

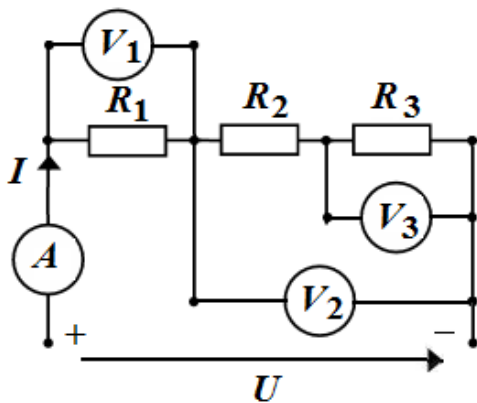
## Анализ электрического состояния цепи постоянного тока с одним источником питания

### Цель:

Изучить методику расчёта цепей постоянного тока с одним источником питания. Получить навыки определения входного сопротивления цепи, схемы. Освоить методы расчёта токов и напряжений цепи, используя законы Ома и Кирхгофа.

### Типовые задачи

#### Задача 1.



Параметры делителя напряжения:  $U = 15$  В,  
 $R_1 = R_2 = 1$  кОм,  $R_3 = 3$  кОм.

Определить: показания приборов, мощность источника питания.

### Решение

1. Определяем входное сопротивление цепи относительно зажимов источника –  $R_{\text{ВХ}}$ :

$$R_{\text{ВХ}} = R_1 + R_2 + R_3 = 1 + 1 + 3 = 5 \text{ кОм.}$$

2. Определяем ток в цепи - показание амперметра  $I_A$  и показания вольтметров  $U_{V1}$ ,  $U_{V2}$  и  $U_{V3}$ :

$$I_A = U / R_{\text{ВХ}} = 15 / 5000 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ А} = 3 \text{ мА.}$$

$$U_{V1} = I_A \cdot R_1 = 3 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 10^3 = 3 \text{ В.}$$

$$U_{V2} = I_A (R_2 + R_3) = 3 \cdot 10^{-3} (1 + 3) \cdot 10^3 = 12 \text{ В.}$$

$$U_{V3} = I_A R_3 = 3 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^3 = 9 \text{ В.}$$

2. Определяем мощность источника:  $P = U \cdot I_A = I_A^2 R_{\text{вх}1} = 15 \cdot 3 \cdot 10^{-3} =$   
 $= (3 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 5 \cdot 10^3 = 45 \cdot 10^{-3} \text{ Вт} = 45 \text{ мВт}.$

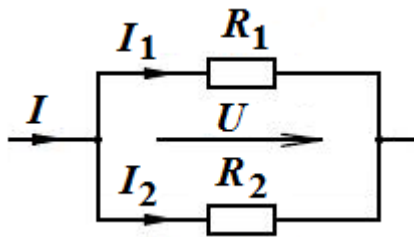
\* **Внутреннее сопротивление вольтметра** достаточно велико, поэтому в расчётах его можно принять равным бесконечности.

**Внутреннее сопротивление амперметра** достаточно мало, поэтому в расчётах его можно принять равным нулю.

**Ответы:**

$I_A = 3 \text{ мА}, U_{V1} = 3 \text{ В}, U_{V2} = 12 \text{ В}, U_{V3} = 9 \text{ В}, P = 45 \text{ мВт}.$

**Задача 2.**



Определить  $R_2$ , если

$R_1 = 3 \text{ Ом}, I_2 = 5 \text{ А}, I = 25 \text{ А}.$

**Решение:**

Напряжение на участке цепи:

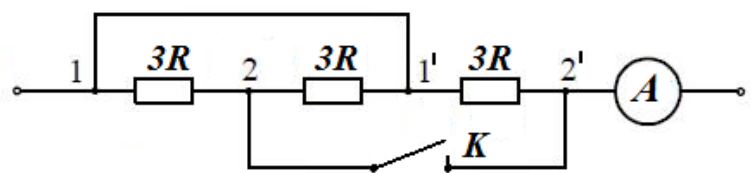
$U = R_1 \cdot I_1 = R_2 \cdot I_2 = (I - I_2) R_1,$

следовательно -  $R_2 = (I - I_2) R_1 / I_2 = 12 \text{ Ом}.$

**Ответ:**  $R_2 = 12 \text{ Ом}.$

**Задача 3.**

Что покажет амперметр после замыкания ключа, если до замыкания он показывал 1 А ?



**Решение:**

До замыкания ключа  $R_3 = 3R$  (узлы 1 и 1' закорочены). После замыкания ключа все резисторы соединены параллельно (узлы 1 и 1', 2 и 2' - устранимые) и, следовательно,  $R_3' = 3R/3 = R.$

Напряжение на входе цепи не зависит от режима её работы:

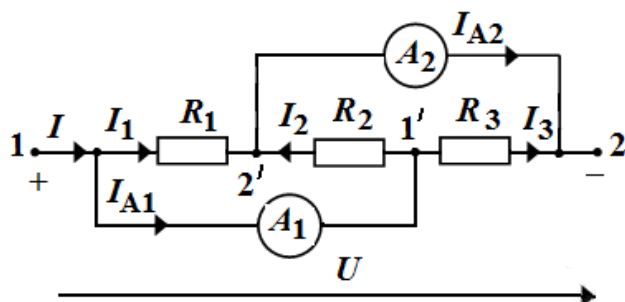
$U = I \cdot 3R = I' \cdot 3R.$

Ток через амперметр, после замыкания ключа:

$I' = I R_3 / R_3' = 1 \cdot 3R / R = 3 \text{ А}.$

Ответы:  $I' = 3 \text{ A}$ .

#### Задача 4.



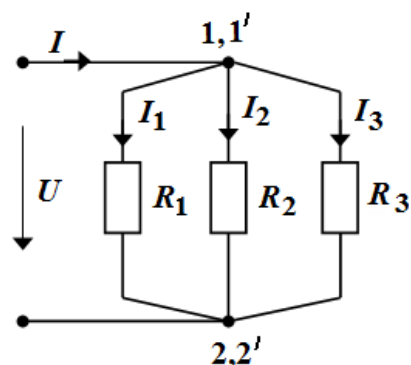
$$U = 15 \text{ В}, R_1 = 20 \text{ Ом},$$

$$R_2 = 20 \text{ Ом}, R_3 = 50 \text{ Ом},$$

Определить: показания амперметров; потребляемую цепью мощность.

#### Решение:

Резисторы  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  соединены параллельно, так как узлы 1, 1' и 2, 2' соединены ветвями с идеальными амперметрами  $A_1$  и  $A_2$ , имеющими сопротивления равные нулю, то



Определим токи в параллельных ветвях, по закону Ома:

$$I_1 = U / R_1 = 15 / 20 = 0.75 \text{ A};$$

$$I_2 = U / R_2 = 15 / 20 = 0.75 \text{ A};$$

$$I_3 = U / R_3 = 15 / 50 = 0.3 \text{ A}.$$

Входной ток и токи амперметров определяем по первому закону Кирхгофа:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = 0,75 + 0,75 + 0,3 = 1,8 \text{ A};$$

$$I_{A1} = I - I_1 = 1,8 - 0,75 = 1,05 \text{ A}; I_{A2} = I_1 + I_2 = 0,75 + 0,75 = 1,5 \text{ A}$$

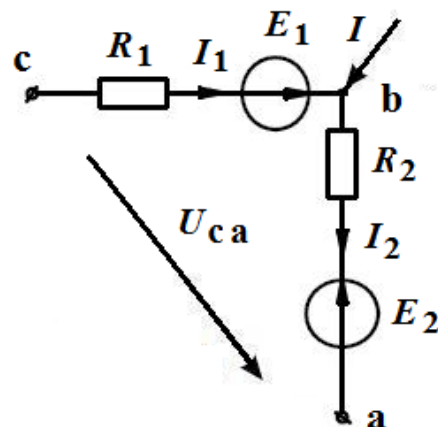
Потребляемая цепью мощность:  $P = UI = 15 \cdot 1,8 = 27 \text{ Вт}$ .

Ответы:  $I_{A1} = 1,05 \text{ A}$ ,  $I_{A2} = 1,5 \text{ A}$ ,  $P = 27 \text{ Вт}$ .

#### Задача 5.

Определить токи в ветвях участка сложной схемы и напряжения  $U_{bc}$  и  $U_{ab}$  если:

$$E_1 = 10 \text{ В}, E_2 = 13 \text{ В}, U_{ca} = 7 \text{ В},$$



$$I = 0,8 \text{ A}, \quad R_1 = 3 \text{ Ом}, \quad R_2 = 5 \text{ Ом}.$$

**Решение:**

Токи в ветвях схемы связаны соотношением:

$$I_2 = I - I_1.$$

Запишем второй закон Кирхгофа для контура  $a - c - b$  (обход контура – по часовой стрелки):

$$-U_{ca} + R_1 \cdot I_1 + R_2 \cdot I_2 = E_1 - E_2, \text{ или с учетом выражения для тока } I_2 -$$

$$-U_{ca} + R_1 \cdot I_1 + R_2 \cdot I - R_2 \cdot I_1 = E_1 - E_2.$$

Из последнего соотношения:

$$I_1 = E_1 - E_2 + U_{ca} - R_2 \cdot I / (R_1 + R_2) = 10 - 13 + 7 - 5 \cdot 0,8 / (3 + 5) = 0;$$

$$I_2 = I = 0,8 \text{ A}.$$

Напряжения  $U_{bc}$  и  $U_{ab}$  определяем по второму закону Кирхгофа:

$$U_{ab} = -E_2 - R_2 \cdot I_2 = -13 - 5 \cdot 0,8 = -17 \text{ В}; \quad U_{bc} = E_1 - R_1 \cdot I_1 = E_1 = 10 \text{ В}.$$

Проверка по II закону Кирхгофа:

$$U_{ab} + U_{bc} + U_{ca} = 0; \quad -17 + 10 + 7 = 0.$$

**Ответы:**  $I_2 = 0,8 \text{ A}; \quad I_1 = 0 \text{ A}; \quad U_{bc} = 10 \text{ В}; \quad U_{ab} = -17 \text{ В}.$

### Задача 6.

Определить токи во всех ветвях схемы и напряжения на всех участках цепи, если:

$$R = 6 \text{ Ом}; \quad R_1 = 9 \text{ Ом}; \quad R_2 = 15 \text{ Ом};$$

$$R_3 = 10 \text{ Ом}; \quad U = 144 \text{ В}.$$

**Решение.**

**Метод свертывания.**

$$R_{bd} = (1/R_2 + 1/R_3 + 1/R)^{-1} = (1/15 + 1/10 + 1/6)^{-1} = 3 \text{ Ом},$$

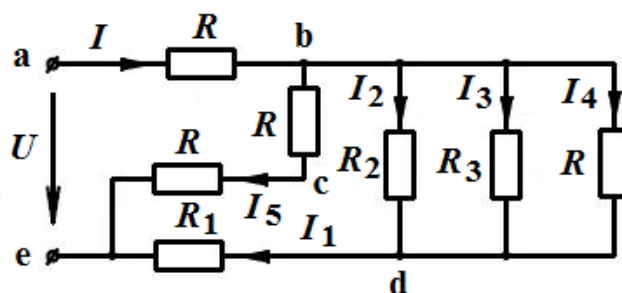
$$R_{bde} = R_{bd} + R_1 = 3 + 9 = 12 \text{ Ом}, \quad R_{bce} = R + R = 6 + 6 = 12 \text{ Ом},$$

$$R_{be} = R_{bde} R_{bce} / (R_{bde} + R_{bce}) = 12 \cdot 12 / (12 + 12) = 6 \text{ Ом},$$

$$R_{ae} = R + R_{be} = 6 + 6 = 12 \text{ Ом},$$

$$I = U / R_{ae} = 144 / 12 = 12 \text{ A}, \quad I_1 = I_5 = I / 2 = 12 / 2 = 6 \text{ A},$$

$$I_3 = U_{bd} / R_3 = 18 / 10 = 1,8 \text{ A}, \quad I_4 = U_{bd} / R = 18 / 6 = 3 \text{ A},$$



$$U_{ab} = R \cdot I = 6 \cdot 12 = 72 \text{ В}, U_{de} = R_1 \cdot I_1 = 9 \cdot 6 = 54 \text{ В},$$

$$U_{bc} = U_{ce} = R \cdot I_5 = 6 \cdot 6 = 36 \text{ В}, I_2 = U_{bd} / R_2 = 18 / 15 = 1,2 \text{ А}.$$

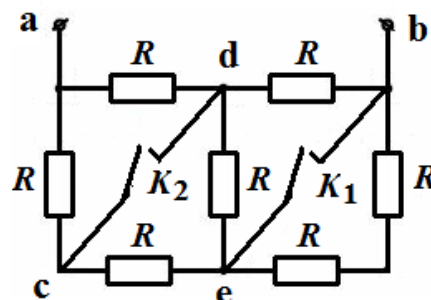
**Решить задачу самостоятельно методом пропорционального пересчета.**

**Ответы:**  $I = 12 \text{ А}; I_1 = I_5 = 6 \text{ А}; I_2 = 1,2 \text{ А}; I_3 = 1,8 \text{ А}; I_4 = 3 \text{ А}.$

### Задача 7.

Определить эквивалентное сопротивление цепи при  $R = 6 \text{ Ом}$ , если:

1. оба ключа замкнуты;
2. ключ  $K_1$  замкнут, ключ  $K_2$  разомкнут;
3. оба ключа разомкнуты.



### Решение:

1. Оба ключа замкнуты.

Замыкание ключа  $K_1$  закорачивает два резистора включенные параллельно ключу между точками а и в. После замыкания ключа  $K_2$  получаем эквивалентную схему 1.

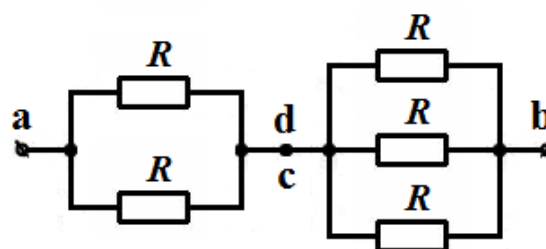


Схема 1

Эквивалентное сопротивление  $R_{\text{ЭК}} = R / 2 + R / 3 = 5 R / 6 = 5 \text{ Ом}.$

2. При замкнутом ключе  $K_1$  и разомкнутом ключе  $K_2$  имеем эквивалентную схему 2. Сопротивление участка d-b –

$$R_{db} = R / 2.$$

Эквивалентное сопротивление схемы:

$$R_{\text{ЭК}} = 1,5 R \cdot 2 R / (1,5 R + 2 R) = 0,857 R = 5,14 \text{ Ом}.$$

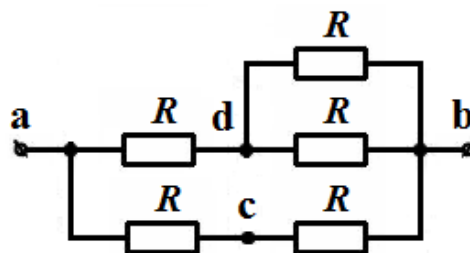


Схема 2

3. При разомкнутых ключах схема имеет вид показанный на схеме 3.

В схеме отсутствуют участки с последовательно или параллельно соединенными элементами. Имеются участки соединенные по схемам

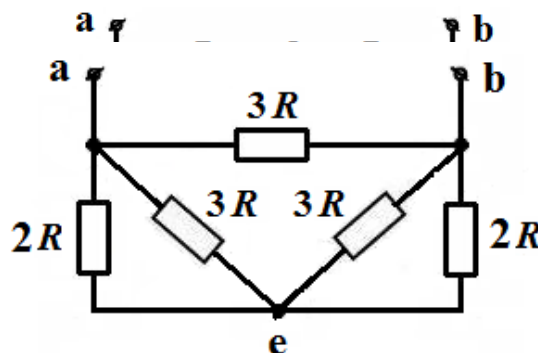


Схема 4

«звезда» сопротивлений и «треугольник» сопротивлений. Преобразуем «звезду» сопротивлений включенную между точками a-b-e в «треугольник» сопротивлений, схема 4. Сопротивления лучей «звезды» равны, поэтому сопротивления сторон «треугольника» также равны, и в три раза больше сопротивления луча «звезды».

Эквивалентное сопротивление схемы:

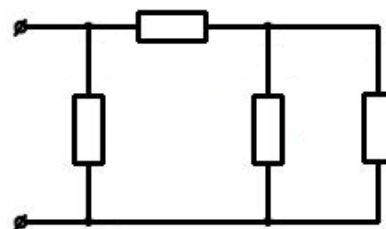
$$R_{\text{ЭК}} = 3R \cdot [2 \cdot 3R \cdot 2R / (3R + 2R)] / 3R + [2 \cdot 3R \cdot 2R / (3R + 2R)] = 1,33R = 8 \text{ Ом.}$$

Ответы: 1 – 5 Ом; 2 – 5,14 Ом; 3 – 8 Ом.

### Дополнительные задачи

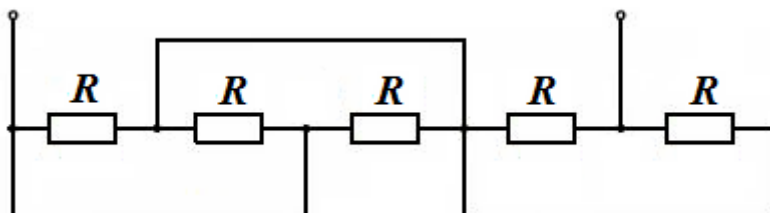
#### Задача 1.

Какое минимальное количество резисторов по 10 Ом и по какой схеме нужно соединить, чтобы получить эквивалентное сопротивление равное 6 Ом?



#### Задача 2.

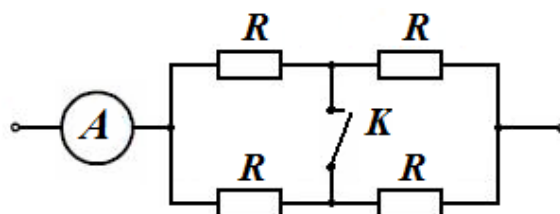
Найти эквивалентное сопротивление цепи.



Ответ:  $5R/6$ .

#### Задача 3.

Как изменится показание амперметра,



если замкнуть ключ?

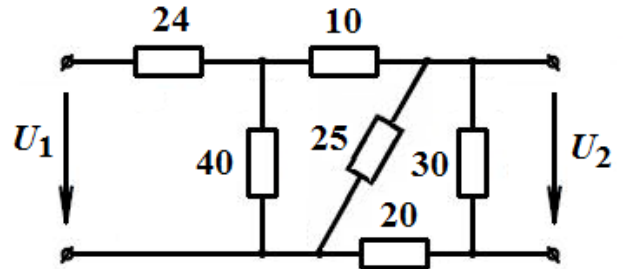
Ответ: **не изменится.**

**Задача 4.**

Найти отношение напряжений  $U_2 / U_1$ .

Сопrotивления ветвей, в Омах, указаны на схеме.

Ответ: **0,15.**



**Задача 5.**

В электрической цепи:  $R_4 = 5 \text{ кОм}$ ,

$E_5 = 20 \text{ В}$ ,  $R_5 = 3 \text{ кОм}$ ,

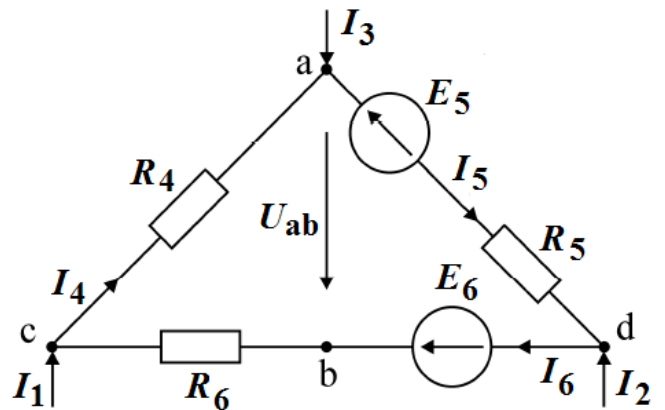
$E_6 = 40 \text{ В}$ ,  $R_6 = 2 \text{ кОм}$ ,

$I_1 = 10 \text{ мА}$ ,  $I_3 = -20 \text{ мА}$ .

Определить токи  $I_4, I_5, I_6$

и напряжение  $U_{ab}$ .

Ответ:  $U_{ab} = -50 \text{ В}$ .



**Задача 6.**

$E = 10 \text{ В}$ ,  $R = 1 \text{ Ом}$ .

Определить ток  $I_{BX}$ .

Ответ:  $I_{BX} = 33.33 \text{ А}$ .

