

**Лекция №1**  
**Электрический ток**

# 1. Понятие о токе проводимости. Вектор тока и сила тока

**Электрическим током** называется упорядоченное движение электрических зарядов. Носителями тока могут быть электроны, ионы, заряженные частицы.

- Если в проводнике создать электрическое поле, то в нем свободные электрические заряды придут в движение — возникает ток, называемый **током проводимости**.
- Если в пространстве перемещается заряженное тело, то ток называется **конвекционным**.

- **За направление тока** принято принимать направление движения положительных зарядов.

**Для возникновения и существования тока необходимо:**

1. наличие свободных заряженных частиц;
2. наличие электрического поля в проводнике.

- Основной характеристикой тока является **сила тока**, которая равна величине заряда, прошедшего за 1 секунду через поперечное сечение проводника.

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

$$I = \left[ \frac{\text{Кл}}{\text{с}} = \text{А} \right]$$

Где  $\Delta q$  – величина заряда;

$\Delta t$  – время прохождения заряда;

Сила тока величина скалярная.

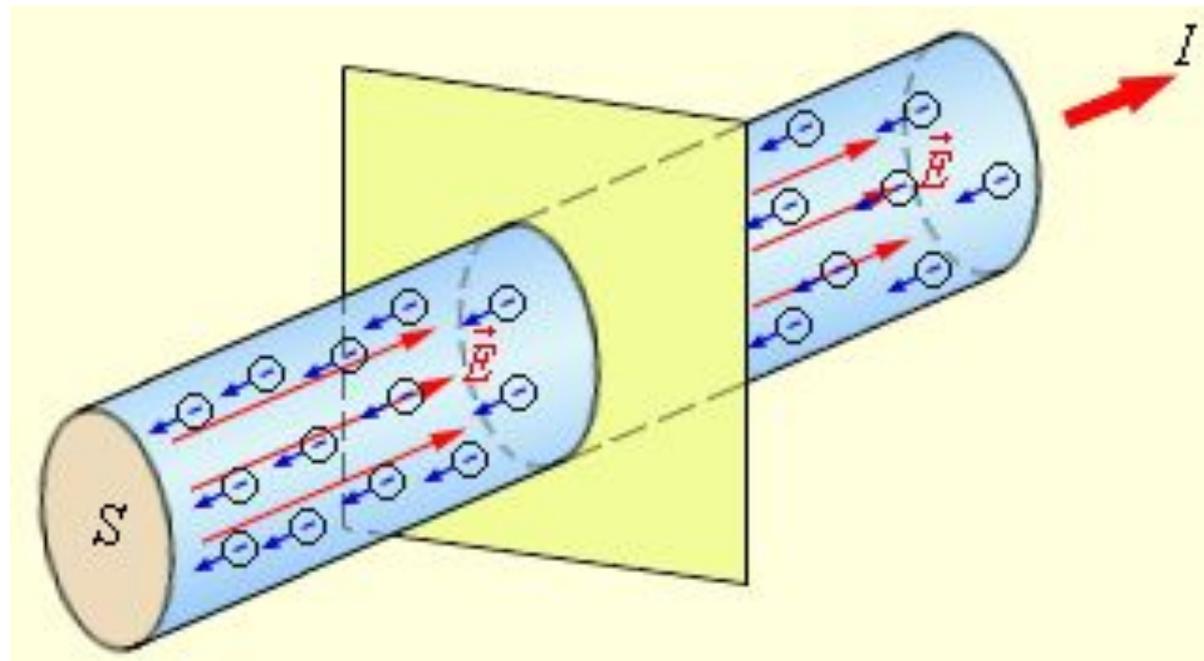
Электрический ток по поверхности проводника может быть распределен неравномерно, поэтому в некоторых случаях пользуются понятием плотность тока  $j$ .

Средняя плотность тока равна отношению силы тока к площади поперечного сечения проводника.

$$\langle j \rangle = \frac{\Delta I}{\Delta S} \quad j = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta I}{\Delta S} = \frac{dI}{dS} \quad \left[ \frac{A}{m^2} \right]$$

Где  $\Delta j$  – изменение тока;  
 $\Delta S$  – изменение площади.

# Плотность тока



## 2. Дифференциальная форма закона Ома

В 1826 г. немецкий физик Ом опытным путем установил, что сила тока  $J$  в проводнике прямо пропорциональна напряжению  $U$  между его концами

$$I = k \cdot U$$

Где  $k$  – коэффициент пропорциональности, называемый электропроводностью или проводимостью;  $[k] = [См]$  (сименс).

Величина  $R = \frac{1}{k} [Ом]$  называется **электрическим сопротивлением проводника.**

закон Ома для участка электрической цепи, не содержащей источника тока

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

Выражаем из этой формулы  $R$

$$R = \frac{U}{I} \quad \left[ \frac{B}{A} \right] = [Om]$$

Электрическое сопротивление зависит от формы, размеров и вещества проводника.

**Сопротивление проводника** прямо пропорционально его длине  $l$  и обратно пропорционально площади поперечного сечения  $S$

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Где  $\rho$  – характеризует материал, из которого изготовлен проводник и называется **удельным сопротивлением проводника**.

Выразим  $\rho$ :  $\rho = \frac{R \cdot S}{l} \quad \left[ \frac{\text{Ом} \cdot \text{м}^2}{\text{м}} = \text{Ом} \cdot \text{м} \right]$

Сопротивление проводника зависит от температуры. С увеличением температуры сопротивление увеличивается

$$R = R_0 (1 + \alpha t)$$

Где  $R_0$  – сопротивление проводника при  $0^\circ\text{C}$ ;  
 $t$  – температура;  $\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления (для металла  $\alpha \approx 0,04$  град-1).

Формула справедлива и для удельного сопротивления

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t)$$

Где  $\rho_0$  – удельное сопротивление проводника при  $0^\circ\text{C}$ .

При низких температурах (<8К) сопротивление некоторых металлов (алюминий, свинец, цинк и др.) скачкообразно уменьшается до нуля: металл становится **абсолютным проводником**.

Это явление называется **сверхпроводимостью**.

Подставим

$$I = \frac{U}{\rho \frac{l}{S}} = \frac{US}{\rho l}$$

Перегруппируем члены выражения

$$\frac{I}{S} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{U}{l}$$

Где  $I/S=j$  – плотность тока;

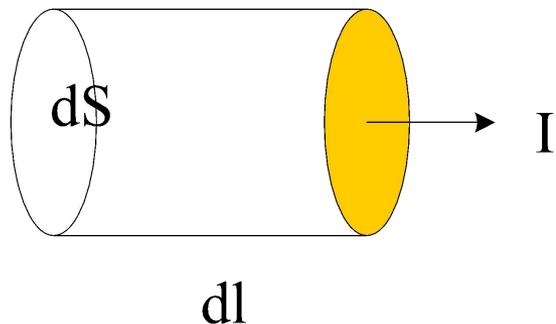
$1/\rho=\gamma$  – удельная проводимость вещества проводника;

$U/l=E$  – напряженность электрического поля в проводнике.

$$i = \gamma \cdot E$$

закон Ома в дифференциальной форме.

# Закон Ома для однородного участка цепи. Дифференциальная форма закона Ома.



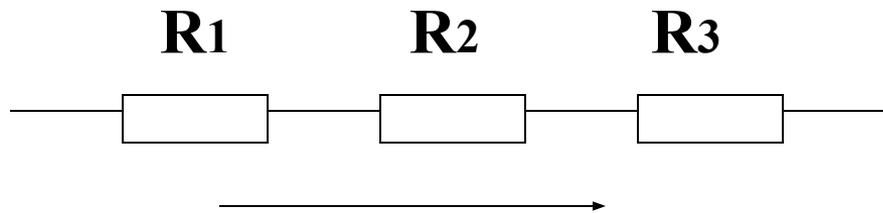
$$\mathbf{j} = \frac{\mathbf{E}}{\rho} \quad \gamma = \frac{1}{\rho}$$
$$\mathbf{j} = \gamma \cdot \mathbf{E}$$

$$d\varphi = \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} \quad I = \mathbf{j} \cdot d\mathbf{S}$$

$$\mathbf{j} \cdot d\mathbf{S} = \frac{\mathbf{E} \cdot d\mathbf{S}}{\rho}$$

### 3. Последовательное и параллельное соединение проводников

#### Последовательное соединение проводников



$I = \text{const}$  (по закону сохранения заряда);

$$U = U_1 + U_2$$

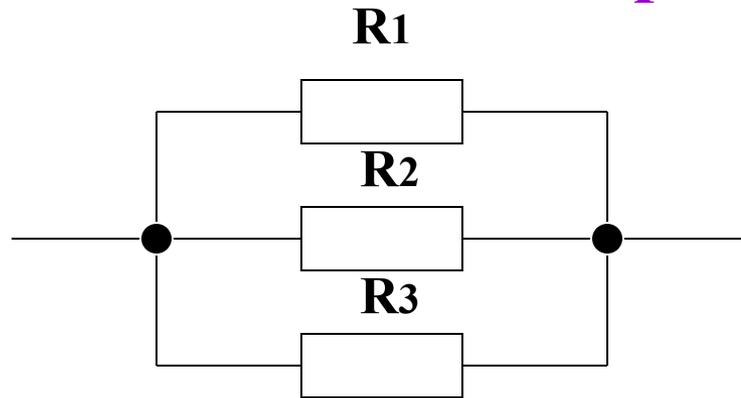
$$R_{\text{общ}} = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_{\text{общ}} = R_i$$

$$R = N * R_1$$

(Для  $N$  одинаковых проводников)

# Параллельное соединение проводников



$$U = \text{const} \quad I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$U_1 = U_2 = U$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$R = \frac{R_1}{N} \quad \text{Для } N \text{ одинаковых проводников}$$

## 4. Причина появления электрического тока в проводнике. Физический смысл понятия сторонних сил

Для поддержания постоянного тока в цепи, необходимо разделять положительные и отрицательные заряды в источнике тока, для этого на свободные заряды должны действовать силы неэлектрического происхождения, называемые **сторонними силами**.

За счет создаваемого сторонними силами поля электрические заряды движутся внутри источника тока против сил электростатического поля.

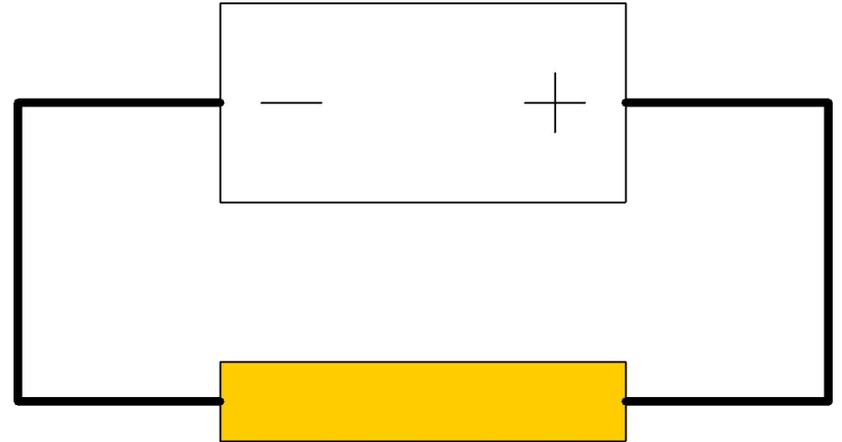


Благодаря этому на концах внешней цепи поддерживается разность потенциалов и в цепи идет постоянный электрический ток.

Сторонние силы вызывают разделение разноименных зарядов и поддерживают разность потенциалов на концах проводника. Добавочное электрическое поле сторонних сил в проводнике создается **источниками тока** (гальваническими элементами, аккумуляторами, электрическими генераторами).

## ЭДС источника тока

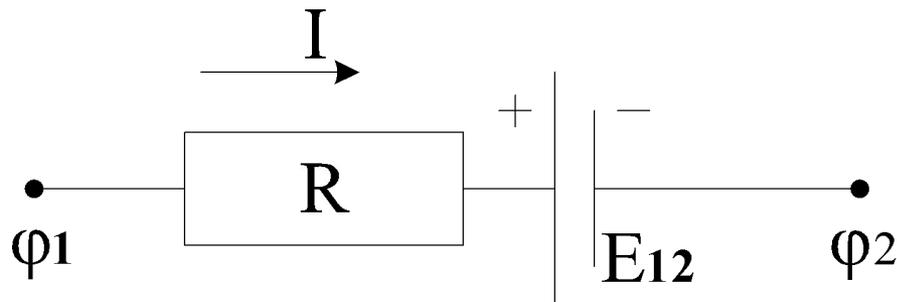
Физическая величина равная работе сторонних сил по перемещению единичного положительного заряда между полюсами источника называется электродвижущей силой источника тока (ЭДС).



$$E = \frac{A_{\text{ст}}}{q} \quad q = +1$$

$$E = A_{\text{ст}}$$

## Закон Ома для неоднородного участка цепи



$$A_{12} = A_1 + A_2$$

$$A_{12} = q(\varphi_1 - \varphi_2) + q \cdot E_{12}$$

$$A_1 = q(\varphi_1 - \varphi_2)$$

$$A_2 = E_{12} \cdot I \cdot t = E_{12} \cdot q$$

$$U = \frac{A_{12}}{q}$$

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 + E$$

## 5. Вывод закона Ома для замкнутой электрической цепи

Пусть замкнутая электрическая цепь состоит из источника тока с  $\varepsilon$ , с внутренним сопротивлением  $r$  и внешней части, имеющей сопротивление  $R$ .

$R$  – внешнее сопротивление;

$r$  – внутреннее сопротивление.  $\varepsilon = U + \frac{A'}{q}$

где  $U = \varphi_1 - \varphi_2$  – напряжение на внешнем сопротивлении;

$A'$  – работа по перемещению заряда  $q$  внутри источника тока, т. е. работа на внутреннем сопротивлении.

Тогда  $A = IUR$

так как  $U = IR + Ir$

$$A = I^2 R t$$

перепишем выражение для  $\varepsilon$ :  $q = It$

$$\varepsilon = IR + \frac{I^2 R t}{It}$$

$$\varepsilon = IR + Ir$$

Так как согласно закону Ома для замкнутой электрической цепи ( $\varepsilon = IR + Ir$ )

$IR$  и  $Ir$  – падение напряжения на внешнем и внутреннем участках цепи,

То

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

- закон Ома для замкнутой электрической цепи

В замкнутой электрической цепи **электродвижущая сила источника** тока равна сумме падений напряжения на всех участках цепи.

## 6. Первое и второе правила Кирхгофа

**Первое правило Кирхгофа** является условием постоянства тока в цепи.

**Алгебраическая сумма сил тока в узле разветвления равна нулю**

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$

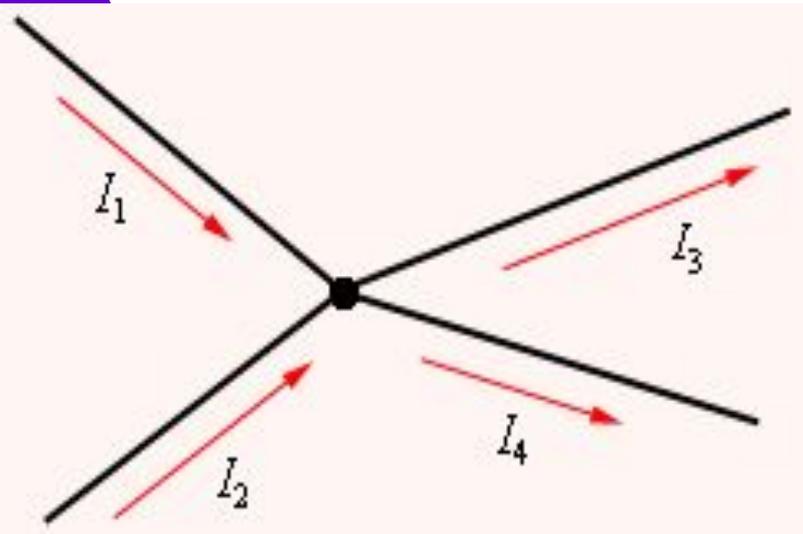
где  $n$  – число проводников;

$I_i$  – токи в проводниках.

Токи, подходящие к узлу, считаются **положительными**, выходящие из узла – **отрицательными**. Для узла A первое правило Кирхгофа запишется:

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

## Первое правило Кирхгофа



Узлом электрической цепи называется точка в которой сходится не менее трех проводников.

Сумма токов сходящихся в узле равна нулю – первое правило Кирхгофа.

$$I_1 + I_2 - I_3 - I_4 = 0$$

$$\sum_{i=1}^N I_i = 0$$

Первое правило Кирхгофа является следствием закона сохранения заряда – в узле электрический заряд накапливаться не может.

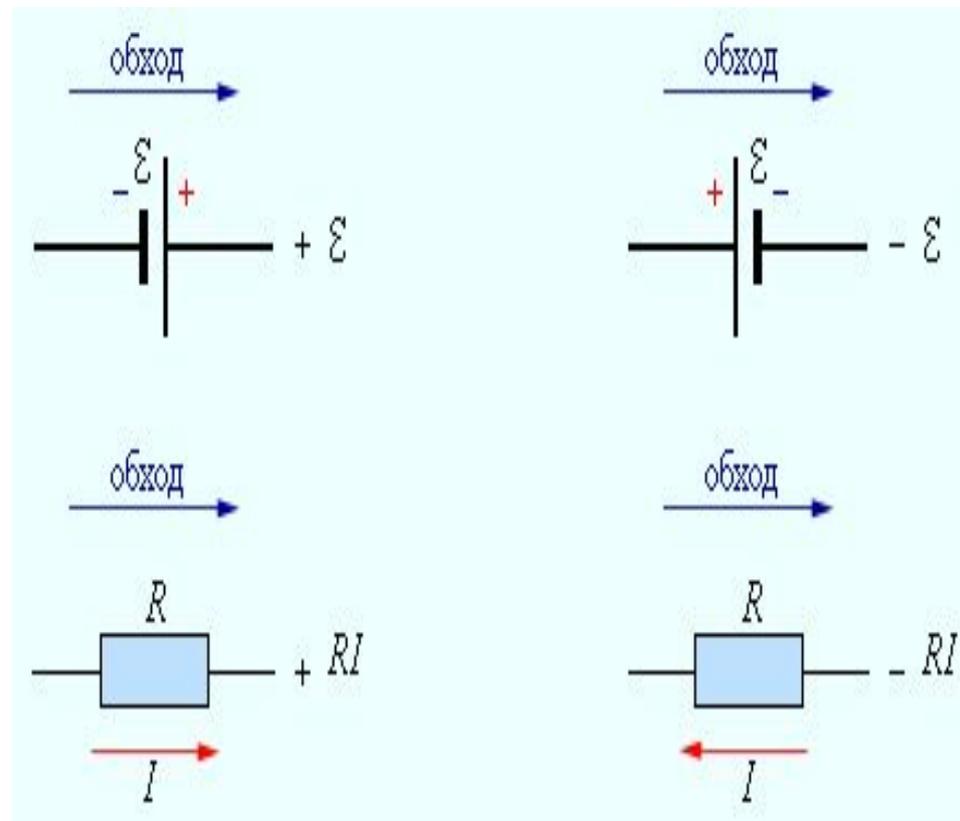
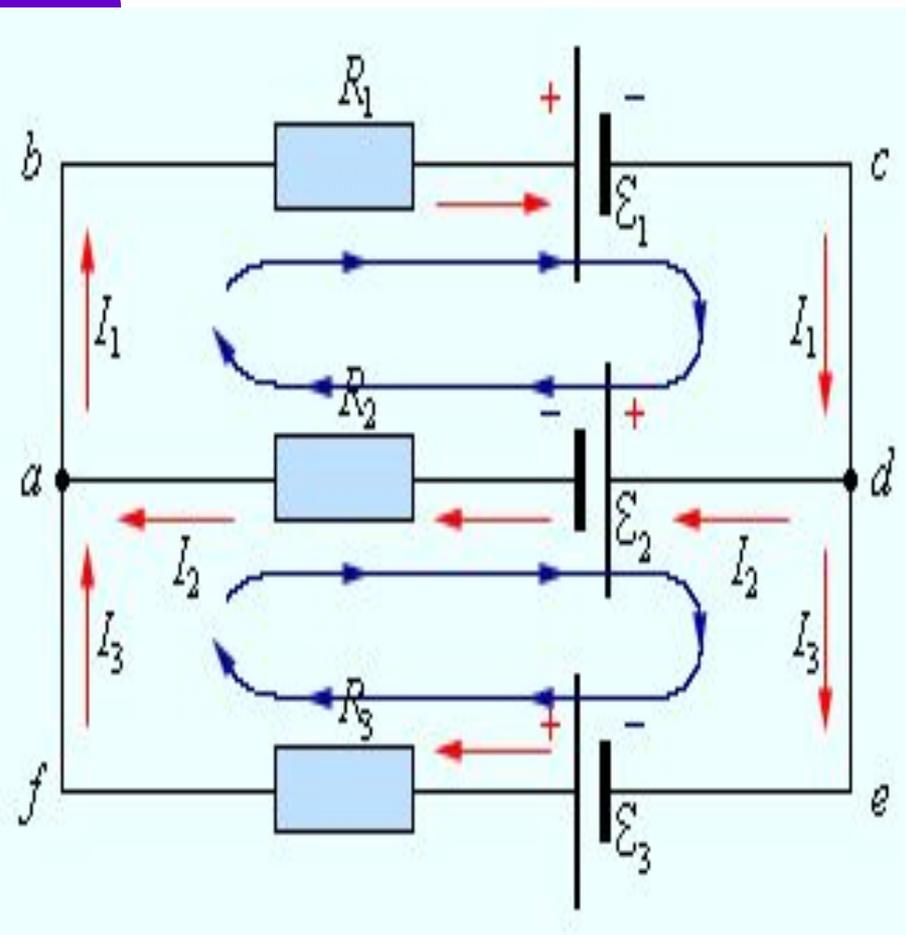
## Второе правило Кирхгофа

Второе правило Кирхгофа является следствием закона сохранения энергии.

**В любом замкнутом контуре разветвленной электрической цепи алгебраическая сумма  $I_i$  на сопротивления  $R_i$  соответствующих участков этого контура равна сумме приложенных в нем ЭДС  $\varepsilon_i$**

$$\sum_{i=1}^n I_i \cdot R_i = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i$$

# Второе правило Кирхгофа



Для составления уравнения необходимо выбрать **направление обхода** (по часовой стрелке или против нее). Все токи, совпадающие по направлению с обходом контура, считаются положительными. ЭДС источников тока считаются положительными, если они создают ток, направленный в сторону обхода контура. Так, например, правило Кирхгофа для I, II, III к.

$$\text{I} \quad I_1 r_1 + I_1 R_1 + I_2 r_2 + I_2 R_2 = -\varepsilon_1 - \varepsilon_2$$

$$\text{II} \quad -I_2 r_2 - I_2 R_2 + I_3 r_3 + I_3 R_3 = \varepsilon_2 + \varepsilon_3$$

$$\text{III} \quad I_1 r_1 + I_1 R_1 + I_3 r_3 + I_3 R_3 = -\varepsilon_1 + \varepsilon_3$$

На основании этих уравнений производится расчет цепей.



**СПАСИБО ЗА  
ВНИМАНИЕ**