

Постоянный электрический ток

Лекция № 1



Содержание лекции:

- ***Электрический ток***
- ***Уравнение непрерывности***
- ***Электродвижущая сила***

Электрический ток

Электрический ток – упорядоченное движение электрических зарядов – носителей тока:

- электронов – в металлах, полупроводниках;
- ионов – в электролитах;
- макроскопических частиц с избыточным зарядом – пылинки, капельки.

*Электрический ток существует при наличии **электрического поля**, поддерживающего это движение своей энергией: носители заряда, ранее принимавшие участие в хаотическом тепловом движении, начинают двигаться упорядоченно с определенной скоростью.*

Если через выделенную площадку проходит, в среднем, в обе стороны одинаковое количество частиц любого знака, **ток равен нулю**.

Сила тока — скалярная величина, определяемая как количество заряда, проходящего через сечение проводника в единицу времени:

$$I = \frac{dq}{dt}$$

[I] = А: *один кулон — это заряд, переносимый за 1 с через поперечное сечение проводника при силе тока один ампер.*

За направление тока принимается направление движения **положительно заряженных частиц**.

При неравномерном распределении тока вводят **вектор плотности тока**, численно равный силе тока, текущего через расположенную в данной точке перпендикулярно к направлению движения носителей заряда единичную площадку.

$$j = \frac{dI}{dS_{\perp}}$$

$$[j] = 1 \frac{A}{m^2}$$

j – плотность тока

dI – сила тока через dS_{\perp}

dS_{\perp} – площадка, расположенная в данной точке и перпендикулярная к направлению движения носителей заряда.

Пусть n – концентрация носителей тока, e – величина носителя заряда. Тогда за время dt через поперечное сечение S проводника переносится заряд

$$dq = n e \langle v \rangle S dt$$

$$I = \frac{dq}{dt} = n e \langle v \rangle S$$

$$\vec{j} = n e \langle \vec{v} \rangle$$

Сила тока сквозь произвольную поверхность:

$$I = \int_S (\vec{j}, d\vec{S})$$

- сила тока есть поток вектора плотности тока через поверхность S .

При постоянном токе :

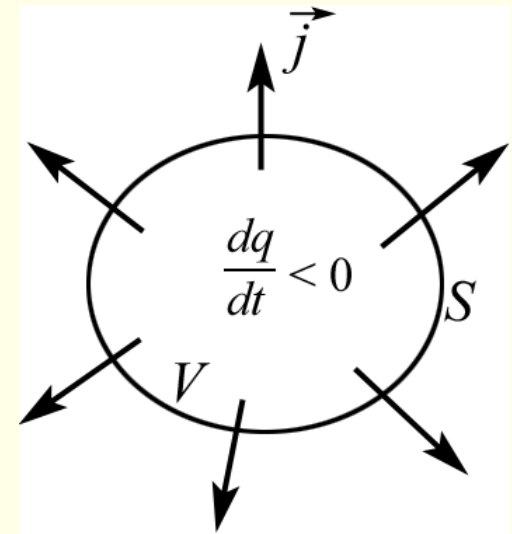
$$I = j \cdot S$$

$$I = \frac{q}{t}$$

Уравнение непрерывности

Рассмотрим в некоторой среде, в которой течет ток, некоторую замкнутую поверхность S :

Заряд, выходящий в единицу времени из объема V , ограниченного поверхностью S , есть $\int_S (\vec{j}, d\vec{S})$



В силу сохранения заряда эта величина должна быть равна скорости убывания заряда, содержащегося в данном объеме:

$$\int_S (\vec{j}, d\vec{S}) = - \frac{\partial q}{\partial t}$$

- уравнение непрерывности

Знак минус означает то, что заряды вытекают из объема V

Заряд, содержащийся в объеме V , есть $q = \int \rho dV$

Воспользовавшись теоремой Остроградского–Гаусса, получим:

$$(\vec{\nabla}, \vec{j}) = - \frac{\partial \rho}{\partial t}$$

- уравнение непрерывности в дифференциальной форме:

в точках, являющихся источниками вектора плотности тока, происходит убывание заряда.

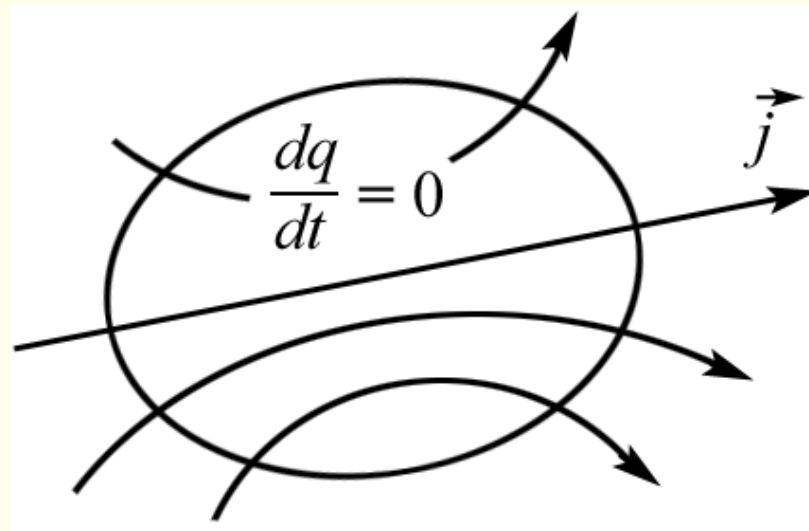
- выражает **закон сохранения электрического заряда:**

полный заряд системы не может измениться, если через ее границу не проходят электрически заряженные частицы.

В случае постоянного тока ($\varphi, \rho = \text{const}$):

$$(\vec{\nabla}, \vec{j}) = 0$$

- вектор плотности тока не имеет источников в случае постоянного тока
- линии тока нигде не начинаются и не заканчиваются - **ЛИНИИ ПОСТОЯННОГО ТОКА ЗАМКНУТЫ.**



Электродвижущая сила

Для существования постоянного тока необходимо наличие в электрической цепи устройства, способного создавать и поддерживать разности потенциалов на участках цепи за счет работы сил **неэлектростатического происхождения**. Такие устройства называются **источниками постоянного тока**.

Силы неэлектростатического происхождения, действующие на свободные носители заряда со стороны источников тока, называются **сторонними силами**.

Сторонние силы характеризуются своей работой над зарядом:

физическая величина, равная отношению работы $A_{ст}$ сторонних сил при перемещении заряда q от отрицательного полюса источника тока к положительному к величине этого заряда, называется *электродвижущей силой источника* (ЭДС):

$$\mathcal{E} = \frac{A}{q}$$

$$[\mathcal{E}] = V$$

Стороннюю силу можно представить в виде

$$\vec{F}_{\text{стор}} = \vec{E}_{\text{стор}} q$$

$E_{\text{стор}}$ – напряженность поля сторонних сил.

Работа сторонних сил над зарядом на участке цепи 1–2:

$$A_{12} \equiv \int_1^2 (\vec{F}_{\text{стор}}, d\vec{l}) = q \int_1^2 (\vec{E}_{\text{стор}}, d\vec{l})$$

По определению электродвижущей силы

$$\mathcal{E} = \int_1^2 (\vec{E}_{\text{стор}}, d\vec{l})$$

Для замкнутой цепи:

$$\mathcal{E} = \oint (\vec{E}_{\text{стор}} , d\vec{l})$$

- электродвижущая сила равна циркуляции напряженности поля сторонних сил.

Помимо сторонних сил на заряд действует сила со стороны электростатического поля:

$$\vec{F}_E = q \vec{E}$$

Результирующая сила, действующая на заряд:

$$\vec{F} = \vec{F}_E + \vec{F}_{\text{стор}} = q (\vec{E} + \vec{E}_{\text{стор}})$$

Работа результирующей силы:

$$\begin{aligned} A_{12} &= q \int_1^2 (\vec{E}, d\vec{l}) + q \int_1^2 (\vec{E}_{\text{стор}}, d\vec{l}) = \\ &= q(\varphi_1 - \varphi_2) + q\mathcal{E}_{12} \end{aligned}$$

Величина, численно равная работе, совершаемой *электростатическими и сторонними силами* над единичным положительным зарядом, — **падение напряжения (напряжение)** на данном участке цепи:

$$U_{12} = \frac{A_{12}}{q} = (\varphi_1 - \varphi_2) + \mathcal{E}_{12}$$

Однородный участок – участок цепи, на котором не действуют сторонние силы.

Неоднородный участок – участок цепи, на котором действуют сторонние силы.

Для однородного участка:

$$U_{12} = (\varphi_1 - \varphi_2).$$

Для неоднородного участка:

$$U_{12} = (\varphi_1 - \varphi_2) + \mathcal{E}_{12}.$$

