

Электрический ток. Конспект теории

Электрический ток. Источник тока.

ЭДС источника тока. Закон Ома для полной цепи

Закон Ома для полной цепи

Электродвижущая сила

Для перемещения заряда по замкнутой электрической цепи необходимо совершить ненулевую работу, поэтому в замкнутой цепи не могут действовать только электростатические (кулоновские) силы. По свойству потенциальности работа электростатических сил по любому замкнутому контуру равна нулю. Таким образом, приходим к выводу, что на каком-то участке цепи должны действовать силы неэлектростатического происхождения. Эти силы действуют внутри источника тока и называются **сторонними силами**. Сторонние силы могут иметь различную физическую природу, например химическую или электромагнитную. Роль сторонних сил заключается в том, чтобы перемещать заряды против действия кулоновских сил. Перемещая заряд внутри источника тока, сторонние силы совершают положительную работу.

Основной характеристикой источника тока служит ЭДС.

Электродвижущая сила (ЭДС) — скалярная физическая величина, численно равная отношению работы сторонних сил при перемещении заряда к величине этого заряда:

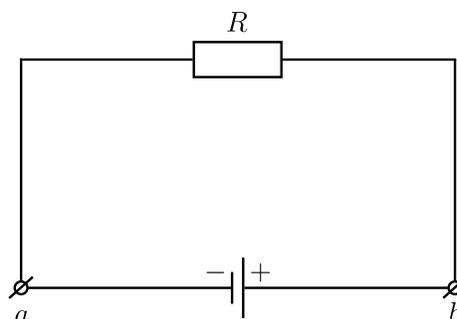
$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{ст}}}{q}.$$

ЭДС в системе СИ измеряется в вольтах (В), что совпадает с единицей измерения электрического напряжения. Принципиальная разница между ЭДС и напряжением заключается в том, что напряжение характеризует работу электростатических сил, а ЭДС — работу сторонних сил. Если сила тока не меняется со временем, то $q = It$. Отсюда получаем следующую формулу для величины работы сторонних сил:

$$A_{\text{ст}} = \mathcal{E}q = \mathcal{E}It.$$

Закон Ома для полной цепи

Полная электрическая цепь — замкнутая цепь, состоящая из источника тока и подключённых к нему проводников и электрических приборов (резисторов). Пример полной электрической цепи изображён на рисунке.



Здесь R обозначает внешнее сопротивление — общее сопротивление внешней цепи, рассчитанное по правилам последовательного и параллельного соединения. Буквами a и b обозначены клеммы источника тока, к которым подключают внешнюю цепь. Источник тока обладает двумя характеристиками: ЭДС \mathcal{E} и внутренним сопротивлением источника тока r .

Получим формулу для силы тока в полной цепи. Поскольку работа кулоновской силы по замкнутому контуру равна нулю, работа по перемещению заряда в замкнутом контуре равна работе сторонних сил. При этом, согласно закону Джоуля – Ленца и закону сохранения энергии, работа сторонних сил равна количеству теплоты, выделенной во внешней цепи и на внутреннем сопротивлении:

$$A_{\text{ст}} = I^2 R t + I^2 r t.$$

Применив формулу, выражающую работу сторонних сил через ЭДС, получаем

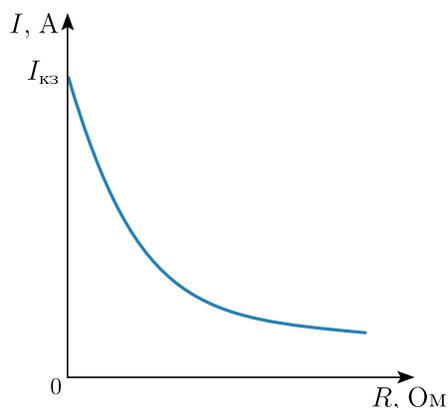
$$\mathcal{E} I t = I^2 (R + r) t.$$

Сократим обе части равенства на $I t$ и выразим силу тока:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}.$$

Полученное выражение называется **законом Ома для полной цепи**: сила тока в полной цепи равна отношению ЭДС источника к сумме внешнего и внутреннего сопротивлений.

Графически зависимость между силой тока и внешним сопротивлением представлена на рисунке.



При нулевом значении внешнего сопротивления ($R = 0$) получается максимальное значение силы тока для данного источника. Это значение называют **силой тока короткого замыкания** для данного источника и вычисляют по формуле

$$I_{\text{кз}} = \frac{\mathcal{E}}{r}.$$

Мощность тока в цепи

Мощность источника тока — это отношение энергии, выделенной источником тока, ко времени, за которое эта энергия была выделена. Согласно закону сохранения энергии, энергия, выделяемая источником, полностью расходуется на работу сторонних сил. Следовательно,

$$P = \frac{A_{\text{ст}}}{t}.$$

Отсюда, применяя формулу, связывающую работу внешних сил с ЭДС, а также закон Ома для полной цепи, получаем

$$P = \mathcal{E}I = I^2(R + r).$$

Мощность тока во внешнем участке цепи называют **полезной мощностью** и обозначают через $P_{\text{пол}}$. Согласно закону Ома для участка цепи, можем записать

$$P_{\text{пол}} = UI = I^2R.$$

Выражение $P - P_{\text{пол}} = I^2r$ при этом отражает потери мощности на внутреннем сопротивлении источника.

Напряжение на клеммах источника тока

Разность потенциалов между положительной и отрицательной клеммами источника тока представляет собой то напряжение, которое приложено к внешней цепи:

$$U = \varphi_B - \varphi_A.$$

По закону Ома для участка цепи сила тока выражается через это напряжение по формуле

$$I = \frac{U}{R}.$$

Отсюда по закону Ома для полной цепи следует равенство

$$U = \frac{\mathcal{E}R}{R + r}.$$

Эта формула выражает зависимость напряжения во внешней цепи от внешнего сопротивления. Формулу для напряжения на клеммах источника тока можно также записать в следующем виде:

$$U = \frac{\mathcal{E}(R + r - r)}{R + r} = \mathcal{E} - \frac{\mathcal{E}r}{R + r};$$

$$U = \mathcal{E} - Ir.$$

Получилась зависимость напряжения на клеммах источника от силы тока в цепи. Из полученной формулы можно сделать важный вывод: напряжение на клеммах равно ЭДС в точности тогда, когда либо сила тока равна нулю, либо равно нулю внутреннее сопротивление.

1. Случай $I = 0$ соответствует незамкнутой цепи. Например, к полюсам источника тока подключён конденсатор или идеальный вольтметр с бесконечно большим сопротивлением.
2. В случае $r = 0$ получаем следующий важный вывод: источник тока с нулевым внутренним сопротивлением является источником постоянного напряжения, равного ЭДС. Это напряжение не зависит от подключённой нагрузки и силы тока в цепи.