2

3

3

ра, если известно:

*R*1=2 Ом,

*R*2 =20 Ом,

*R*3 =30 Ом,

*R*4 =40 Ом;

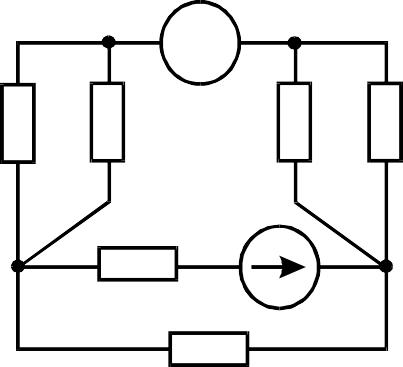
*R*5 =10 Ом,

*R*6 =20 Ом,

нулю.

*E* =48 В. Сопротивление амперметра можно считать равным

*R R*5



*А*

2

*R*3

*R*4

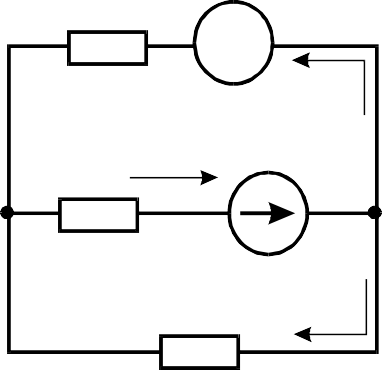
*a*

*R*1

*Е*

*R*6

*b*



*А*

*Rэ*

*R*

1

*I*1

*IА*

*Е*

*R*6

*I*6

*a b*

# Решение:

a) б)

Рисунок 13

Если сопротивления

*R*2 ,

*R*3 ,

*R*4 ,

*R*5 заменить одним эквивалентным

*Rэ* , то исходную схему можно представить в упрощенном виде (рису-

нок 13б).

Величина эквивалентного сопротивления:

*Rэ* 

*R*2  *R*3 *R*2  *R*3

 *R*4  *R*5 *R*4  *R*5

 20  30 

20  30

40 10

40  10

=20 Ом

Преобразовав параллельное соединение сопротивлений

*Rэ* и *R*6

схемы (рисунок 13б), получим замкнутый контур, для которого по второму закону Кирхгофа можно записать уравнение:

 *Rэ*  *R*6 

*I*1   *R*1  *R*  *R*   *E* ,

откуда ток

*I*1:

 *э* 6 

*I*  *E* 48

=4 А.

1 *Rэ*  *R*6 2  20  20

*R*

*R*1 

*э*

* *R*6

20  20

Напряжение на зажимах параллельных ветвей *U ab*

выразим из урав-

нения по закону Ома для пассивной ветви, полученной преобразованием

*Rэ* и

*R*6 :

*U ab*

 *I*1 

*Rэ*  *R*6 .

*Rэ*  *R*6

Тогда амперметр покажет ток:

*I A*  *I*1 

*R*6

*Rэ*  *R*6

 4 

20

20  20

=2 А.

**Задача 1.1.10** Методом эквивалентных преобразований определить

все токи в схеме (рисунок 14а), если

*R*1= *R*2 = *R*3 = *R*4 =10 Ом.

# Решение:

*E*1=60 В,

*E*2 =120 В,

*E*5 =10 В,

Сначала преобразуем исходную схему до одного контура, и опреде-

лим ток

*I*5 в неразветвленной части. Для этого определим величины экви-

валентных сопротивлений и эквивалентных ЭДС (рисунок 14б):

*R*6 

*R*3  *R*1 *R*3  *R*1

 10 10 10  10

=5 Ом;

*E*6 

*E*1  *R*3 *R*1  *R*3

 60 10 =30 В; 10  10

*R*7 

*R*2  *R*4 *R*2  *R*4

 10 10 10  10

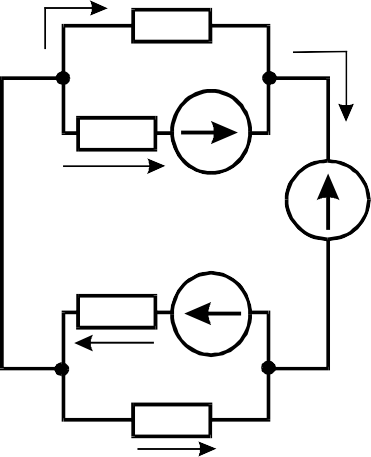
=5 Ом;

*E*7 

*E*2  *R*4 *R*2  *R*4

 120 10 =60 В.

10  10

*I*3 *R*3

1 *R*1

*I*1 *R*2

3 *I*2 *R*

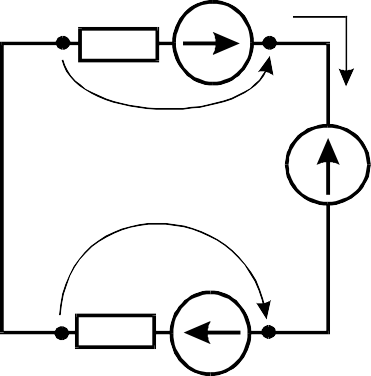
2

4

*I*4

*I*5

*E*1 2



*R*6

*E*6 *I*5

1 2

*U*1-2 *U*3-4

3

*R*

7

*E*7

4

*E*2

4

ра:

а) б)

Рисунок 14

Составим уравнения по второму закону Кирхгофа для данного конту-

*I*5 *R*6  *R*7   *E*6  *E*7  *E*5 ,

тогда

*I*  *E*6  *E*7  *E*5 5 *R*6  *R*7

 30  60 10 =8 А.

5  5

Определим напряжения на зажимах параллельных ветвей 1-2 и 3-4

по закону Ома:

*I*  *U*12  *E*6 5 *R*6

 *U*12

 *I*5 *R*6

* *E*6

 8  5  30 =10 В

*I*  *U* 34  *E*7 5 *R*7

 *U* 34

 *E*7

* *I*5 *R*7

 60  8  5 =20 В

Определим токи ветвей:

*I*  *U*12  *E*1 1 *R*1

 10  60 =7 А;

10

*I*   *U* 34  *E*2 2 *R*2

  20  120 =10 А;

10

*I*  *U*12

1. *R*3

*I*  *U* 34

1. *R*4

 10 =1 А;

10

 20 =2 А.

10

**Задачи 1.1.11** Определить токи ветвей схемы (рисунок 15а), если

*R*1= *R*2 = *R*3 = *R*4 =3 Ом,

# Решение:

*J* =5 А,

*R*5 =5 Ом.

Преобразуем «треугольник» сопротивлений

*R*1,

*R*2 ,

*R*3 в эквива-

лентную «звезду»

*R*6 ,

*R*7 ,

*R*8 (рисунок 15б) и определим величины полу-

ченных сопротивлений:

*R*6 

*R*7 

*R*8 

*R*1  *R*2

*R*1  *R*2  *R*3

*R*1  *R*3

*R*1  *R*2  *R*3

*R*2  *R*3

*R*1  *R*2  *R*3

 3  3

3  3  3

 3  3

3  3  3

 3  3

3  3  3

=1 Ом;

=1 Ом;

=1 Ом.

Преобразуем параллельное соединение ветвей между узлами 4 и 5.

*R*9 

*R*4  *R*7  *R*5  *R*8 

*R*4  *R*7   *R*5  *R*8 

 1  3 1  5=2,4 Ом.

1  3  1  5

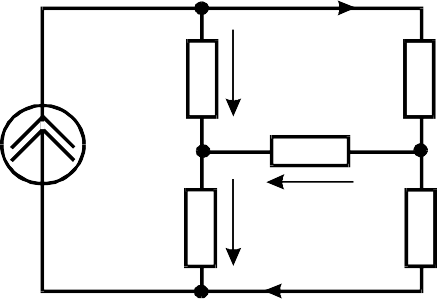
Ток в контуре, полученном в результате преобразований, считаем равным току источника тока *J* , и тогда напряжение:

*U* 54

 *J*  *R*9

 5  2*,*4 =12 В.

1 *I*2



*J*

*R*1

2

*I*1

*R*

*R*2

3

3

*R*

4

*I*4

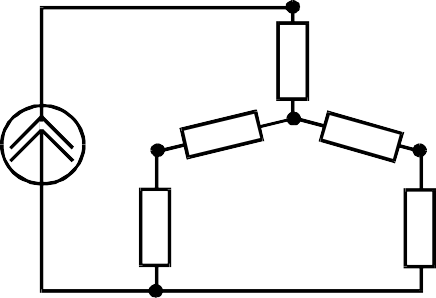
*I*3

5

*R*

*I*

5

1

*R*6

*J R*7 *R*8

2 5 3

*R R*

4 5

4 4

а) б)

Рисунок 15

И теперь можно определить токи

*I* 4 и

*I*5 :

*I* 4 

*U* 54

*R*7  *R*4

 12

1  3

=3 А;

*I*5 

*U* 54

*R*8  *R*5

 12

1  5

=2 А;

Возвращаясь к исходной схеме, определим напряжение нения по второму закону Кирхгофа:

*U* 32 из урав-

*U* 32  *I* 4 *R*4  *I*5 *R*5  0

 *U* 32

 *I*5 *R*5  *I* 4 *R*4

 2  5  3  3 =1 В.

Тогда ток в ветви с сопротивлением

*R*3 определится:

*I*  *U* 32

3 *R*3

 1 =0,33 А.

3

Величины оставшихся неизвестными токов можно определить из уравнений по первому закону Кирхгофа для узлов 3 и 1:

*I* 2  *I* 3  *I* 5  0 

*J*  *I*1  *I* 2  0 

*I* 2  *I* 3  *I* 5 =0,33+2=2,33 А;

*I*1  *J*  *I* 2 =5-2,33=2,67 А.

**Задача 1.1.12** Методом эквивалентных преобразований найти ток *I* 0

(рисунок 16а), если Ом.

*E*0 =40 В,

*E*1= *E*2 = *E*3 =10 В,

*R*1= *R*2 = *R*3 =4 Ом,

*R*4 =10

**Решение:** Для преобразования активной «звезды» введем дополни-

тельные узлы 1’, 2’ и 3’. Образовавшуюся пассивную «звезду» преобразу- ем в пассивный «треугольник» (рисунок 16б), сопротивления которого равны:

*R*12

 *R*1

* *R*2

 *R*1  *R*2

*R*3

 4  4  4  4 =12 Ом;

4

*R*23

 *R*2

* *R*3

1

 *R*2  *R*3 =12 Ом;

*R*1

*R*13

 *R*1

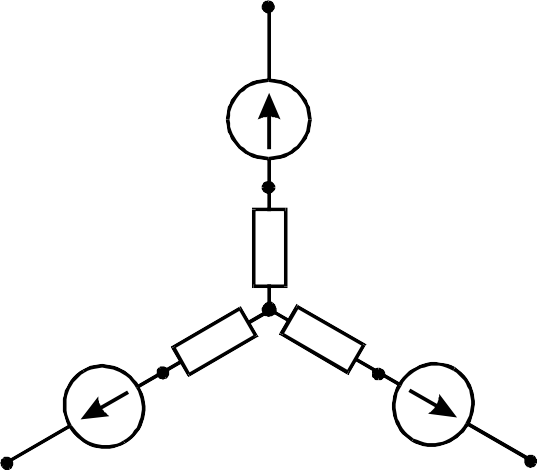
* *R*3

 *R*1  *R*3 =12 Ом.

*R*2

1

*I*0



*I*0 *E*0

*R*6

*E*1

1’

*R*4

*R*13 *R*12

3’

*E*3

*R*23

*R*5

2’

*E*2

3

*E*0

*E*1

*R*

6 1’ *R*4

*R*1

3’ *R*3 *R*2 2’

*E*3 *R*5 *E*2

3 2 2

1. б)

Рисунок 16

Перенесем источники ЭДС через дополнительные узлы (рису-

нок 17а) и определим параметры эквивалентных источников ЭДС.

1 1



*I*0 *E*0

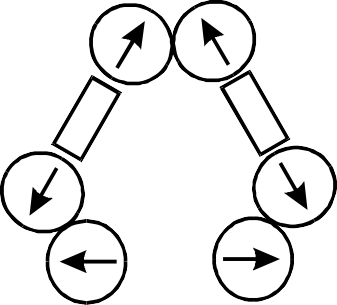
*R*7

*R*8

*R*9

3

2



*I*0 *E*0

*R*6

*E*1

1’

*E*1

*R*4

*R*13 *E*3

*R*

3’

*R*12

*E*2

23

*E*2

2’

3

*E*3

*R*5

а) б)

Рисунок 17

Очевидно, что при одинаковых значениях ЭДС и их разнонаправ- ленности, величины эквивалентных источников ЭДС равны нулю. Полу- ченный пассивный «треугольник» преобразуем с «треугольником»

*R*4  *R*5  *R*6

(рисунок 17б):

*R*7 

*R*6  *R*13 *R*6  *R*13

 12 12 12  12

=6 Ом;

*R*8 

*R*4  *R*12 *R*4  *R*12

=6 Ом;

*R*9 

*R*5  *R*23 *R*5  *R*23

=6 Ом.

Заменяем соединение полученных сопротивлений одним эквива- лентным:

*R*эк

 *R*7  *R*8  *R*9 

*R*7  *R*8  *R*9 

 6  6  6 =4 Ом.

6  6  6

Для образовавшегося контура запишем уравнение по второму закону

Кирхгофа, из которого выразим ток

*I* 0 :

*I* 0  *R*эк

 *E*0

 *I* 0

 *E*0

*R*эк

 40

4 =10 А.

**Задача 1.1.13** Используя метод эквивалентных преобразований схе-

мы (рисунок 18а) определить ток

*I* 0 , если

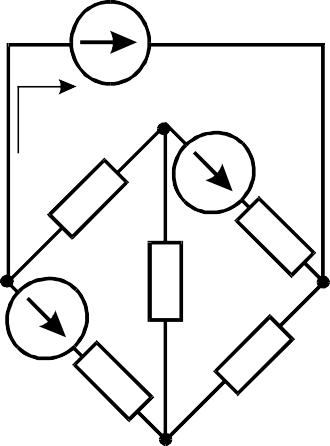
*E*0 =50 В,

*E*1=30 В,

*E*2 =10 В,

*R*2 = *R*4 =5 Ом, *R*1= *R*3 = *R*5 =15 Ом.

2 2



*E*0

*I*0 3

*R*4

*E*1

1

*R*3

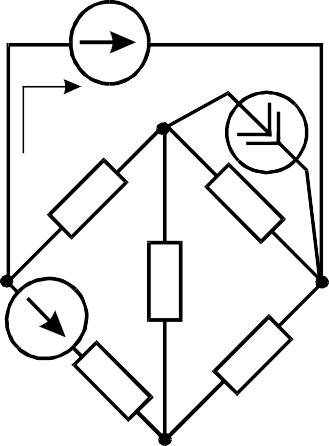
*R*1

*E*2

*R*2

*R*

5



*E*0

*I*0 3

*J*

1

*R*4

1

*R*3

*R*1

*E*2

*R*2

*R*

5

4 4

* 1. б)

Рисунок 18

# Решение:

В активной ветви «треугольника» сопротивлений

*R*1- *R*3 - *R*5

преобра-

зуем источник ЭДС в эквивалентный источник тока (рисунок 18б):

*J*  *E*1

1 *R*1

 30 =2 А.

15

Полученный пассивный «треугольник» сопротивлений преобразуем в «звезду». Величины полученных сопротивлений, в силу равенства вели- чин исходных сопротивлений, будут равны:

*R*6 = *R*7 = *R*8 =

15 15

15  15  15

=5 Ом.

Затем ветвь с источником тока между узлами 2 и 3 заменяем двумя,

включенными параллельно с сопротивлениями источники ЭДС (рисунок 19а):

*R*6 и

*R*8 , и преобразуем в

*E*6  *R*6  *J*1  5  2 =10 В;

*E*8  *R*8  *J*1  5  2 =10 В.

Преобразуем параллельные ветви между узлами 1 и 5 (рисунок 19б):

*R*эк

 *R*4  *R*6  *R*2  *R*7 

*R*4  *R*6   *R*2  *R*7 

 5  5 5  5 =5 Ом;

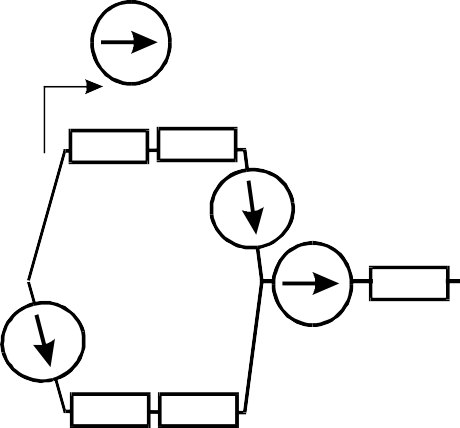
5  5  5  5

*E*  *E*2  *R*4  *R*6   *E*6  *R*2  *R*7   10  5  5  10  5  5 =10 В.

эк *R*4  *R*6  *R*2  *R*7

5  5  5  5

2 1 2



*E*0

*I*0

*R*4 *R*6

*E*6

1

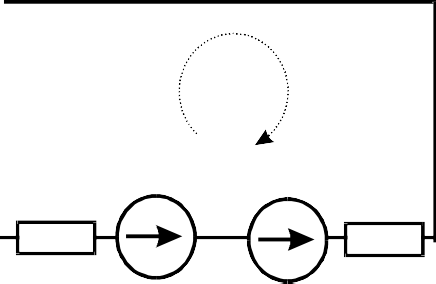
*E*2

5

*R*2

*R*7

*E*8 *R*8



*E*0

*I*0

*R*

эк

*E*эк

*E*8

*R*

8

1. б)

Рисунок 19

Для полученного контура запишем уравнение по второму закону Кирхгофа:

откуда выразим ток

*I* 0 :

*I* 0  *R*эк  *R*8   *E*0  *E*8  *E*эк

*I*  *E*0  *E*8  *E*эк  50 10 10 =3 А.

0 *R*эк  *R*8 10

## 