

## 9-10 Неразветвлённая электрическая цепь. Распределение потенциалов в электрической цепи. Потенциальная диаграмма

### 4.2. Неразветвленная электрическая цепь

Элементы неразветвленной электрической цепи соединены между собой последовательно. Отличительная особенность последовательного соединения: электрический ток во всех участках цепи один и тот же. В схеме электрической цепи между последовательно соединенными элементами нет узлов, т. е. ответвлений тока.

Рассмотрим случай последовательного соединения источников и приемников электрической энергии (рис. 4.3), пренебрегая внутренними сопротивлениями источников.

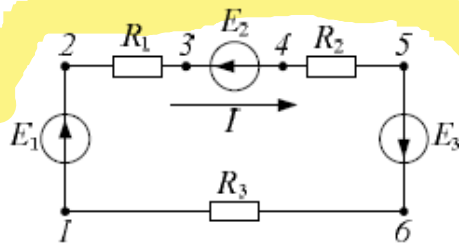


Рис. 4.3. Неразветвленная электрическая цепь

Составим уравнение по второму закону Кирхгофа, произвольно задавшись направлением тока в цепи и направлением обхода контура (например, по часовой стрелке):

$$IR_1 + IR_2 + IR_3 = E_1 - E_2 + E_3. \quad (4.10)$$

Ток в электрической цепи

$$I = \frac{E_1 - E_2 + E_3}{R_1 + R_2 + R_3}. \quad (4.11)$$

При обходе контура видно, что относительно направления обхода ЭДС  $E_1$  и  $E_3$  направлены одинаково, т. е. согласно, а ЭДС  $E_2$  – им навстречу.

Ток в цепи определяется действием всех трех ЭДС, и при заданных направлениях ЭДС и выбранном положительном направлении тока  $I$  можно считать, что элементы с ЭДС  $E_1$  и  $E_3$  вырабатывают электрическую энергию, так как направления этих ЭДС совпадают с направлением тока, а элемент с ЭДС  $E_2$  энергию потребляет. Если в качестве источников ЭДС предположить аккумуляторы, то источники  $E_1$  и  $E_3$  разряжаются, а источник  $E_2$  заряжается.

Поскольку направление тока выбрано произвольно, то в результате расчета ток может получиться отрицательным. Это означает, что его направление противоположно указанному на схеме. Это отражается на решении вопроса, какие источники ЭДС являются источниками энергии, а какие приемниками.

Уравнение (4.11) позволяет три ЭДС неразветвленной электрической цепи заменить одной эквивалентной:

$$E_3 = E_1 - E_2 + E_3,$$

т. е. эквивалентная ЭДС равна алгебраической сумме ЭДС неразветвленной электрической цепи.

Кроме того, уравнение (4.11), записанное в соответствии со вторым законом Кирхгофа, позволяет определить эквивалентное сопротивление трех последовательно включенных резисторов:

$$R_3 = R_1 + R_2 + R_3. \quad (4.12)$$

Вывод (4.12) можно распространить на любое число последовательно включенных резистивных элементов:

$$R_3 = \sum_1^n R_n,$$

т. е. эквивалентное сопротивление последовательно включенных резисторов равно сумме сопротивлений этих резисторов.

Определение эквивалентной ЭДС и эквивалентного сопротивления позволяет получить более простую схему электрической цепи (рис. 4.4).

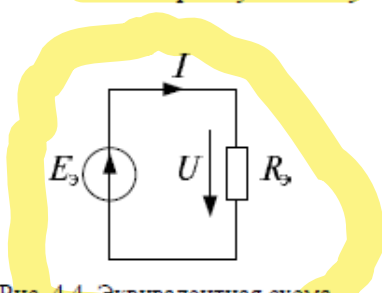


Рис. 4.4. Эквивалентная схема неразветвленной электрической цепи

Схемы цепей на рисунках 4.3 и 4.4 эквивалентны, поскольку ток  $I$  в них одинаковый:

$$I = \frac{E_3}{R_3} = \frac{E_1 - E_2 + E_3}{R_1 + R_2 + R_3}.$$

Расчет тока в неразветвленной электрической цепи, содержащей различное количество последовательно соединенных элементов, наиболее удобен с помощью уравнения, составленного по второму закону Кирхгофа, аналогичного уравнению (4.10).

### 4.3. Потенциальная диаграмма неразветвленной цепи

Как отмечалось в главе 3, за положительное направление электрического тока принято направление движения положительных зарядов, поэтому ток  $I$  через резистор  $R$  идет от большего потенциала к меньшему. На резисторе потенциал снижается в направлении тока на величину падения напряжения  $IR$ .

Направление действия ЭДС (от отрицательного вывода к положительному) указывается на схемах электрических цепей стрелкой, что говорит о направлении возрастания потенциала. На источнике ЭДС потенциал возрастает в направлении ЭДС на величину ЭДС  $E$ .

В схеме, представленной на рисунке 4.3, при переходе от точки 1 к точке 2 потенциал повышается на величину  $E_1$ , а при переходе от точки 2 к точке 3 снижается на величину  $U_{23} = IR_1$ . При переходе от точки 3 к точке 4 потенциал понижается на величину  $E_2$ .

Изменение потенциалов в электрической цепи можно изобразить графически в виде потенциальной диаграммы.

Потенциальная диаграмма представляет собой график изменения потенциала при обходе цепи, построенный в прямоугольной системе координат, в которой по оси абсцисс откладываются в определенном масштабе сопротивления участков цепи, а по оси ординат – потенциалы соответствующих точек.

Для расчета значений потенциалов точек необходимо принять потенциал одной из точек схемы равным нулю. Эту точку помещают в начало координат. Для схемы на рисунке 4.3 примем потенциал точки 1 равным нулю:  $\varphi_1 = 0$ . Потенциалы других точек найдем согласно равенствам:  $\varphi_2 = \varphi_1 + E_1$ ;  $\varphi_3 = \varphi_2 - IR_1$ ;  $\varphi_4 = \varphi_3 - E_2$ ;  $\varphi_5 = \varphi_4 - IR_2$ ;  $\varphi_6 = \varphi_5 + E_3$ ;  $\varphi_1 = \varphi_6 - IR_3$ .

Сумма изменений потенциалов по контуру должна быть равна нулю, так как она выражает работу, затраченную на перемещение единичного заряда по замкнутому пути в электрических полях источников и приемников энергии.

Таким образом, для рассматриваемого контура

$$E_1 - IR_1 - E_2 - IR_2 + E_3 - IR_3 = 0,$$

или

$$E_1 - E_2 + E_3 = IR_1 + IR_2 + IR_3,$$

что соответствует уравнению второго закона Кирхгофа (4.10).

Потенциальная диаграмма цепи, изображенной на рисунке 4.3, показана на рисунке 4.5.

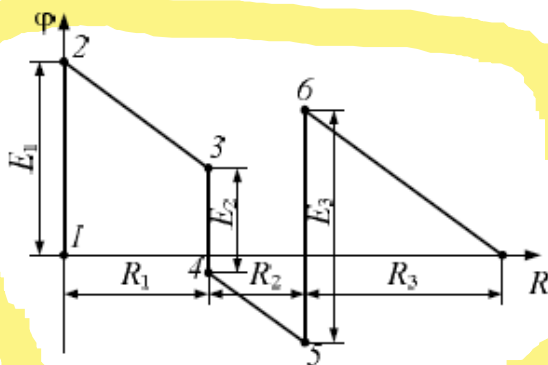


Рис. 4.5. Потенциальная диаграмма цепи

Поскольку внутренние сопротивления источников ЭДС приняты равными нулю, при переходе через эти элементы потенциалы изменяются скачком.

Потенциальная диаграмма дает наглядное представление, между какими точками электрической цепи наибольшее напряжение. В нашем случае наибольшее напряжение находится между точками 2 и 5. Между точками цепи с наибольшей разностью потенциалов должна быть усиленная изоляция.

Крутизна линий показывает силу тока, а направление наклона – направление тока