

Електричен ток

- Електричен ток
 - Закон на Ом за част от веригата
 - Специфична проводимост, специфично съпротивление и съпротивление
 - Класическа електронна теория на проводимостта на металите
 - Консуматори и свързването им
- Работа и мощност на постоянния ток
 - Закон на Джаул-Ленц
- Източници на електричен ток
 - Странични сили
 - Електродвижещо напрежение и вътрешно съпротивление
- Закон на Ом за цялата верига

Електричен ток - явление

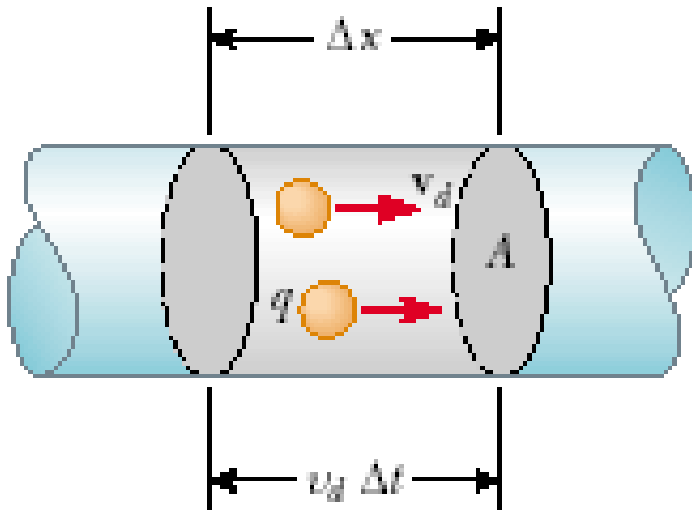
- *Електричен ток* - насочено движение на електрични заряди
 - Зарядите участващи в насоченото движение, се наричат *токови носители*. Скоростта им се нарича *дрейфова скорост*
- Величината, която характеризира явлението електричен ток се нарича също *електричен ток*
 - Разглеждаме проводник с напречно сечение с площ A
- *Електричен ток* през напречното сечение с лице A на проводник се нарича отношението от електричния заряд dq , преминал през това сечение за време dt

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

- *Електричният ток* е равен на заряда, пренесен през напречното сечение на проводника за единица време
 - Посока на *електричен ток* – посоката на движение на положителните заряди
 - Измерва се с ампери (A): *Токът е 1A, ако за 1s през сечението е преминал заряд 1C*

Електричен ток – физична величина

- **Дрейфовата скорост** и **изминат път** за време dt : $dx = v_d dt$
- Обем на елемент от проводник с дължина dx е $A dx$
- n_v е **концентрация на токови носители** - брой токови носители в единица обем
- **Брой на токови носители** в разглеждания елемент на проводника
- $n_v A dx$
- **Общият пренесен заряд** през напречното сечение A за време dt е:



$$dq = (n_v A dx) e; dx = v_d dt$$

$$\Rightarrow dq = (n_v A v_d dt) e$$

Електричен ток – физична величина

- Електричният ток през сечението записваме във вида

$$I = \frac{dq}{dt} = n_v e v_d A$$

- Плътност на електричния ток - зарядът, преминаващ за единица време, през единица площ от напречното сечение, на проводника:

$$j = \frac{I}{A} = n_v e v_d \Rightarrow \vec{j} = n_v e \vec{v}_d$$

Material	Resistivity ^a ($\Omega \cdot m$)
Silver	1.59×10^{-8}
Copper	1.7×10^{-8}
Gold	2.44×10^{-8}
Aluminum	2.82×10^{-8}
Tungsten	5.6×10^{-8}
Iron	10×10^{-8}
Platinum	11×10^{-8}
Lead	22×10^{-8}
Nichrome ^c	1.50×10^{-6}
Carbon	3.5×10^{-5}
Germanium	0.46
Silicon	640
Glass	10^{10} to 10^{14}

Закон на Ом в диференциална форма

- Плътноста на тока е правопрпорционална на интензитета на електричното поле в проводника:

$$\vec{j} \left[\frac{A}{m^2} \right] = \sigma \vec{E} \left[\frac{1}{\Omega \cdot m} \frac{V}{m} = \frac{A}{V \cdot m} \frac{V}{m} \right]$$

т.е. отношението на модула на плътността на тока и интензитета не зависи от полето.

- Специфичната проводимост на средата σ характеризира свойствата на материала и се измерва в:

$$\sigma [\Omega^{-1} m^{-1}]$$

- Специфично съпротивление - величината обратна на специфичната проводимост

$$\rho = 1/\sigma [\Omega \cdot m]$$

Класическа електронна теория за специфичната проводимост на металите - 1

- **Свободните електрони** в метала се разглеждат като **идеален едноатомен газ** със средна кинетична енергия
 - Приема се, че електроните имат **еднаква скорост**
 - **Дължина на свободен пробег** – средното разстояние λ , изминато от електрон между два последователни удара
 - **Средно време между ударите** – **време на релаксация**

$$\frac{m_e u^2}{2} = \frac{3}{2} kT$$

$$\Rightarrow u = \sqrt{\frac{3kT}{m_e}}$$

$$\tau = \frac{\lambda}{u}$$

Класическа електронна теория за специфичната проводимост на металите - 2

- Пресмятане на специфичната проводимост на металите

- Втори принцип на механиката
- Равноускорително движение
- Плътност на тока
- Средното време между ударите

- И така при постоянна температура специфичната проводимост е константа, характерна за дадения метал, т.е. за металите е в сила законът на Ом

$$eE\tau = m_e v_{MAX} \Rightarrow v_{MAX} = \frac{eE\tau}{m_e}$$

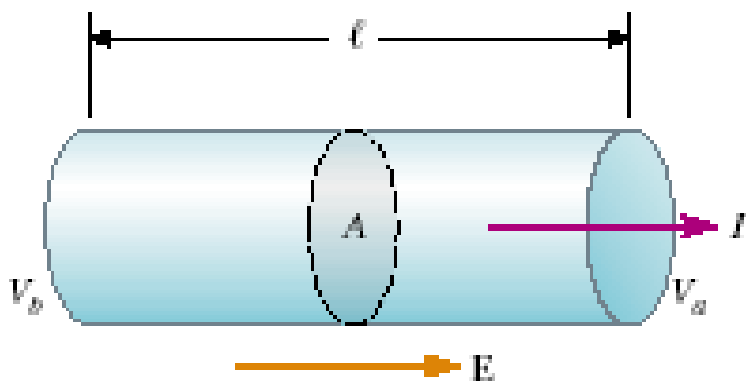
$$v_d = v_{MAX} / 2 \Rightarrow v_d = \frac{eE\tau}{m_e}$$

$$j = n_V e v_d = n_V \frac{e^2 \tau}{m_e} E; \quad j = \sigma E$$

$$\Rightarrow \sigma = n_V \frac{e^2 \tau}{m_e} = n_V \frac{e^2}{m_e} \frac{\lambda}{u}$$

Закон на Ом в интегрална форма

- Еднороден цилиндричен метален проводник с дължина L и напречно сечение A .
- Когато между двете напречни сечения има постоянно напрежение U , се създава се еднородно електрично поле E



$$E = U/L; U = V_B - V_A$$

$$j = I/A = \sigma E \Rightarrow I = \sigma A E$$

$$I = \frac{\sigma A}{L} U = \frac{U}{R}$$

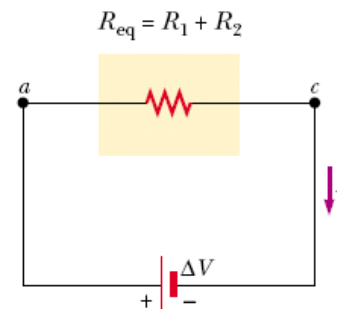
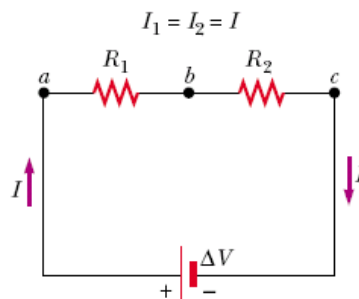
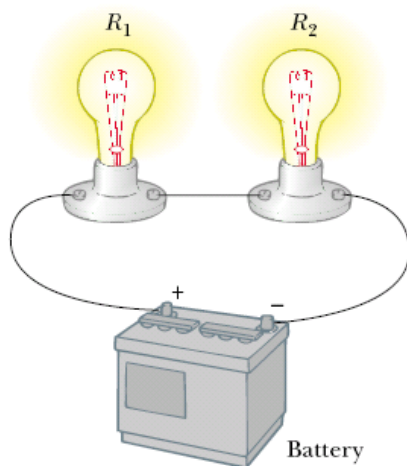
$$R = \frac{L}{\sigma A} = \rho \frac{L}{A}$$

- Закон на Ом в интегрална форма

Съпротивление на проводника

- R се нарича *съпротивление* на проводника $R = \frac{L}{\sigma A} = \rho \frac{L}{A} \left[\Omega \cdot m \frac{m}{m^2} \right]$
- Единицата за *електрично съпротивление* е ом (Ω)
 - Съпротивлението на даден проводник е 1 Ω , ако при напрежение 1 V през него протича ток 1 A:
$$1\Omega = 1V/1A$$
- *Съпротивлението* характеризира не само материала на проводника, но и неговата геометрия: дължина и площ на напречното сечение
- *Консуматорите* на електричен ток преобразуват *електричната енергия* в други *форми на енергията* посредством *работата извършвана от електричните сили*.
- Примери за преобразуване на *електричната енергия*:
 - Нагревателните уреди – във *вътрешна енергия*
 - Електромоторите – в *механична енергия*
 - Лампите – в *енергия на излъчената светлина*

Последователно свързване на консуматори



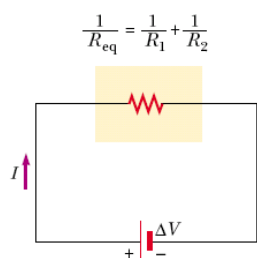
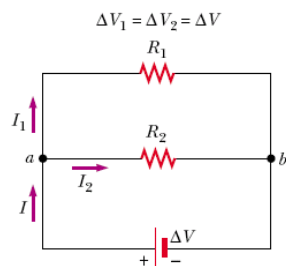
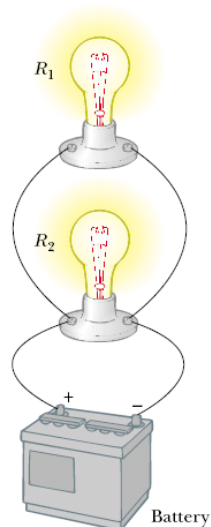
- Токът през двата консуматора е еднакъв!
- Пресмятане на *еквивалентното съпротивление*

$$\Delta V = IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2) = IR_{EQ} \Rightarrow R_{EQ} = R_1 + R_2$$

- При *последователно свързване на консуматори* *еквивалентното съпротивление е равно на сумата от съпротивленията на съставните консуматори!*

Успоредно свързване на консуматори

- При успоредно свързани консуматори напреженията върху тях са еднакви



$$I = I_1 + I_2 = \frac{\Delta V}{R_1} + \frac{\Delta V}{R_2} = \Delta V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{\Delta V}{R_{eq}}$$
$$\Rightarrow \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

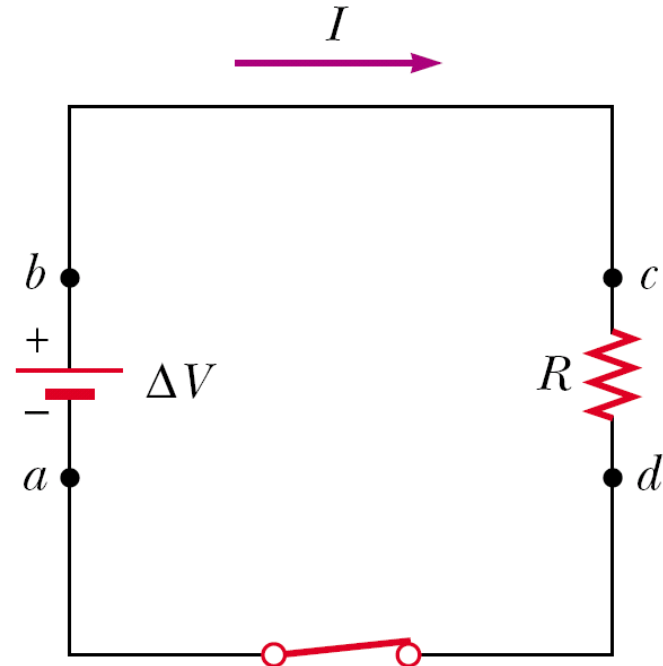
- При *успоредно свързване на консуматори* реципрочната стойност на *еквивалентното съпротивление* е равна на *сумата от реципрочните стойности на съпротивленията на съставните консуматори!*

Работа на електричните сили

- *Потенциалът на полето намалява по посока на интензитета на електричното поле!*
 - Потенциала на точката С е по-голям от този на точката Д
- За време dt от точка С до точка Д, по проводника се пренася положителен електричен заряд dq .
- *Електричните сили извършват положителна работа:*

$$\begin{aligned}\delta A &= -\Delta W = -dq\Delta\phi = \\ &= dqU = IdtU = I^2 R dt > 0; \quad dq = Idt\end{aligned}$$

- *Работата на електричните сили при протичане на електричен ток се нарича работа на тока*



Резистор, свързан с двата
полюса на батерия

Работа на тока и закон на Джаул-Ленц

- *Електричната потенциална енергия на токоносителите се превръща в тяхна кинетична енергия.*
- *Токоносителите се сблъскват с йоните на кристалната решетка и кинетичната им енергия се превръща във вътрешна енергия на проводника и следователно, температурата му нараства (експериментален факт)!*
- *Според закона за запазване на енергията, отделеното в проводника количество топлина, е равно на работата на тока:*

$$\delta Q = \delta A$$

- **Закон на Джаул-Ленц:**

Количеството топлина, отделено в проводник, по който тече ток, е равно на произведението от квадрата на тока, съпротивлението на проводника и времето за протичане на тока:

$$\delta Q = I^2 R dt$$

Мощност на тока

- *Мощност на тока – работата на тока за единица време*
 - Единицата за мощност е *ват* (W)

$$P[W] = \frac{\delta A}{dt} = UI = I^2 R = U^2 / R$$

- Електроенергията в бита се измерва с *киловатчас kWh*. Един *киловатчас* е енергията, която консумира потребител с мощност 1kW за време 1 час:

$$\delta A = Pdt \Rightarrow 1kWh = (1000W)(3600s) = 3,6 \cdot 10^6 J$$

Източници на електричен ток

- За да възникне и се поддържа *електричен ток* в затворена верига, интензитета на електричното поле трябва да е отличен от нула.
 - *Електричните сили* не могат да осигурят протичане на ток в проводник (интензитетът на електричното поле в него е нула).
 - Необходими са *странични сили*!
- За поддържането на *електричен ток* в затворена верига е необходимо преобразуването на *друг вид енергия в електрична*
 - Необходими са *източници на електричен ток*

Източници на електричен ток	Вид енергия
<i>Батерии и акумулатори</i>	<i>химична</i>
<i>Генератори</i>	<i>механична</i>
<i>Слънчеви батерии</i>	<i>светлинна</i>

Основни характеристики на източниците на електричен ток
Електродвижещо напрежение (ЕДН)
Вътрешно съпротивление

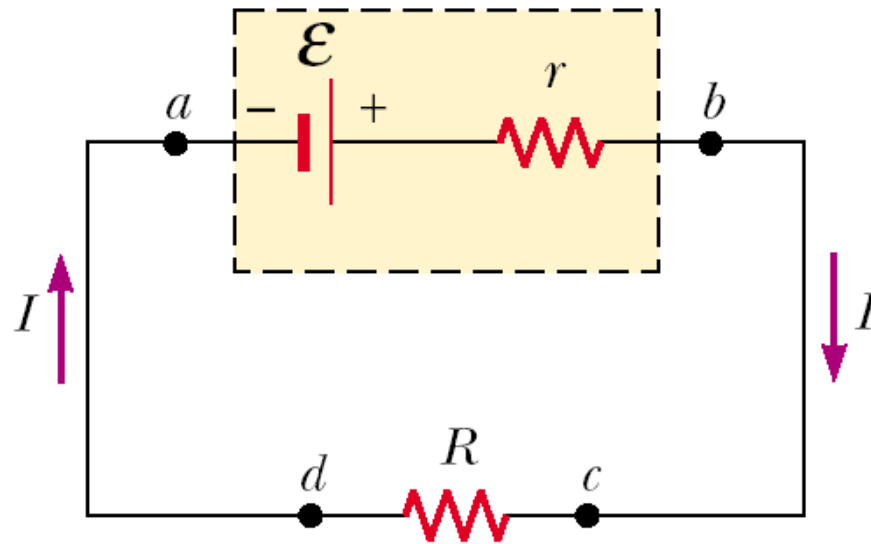
Електродвижещо напрежение

- Разглеждаме затворена електрична верига с проводник и *източник на електричен ток*
 - През проводника протича електричен ток от *положителния полюс* към *отрицателния полюс*, т.е по посока на *интензитета на електрическото поле* E създавано от *източника*
 - Елементите на *източника* в който се натрупват положителните и отрицателни заряди, се наричат съответно *положителен и отрицателен полюси*
- В *източника на електричен ток*, *страничните сили* пренасят положителните заряди от *отрицателния полюс* към *положителния*, при което извършват *работа* за сметка на *енергията на източника !*
- *Електродвижещо напрежение на източника* - отношението на *работата на страничните сили* за пренасяне на положителния заряд dq , от отрицателния до положителния полюс към големината на заряда
 - Единица за *електродвижещо напрежение* – *волт*

$$\varepsilon [V] = \frac{\delta A}{dq} \left[\frac{J}{C} \right]$$

Вътрешно съпротивление на източник

- Съпротивлението на *източниците* се нарича *вътрешно съпротивление* (отбелязва се с r)
 - *вътрешно съпротивление* на акумулатори ($0,001\Omega$ - $0,1\Omega$)
- Разглеждаме затворена електрична верига, включваща източник на ток с *електродвижещо напрежение* \mathcal{E} и *вътрешно съпротивление* r , както и консуматор със съпротивление R .



Закон на Ом за цялата верига

- *Работата на страничните сили при пренасяне на dq е:*

$$\delta A = \varepsilon d q = \varepsilon I d t$$

- *Количеството топлина отделено в цялата верига по закона на Джаул-Ленц е:*

$$\delta Q = I^2 R d t + I^2 r d t$$

- *Съгласно закона за запазване на енергията*

$$\delta A = \delta Q \Rightarrow \varepsilon = IR + Ir \Rightarrow I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

Закон на Ом за цялата верига

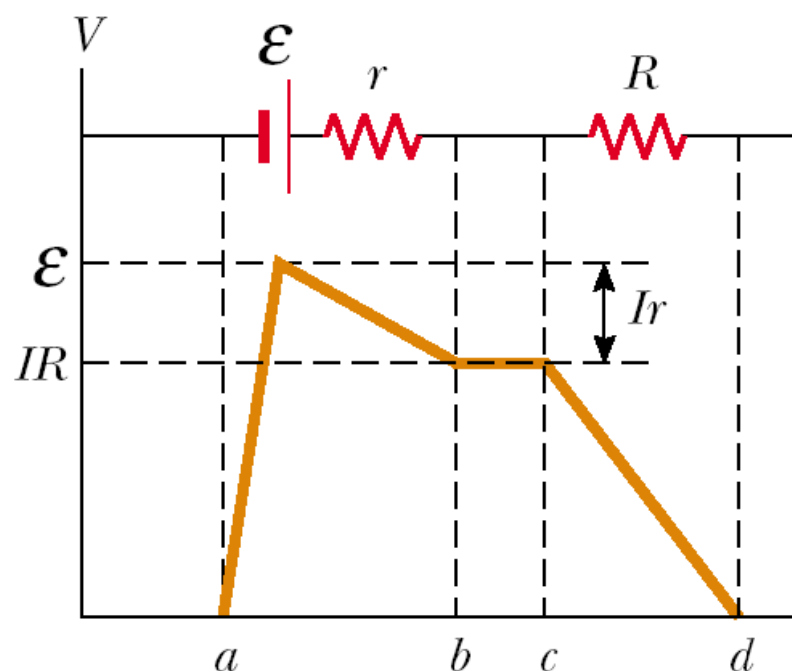
- Закон на Ом за цялата верига:

Токът в електрическа верига е равен на отношението на ЕДН на източника към пълното съпротивление на веригата:

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

- Пад на напрежение върху част от веригата – произведението на тока и съпротивлението.*
- Сумата от падовете на напрежение върху външната и вътрешната част на веригата е равен на ЕДН на източника*

$$\mathcal{E} = IR + Ir$$



Правила на Кирхоф за анализ на по-сложни вериги

- Възлова точка – точка в която електрическата верига се разклонява
- Първо правило (правило за възловата точка): *Сумата от токовете, които влизат в дадена възлова точка от една разклонена електрическа верига, е равна на сумата от токовете излизащи от същата точка.*
 - Следствие от закона за запазване на заряда
- Второ правило (правило за контура): *Алгебричната сума от падовете на напрежението на всички участъци от затворен токов контур е равна на алгебричната сума от ЕДН на всички източници на електрична енергия, включени в този контур.*
 - Следствие от закона за запазване на енергията