

ELEKTRICKÝ PROUD

ELEKTRICKÝ ODPOR (REZISTANCE)

REZISTIVITA

ELEKTRICKÝ PROUD

Jevem „Elektrický proud“ nazveme usměrněný pohyb elektrických nábojů.

Např.: - proud vodivostních elektronů v kovech

- pohyb nabitých částic obou znamének v ionizovaném plynu nebo v elektrolytech
- pohyb elektronů a děr v polovodičích

Směr proudu (dohoda) - směr pohybu nosičů **kladného** náboje
(ve skutečnosti jsou nosiči náboje elektrony)

Definice skalární veličiny **Elektrický proud**

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

náboj, který proteče průřezem vodiče za 1 s.

Za časový interval $\langle 0, t \rangle$
proteče průřezem vodiče náboj

$$Q = \int dQ = \int_0^t I dt$$

Obecně $I = I(t)$, je-li však $I = \text{konst}$ – stacionární (ustálený) proud

Jednotka proudu: 1 ampér, $[I] = 1A = 1C.s^{-1}$ (zákl. jednotka SI)

Proud je **skalární** veličina, avšak skalárem není

Hustota elektrického proudu

Hustota proudu je **vektorová veličina** (má směr i velikost)

Směr – stejný jako intenzita elektrického pole \vec{E}
(tj. směr pohybu kladného náboje)

Velikost – **definujeme** jako proud procházející jednotkovou plochou kolmou na směr tohoto proudu, tj. platí

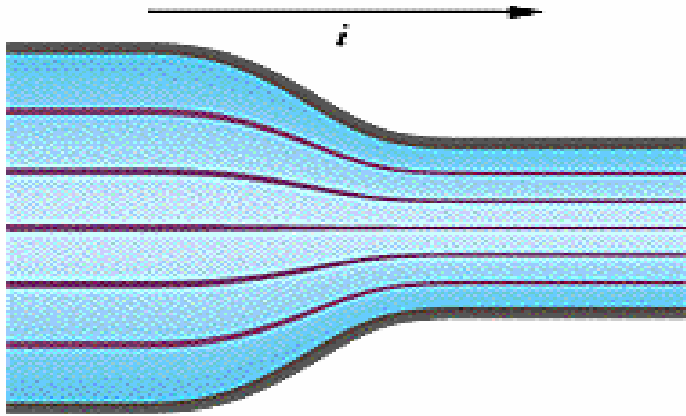
$$|\vec{J}| = \frac{dI}{dS}$$

Z uvedené definice plyne

$$dI = \vec{J} \cdot d\vec{S} \rightarrow I = \int dI = \int_{(S)} \vec{J} d\vec{S}$$

Jednotka $[\vec{J}] = 1 \text{ A}\cdot\text{m}^{-2}$

Proudové čáry — znázorňují průběh vektoru hustoty proudu



Procházející náboj a tedy ani procházející proud se při změně průřezu vodiče nemění

Proto - větší hustota proudových čar znamená větší hustotu proudu.

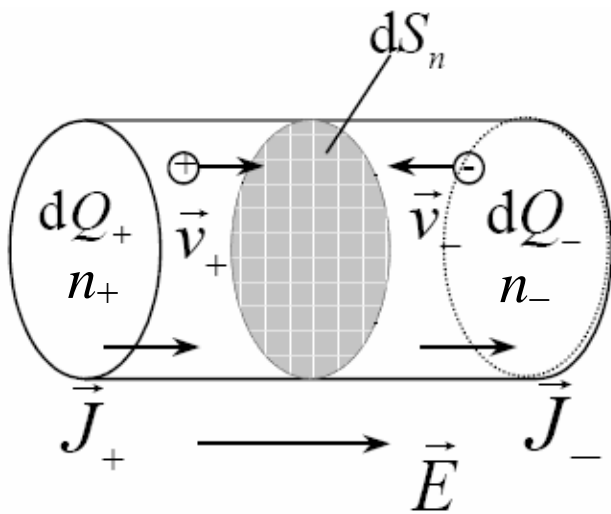
Tři mechanismy vzniku elektrického proudu:

- 1) **Kondukční (vodivý) proud**
- 2) **Konvekční proud**
- 3) **Maxwellův (posuvný) proud**

1) Kondukční (vodivý) proud

pohyb volných nábojů ve vodivém prostředí vyvolaný vnějším elektrickým polem

Jestliže vodičem prochází proud, pak **rychlost**, se kterou jsou unášeny volné náboje se nazývá **driftová rychlost** (v_d, v_+, v_-).



Koncentrace nosičů (počet / objemem) se značí n_+ a n_- .

Obecně platí $n_+ \neq n_-$, $v_+ \neq v_-$

(rovnost jen ve speciál. případech)

$$dQ_+ = \underbrace{(n_+ e)}_{\rho_+} dV_+ = \rho_+ \underbrace{dl_+}_{dS_n} = \rho_+ \underbrace{v_+ dt}_{v_+ dt} dS_n = \rho_+ v_+ dt dS_n$$

Poněvadž je $I = \frac{dQ}{dt}$ a $J = \frac{dI}{dS}$, dostáváme

$$\vec{J}_+ = \rho_+ \vec{v}_+$$

a podobně pro záporné nosiče $\vec{J}_- = \rho_- \vec{v}_-$

Platí: ❶ $\rho_+ = n_+ e > 0$, ❷ $\rho_- = n_- (-e) < 0$, ❸ $\vec{v}_+ \uparrow \downarrow \vec{v}_- \rightarrow \vec{J}_+ \uparrow \uparrow \vec{J}_-$

Pak je celková hustota proudu rovna součtu hustoty proudu kladných

i záporných nábojů $\vec{J} = \vec{J}_+ + \vec{J}_-$

2) Konvekční proud

Vzniká při makroskopickém pohybu nabitého **tělesa**

3) Maxwellův (posuvný) proud

Pohyb elektrických nábojů během polarizace dielektrika.

Maxwellův proud však není nutně spojen s přítomností dielektrika, vzniká vždy při *časové změně elektrického pole* .

Blíže to bude vysvětleno později u Maxwellových rovnic

Výsledná hustota proudu je rovna součtu všech tří proudů:
vodivého, konvekčního, Maxwellova

$$\vec{J} = \vec{J}_V + \vec{J}_K + \vec{J}_M$$

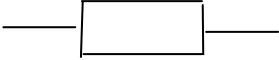
ODPOR A REZISTIVITA

Odpor (resistance)

je veličina, která charakterizuje možnost průchodu proudu určitou látkou mezi dvěma jejími body, na něž je přiloženo napětí

$$R = \frac{U}{I} \text{ (definice odporu } R) \text{ odkud platí tyto vztahy } I = \frac{U}{R}, U = R I$$

Jednotka: $[R] = 1 \Omega = 1 \text{V} \cdot \text{A}^{-1} = 1 \text{ ohm}$

Součástka, jejíž funkcí je vytvářet v elektrickém obvodu určitý odpor se nazývá **rezistor**, podle normy ISO se značí 

Veličina „odpor“ je integrální, tj. udává se pro konkrétní součástku nebo pro konkrétní uspořádání materiálu. Nemá tedy smysl mluvit o tom, že daný materiál má někde odpor R_1 a jinde odpor R_2 (viz dále rezistivita).

Vodivost (konduktance) – převrácená hodnota odporu

$$G = \frac{1}{R} \text{ Jednotka: } [G] = 1 \text{ S} = 1 \Omega^{-1} = 1 \text{ siemens}$$

Rezistivita (pro izotropní materiály)

Rezistivita charakterizuje **látku** z hlediska její schopnosti klást proudu odpor.

Je to veličina lokální, v neizotropních materiálech může být v různých částech daného materiálu obecně rozdílná.

V definici odporu nahradíme: $R \rightarrow \rho$, $U \rightarrow \vec{E}$, $I \rightarrow \vec{J}$

$$\rho = \frac{E}{J} \quad (\text{definice rezistivity})$$

$$\text{Jednotka: } [\rho] = \frac{[E]}{[J]} = \frac{\text{V}\cdot\text{m}^{-1}}{\text{A}\cdot\text{m}^{-2}} = \frac{\text{V}}{\text{A}}\text{m} = \Omega\cdot\text{m}.$$

$$\text{Vektorový tvar: } \vec{E} = \rho \vec{J}$$

Konduktivita

je definována jako převrácená hodnota rezistivity

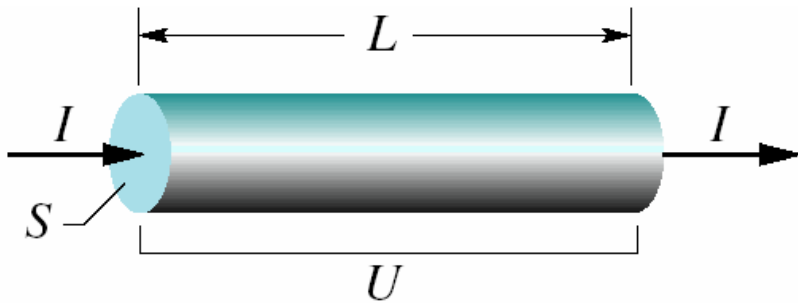
$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (\text{definice konduktivity})$$

$$\text{Jednotka: } [\sigma] = (\Omega\cdot\text{m})^{-1}.$$

$$\text{Vektorový tvar: } \vec{J} = \sigma \vec{E}$$

Výpočet odporu pomocí rezistivity

Odpor (neboli rezistance) je vlastnost objektu (vodiče, rezistoru). Rezistivita je vlastnost materiálu.



Napětí U přiložené mezi konce vodiče o délce L a průřezu S způsobí, že vodičem prochází proud I .

Bude-li elektrické pole a hustota proudu ve všech bodech uvnitř vodiče konstantní, bude platit: $U = E \cdot L$ a také $I = J \cdot S$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{E \cdot L}{J \cdot S} = \underbrace{\frac{E}{J}}_{\rho} \frac{L}{S} = \rho \frac{L}{S}$$

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

Vztah lze používat pouze pro **homogenní izotropní vodič konstantního průřezu**.

Hodnoty rezistivity pro některé materiály – viz HRW, str.700, tabulka 27.1)

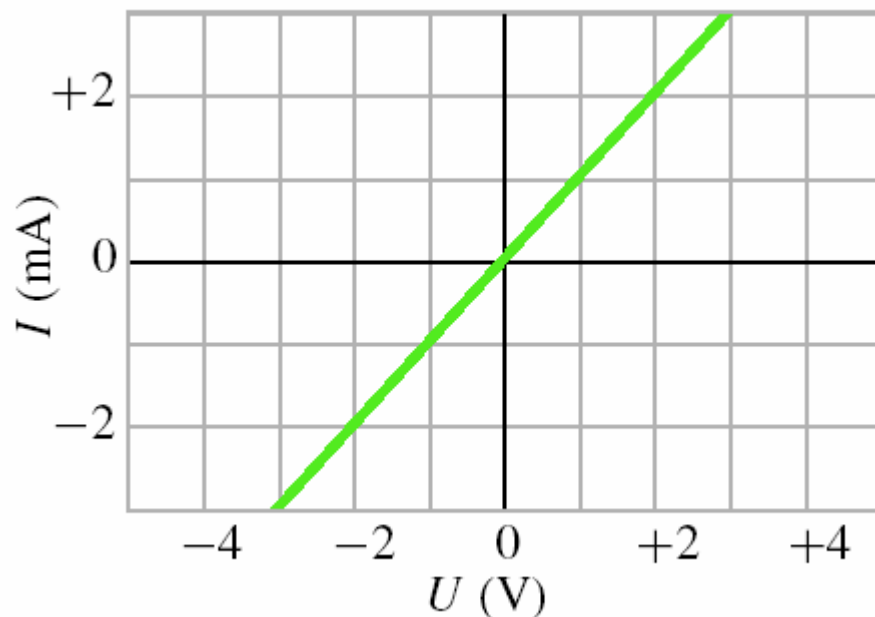
Ohmův zákon

Dnes je název **zákon** příliš silný. V době kdy byl formulován (pouze homogenní vodivé materiály, nejčastěji kovové) však povahu zákona měl.

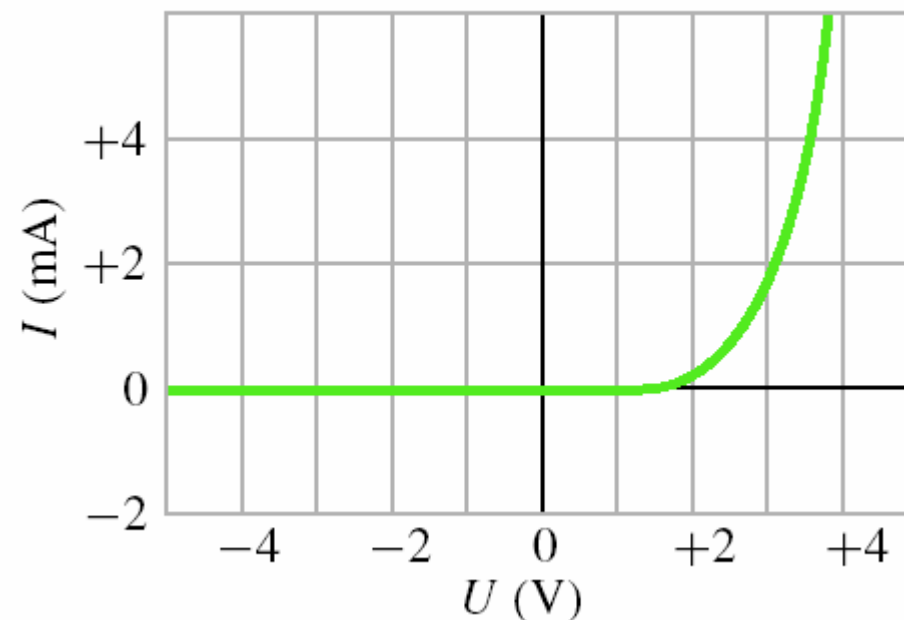
Odpor je vlastností součástky. Pro danou součástku je odpor konstantní a nezávisí na velikosti ani polaritě přiloženého napětí. Proud protékající součástkou je přiloženému napětí přímo úměrný. Pro popis situace lze použít vztahy: $R = \frac{U}{I}$, $I = \frac{U}{R}$, $U = RI$ při splnění podmínky $R = \text{konst.}$

Ohmův „zákon“ je splněn pouze pro součástky vyrobené z homogenních materiálů (vodivých i polovodivých) a navíc jen v určitých rozmezích přiložených napětí, či protékajících proudů.

Příklad: Součástka se protékajícím proudem zahřeje a odpor se začne měnit v závislosti na teplotě.



Součástka z homogenního materiálu – vodič i polovodič
Lineární součástka



Součástka z nehomogenního materiálu – polovodičová dioda s p-n přechodem.
Nelineární součástka

Pro součástky s proměnným odporem se zavádí

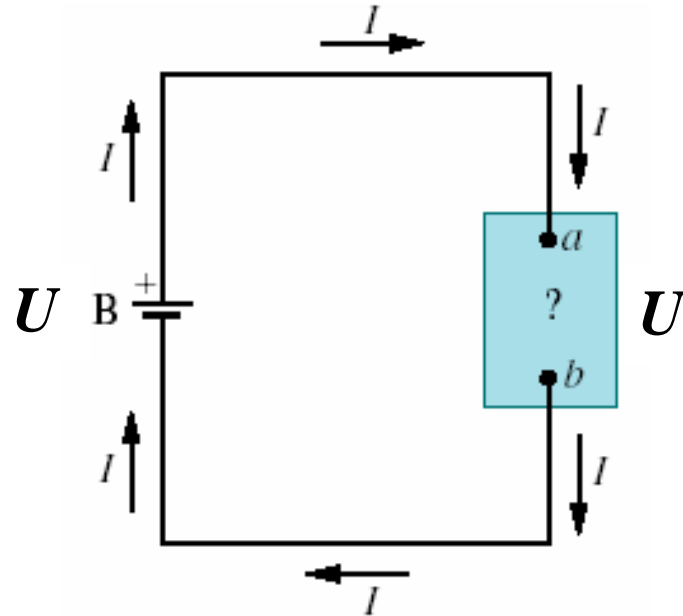
diferenciální odpor

$$R_d = \frac{dU}{dI}$$

Pouze u součástky, která se řídí Ohmovým zákonem je

$$R_d = R = U/I.$$

Výkon elektrického proudu



Napětí U na svorkách baterie je stejné jako napětí na svorkách součástky (spotřebiče).

Svorka a má vyšší potenciál než svorka b .

Napětí mezi body a, b je U

Práce, kterou vykonají síly elektrického pole při přenesení náboje dQ spotřebičem, je rovna poklesu elektrické potenciální energie

$$dW = dE_p = U dQ = U I dt$$

z předchozí strany $dW = dE_p = U dQ = UI dt$

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{dE_p}{dt} = UI$$

Výkon elektrického proudu
se definuje jako rychlost přenosu
elektrické energie.

Jednotka $[P] = 1W = 1 V.A$ (1 watt)

Je-li spotřebičem **rezistor** o odporu R , přemění se práce dW
v **Jouleovo teplo dQ_J** .

Rezistor zvyšuje teplotu a stává se zdrojem tepelného toku.

Tento nevratný proces se nazývá **disipace energie**.

(**Pozor.** Q_J zde znamená fyzikální veličinu **teplo**, nikoli elektrický náboj.)

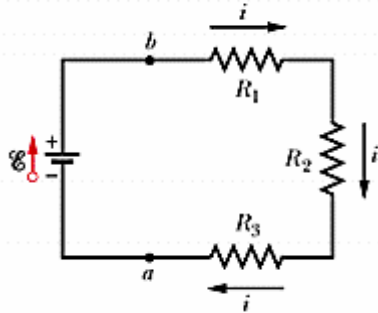
$$dQ_J = dW = UI dt = RI^2 dt = \frac{U^2}{R} dt$$

Disipovaný výkon — rychlost disipace energie rezistorem

$$P = \frac{dW}{dt} = RI^2 = \frac{U^2}{R}$$

Zapojení rezistorů

Sériové

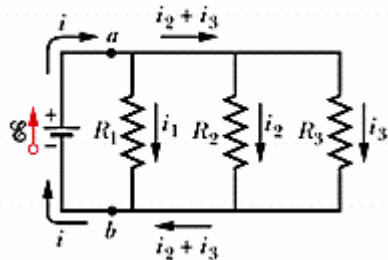


Rezistory teče **stejný proud**.

Celkové napětí je rovno součtu napětí na jednotlivých rezistorech

$$U = IR_1 + IR_2 + IR_3 \Rightarrow I = \frac{U}{\underbrace{R_1 + R_2 + R_3}_{R_S}} = \frac{U}{R_S} \rightarrow \boxed{R_S = R_1 + R_2 + R_3}$$

Paralelní



Na rezistorech je **stejné napětí**.

Celkový proud je roven součtu proudů jednotlivými rezistory

$$I_1 = \frac{U}{R_1}, I_2 = \frac{U}{R_2}, I_3 = \frac{U}{R_3}. \quad I = I_1 + I_2 + I_3 = U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) = \frac{U}{R_P} \rightarrow$$

$$\boxed{\frac{1}{R_P} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$