

## 15. Elektrický proud v kovech, obvody stejnosměrného elektrického proudu

1. Definice elektrického proudu
2. Jednoduchý elektrický obvod
  - a) Ohmův zákon pro část elektrického obvodu
  - b) Elektrický spotřebič
  - c) Vodiče a jejich odpor (závislý na geometrii a teplotě vodiče)
  - d) Ohmův zákon pro celý elektrický obvod
3. Složený elektrický obvod – řešení sítí (Kirchhoffovy zákony)
  - a) Využití Kirchhoffových zákonů
  - b) VA charakteristiky různých vodičů
4. Práce a výkon stejnosměrného proudu
5. Měření napětí a proudu (voltmetrem a ampérmetrem)
6. Zdroje napětí

Volné elektricky nabitě částice se v látkách pohybují neustále, avšak neuspořádaně.

Elektrický proud – dva významy:

1. jev uspořádaného pohybu elektricky nabitých částic
$$I = \frac{Q}{t}$$
2. fyzikální veličina
  - a) I ... elektrický proud v A (ampér)
  - b) Q ... elektrický náboj, který vodičem projde za čas t

Podmínky trvalého průchodu elektrického proudu obvodem:

- c) přítomnost volných nabitých částic (zajišťují vodiče)
- d) přítomnost trvalého elektrického pole (zajišťují zdroje napětí)
- e) uzavřený obvod

Dohodnutý směr proudu je směr pohybu kladně nabitě částice.

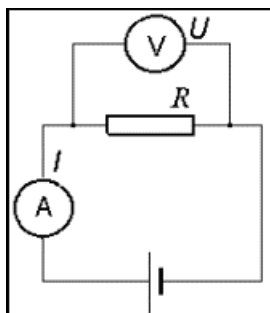
Zdroj napětí je zařízení, mezi jehož póly je trvale udržováno neelektrickými silami uvnitř zdroje elektrické napětí (tzn. určitý druh energie se ve zdroji mění na energii elektrickou).

Elektrický spotřebič – zařízení přeměňující elektrickou energii na jiný druh energie.

Vodiče – slouží k propojení zdroje a spotřebiče. Jejich odpor R je způsoben srážkami vodivostních elektronů s ionty krystalické mřížky.

**Jednoduchý elektrický obvod:**

Skládá se ze zdroje elektrického napětí a spotřebiče. Proud v obvodu měříme ampérmetrem, napětí na spotřebiči voltmetrem:



Poměry v obvodu charakterizuje Ohmův zákon.

**Ohmův zákon pro část elektrického obvodu** říká, že proud vodičem je přímo úměrný napětí na koncích vodiče.

$$I = \text{konst.} \cdot U$$

Konstantou úměrnosti je elektrická vodivost  $G$ , jejíž jednotkou je siemens –  $[G] = S$ .

**Převrácenou hodnotou vodivosti je elektrický odpor  $R$** , jehož jednotkou je ohm.  $[R] = \Omega$ .

Elektrický odpor vodiče závisí na:

- na geometrických rozměrech a materiálu
- na materiálu, z něhož je vodič vyroben

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

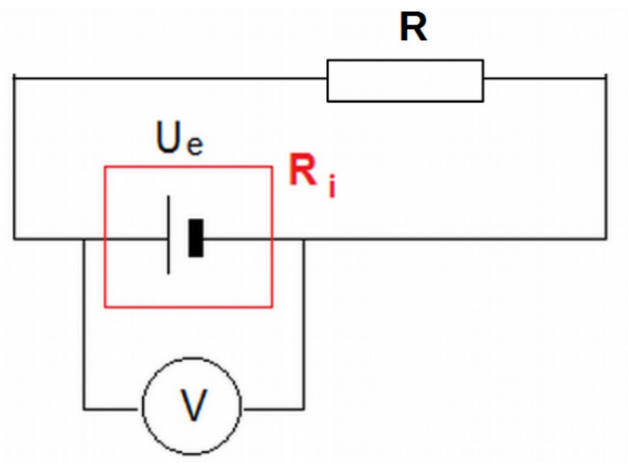
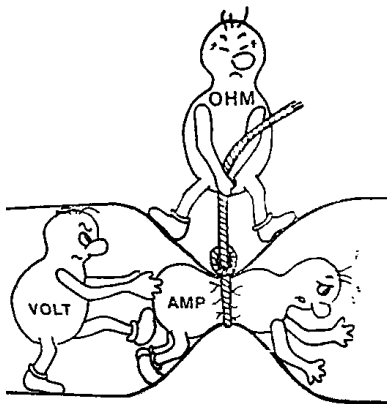
- $\rho$  je rezistivita (měrný odpor) – jednotkou je  $\Omega \cdot m$
- $l$  je délka vodiče (v metrech)
- $S$  průřez vodiče (v  $m^2$ )

- na teplotě :

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

- $R$  ... odpor vodiče po změně teploty
- $R_0$  ... počáteční odpor vodiče (někdy též odpor vodiče při teplotě  $0^\circ C$ )
- $\alpha$  ... teplotní součinitel elektrického odporu

*Pozn. Supravodivost je jev náhlého poklesu odporu látky na téměř nulovou hodnotu. Některé materiály vykazují supravodivost pouze při extrémně nízkých teplotách (např. objev jevu v roce 1911 – rtuť ... 4,2K), existují však materiály, které jsou supravodivé i při pokojové teplotě.*



Ohmův zákon pro část obvodu má tedy tvar:

Pozn. Vodiče, pro něž Ohmův zákon platí, jsou tzv. lineární vodiče. Ostatní – nelineární (například polovodiče).

Jestliže použijeme Ohmův zákon pro celý obvod, je třeba si uvědomit, že vztahy mezi odpory, proudem a napětím jsou „stejné“. Jen je potřeba nezapomenout na žádný rezistor! Ani na vnitřní odpor zdroje!

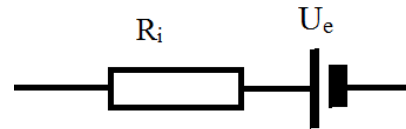
$$I = \frac{U_e}{R + R_i}$$

Ohmův zákon pro uzavřený obvod

Elektromotorické napětí zdroje:  $U_e = I \cdot R + I \cdot R_i = U + I \cdot R_i$

- A)  $R$  – vnější odpor (v  $\Omega$ )
- B)  $R_i$  – vnitřní odpor zdroje (v  $\Omega$ )
- C)  $U_e$  – elektromotorické napětí (napětí na nezátíženém zdroji – na zdroji, ke kterému není připojen žádný spotřebič) – ve voltech
- D)  $U$  – svorkové napětí (napětí, které naměříme na svorkách zdroje připojeného k nějakému obvodu (spotřebiči)) – ve voltech

Pro zdroj někdy volíme tzv. náhradní schéma zdroje:



*Pozn.1* Je-li  $R \gg R_i$ , lze považovat  $U \approx U_e$  (měření elektromotorického napětí voltmetrem).

$$I_{max} = \frac{U_e}{R_i}$$

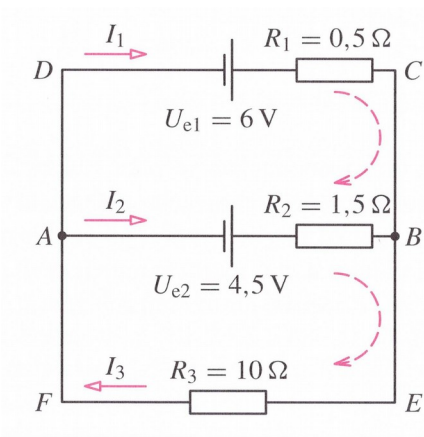
*Pozn.2* Je-li  $R \approx 0\Omega$ , pak  $U \approx 0V$ , proud dosáhne max. hodnoty (zkratový proud)

**Složený elektrický obvod** (elektrická síť) obsahuje:

- uzly (vodivé spojení minimálně tří vodičů)
- větve (vodivé spojení sousedních uzlů)
- smyčky

Poměry v něm charakterizují Kirchhoffovy zákony:

1. Kirchhoffův zákon: Algebraický součet proudů v uzlu je roven nule ...  $\sum I_k = 0$ . (Lidově řečeno – kolik proudu do uzlu vteče, tolik z něj musí vytect)
2. Kirchhoffův zákon: Součet elektromotorických napětí zdrojů ve smyčce je roven součtu ohmických napětí na spotřebičích:  $\sum U_e = \sum R_k \cdot I_k$ .



V obrázku jsou uvedeny hodnoty elektromotorických napětí a hodnoty proudů. Nalezněte velikosti proudů ve smyčkách.

Postup:

1. Označíme si směr růstu potenciálu ve zdrojích. Ten je vždy od záporného pólu ke kladnému.
2. Zvolíme směr proudů v uzlu. Na obrázku jsou uzly dva, ale rovnice, které z nich vzejdou, by byly lineárně závislé (jedna by byla obměnou té druhé). Směry můžeme zvolit libovolně. Například proud,

který vchází do uzlu může být  $I_3$  a proudy jdoucí z uzlu mohou být ty zbylé – tedy  $I_2$  a  $I_1$ .

3. Označíme tzv. „směr obíhání“. Ten lze volit libovolně. (vlastně udává znaménka v následujících rovnicích)

4. Napíšeme rovnice obou Kirchhoffových zákonů:

a) První Kirchhoffův zákon – součet proudů:

$$I_1 + I_2 = I_3$$

b) Druhý Kirchhoffův zákon – součet napětí ve smyčkách (smyčky jsou v obvodu tři – ABCD, ABEF, DCEF. Ale jsou lineárně závislé – „šikovně“ sečtené rovnice dvou smyček dávají dohromady rovnici ke třetí smyčce.

$$U_{e1} - U_{e2} = R_1 \cdot I_1 + R_2 \cdot I_2$$

$$U_{e2} = R_2 \cdot I_2 + R_3 \cdot I_3$$

Soustavu rovnic vyřešíme:

$$I_1 + I_2 = I_3$$

$$6 - 4,5 = 0,5I_1 - 1,5I_2$$

$$4,5 = 1,5I_2 + 10I_3$$

$$I_1 = \frac{96}{83} A, I_2 = -\frac{51}{83} A, I_3 = \frac{45}{83} A$$

Výsledkem jsou proudy

Záporné znaménko u proudu  $I_2$  znamená, že proud  $I_2$  teče opačným směrem než je v obrázku označeno. K obrázku už se ale nevracíme a neopravujeme jej. Je ale třeba skutečnost popsat např. v odpovědích příkladů.

Podrobné vysvětlení Kirchhoffových zákonů na konkrétních příkladech je velmi podrobně ukázáno i zde:

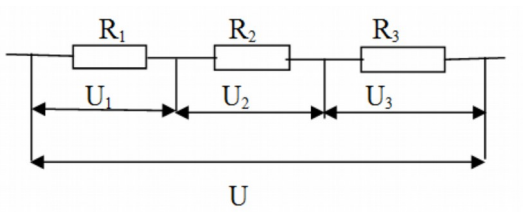
<http://www.realisticky.cz/ucebnice/02%20Fyzika%20S%C5%A0/04%20Elekt%C5%99ina%20a%20magnetismus/02%20Elektrick%C3%BD%20proud/18%20Kirchhoffovy%20z%C3%A1kony.pdf>

<http://www.realisticky.cz/ucebnice/02%20Fyzika%20S%C5%A0/04%20Elekt%C5%99ina%20a%20magnetismus/02%20Elektrick%C3%BD%20proud/19%20%C5%98e%C5%A1en%C3%AD%20elektrick%C3%BDch%20s%C3%ADt%C3%AD%20pomoc%C3%AD%20Kirchhoffov%C3%BDch%20z%C3%A1kon%C5%AF.pdf>

Aplikace a důsledky Kirchhoffových zákonů:

1) spojování rezistorů

a) sériově

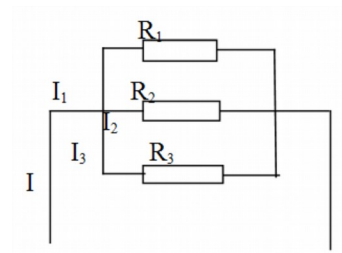


$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

$$U : U_1 : U_2 : U_3 = R : R_1 : R_2 : R_3$$

b) paralelně



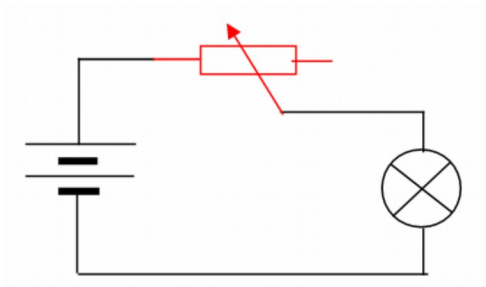
$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

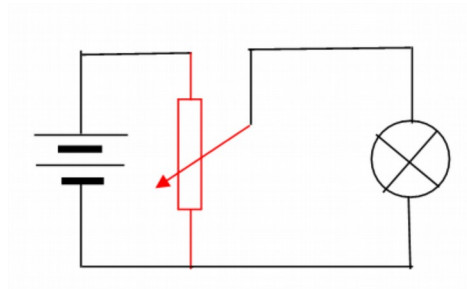
$$I : I_1 : I_2 : I_3 = \frac{1}{R} : \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3}$$

## 2) regulace napětí a proudu reostatem

a) reostat

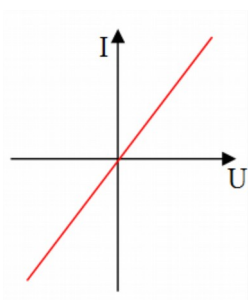


b) potenciometr

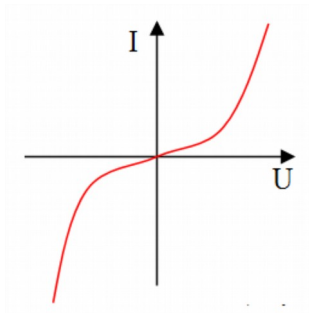


### Voltampérové charakteristiky různých vodičů:

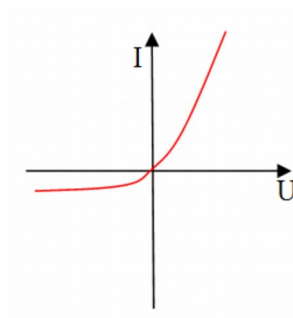
a) lineární prvek



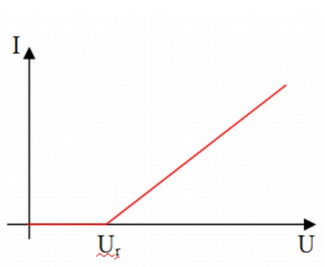
b) nelineární souměrný prvek  
(např. termistor)



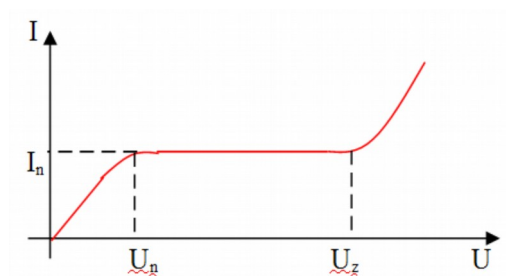
c) nelineární nesouměrný prvek  
(např. polovodičová dioda)



d) elektrolyt



e) plyn



Zdroje napětí – dělí se podle hodnoty vnitřního odporu na

- a) tvrdé – s nepatrným vnitřním odporem (např. olověná akumulátorová baterie s  $R_i \sim 10^{-2} \Omega$ )
- b) měkké – s větším vnitřním odporem (např. plochá baterie s  $R_i \sim 1 \Omega$ )

Práce stejnosměrného proudu v obvodu:

V elektrickém spotřebiči se mění elektrická energie na jiné druhy energie (př. elektromotor, tepelný spotřebič, žárovka, ...).

Práce elektrického pole na přemístění náboje  $Q$  za dobu  $t$  je

$$W = U \cdot Q = U \cdot I \cdot t = R \cdot I^2 \cdot t = \frac{U^2 \cdot t}{R},$$

kde  $R$  je celkový odpor vnější části obvodu.

Dochází-li pouze k přeměně elektrické energie na teplo, platí:

$$Q_t = U \cdot Q = U \cdot I \cdot t = R I^2 \cdot t = \frac{U^2 \cdot t}{R}$$

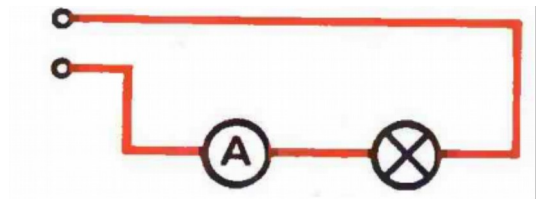
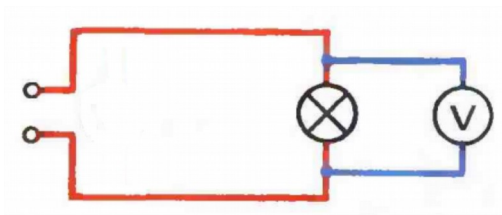
Toto teplo se nazývá Jouleovo teplo a uvedený vztah je Joule-Lenzův zákon.

Výkon konstantního proudu

$$P = \frac{W}{t} = U \cdot I = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R}$$

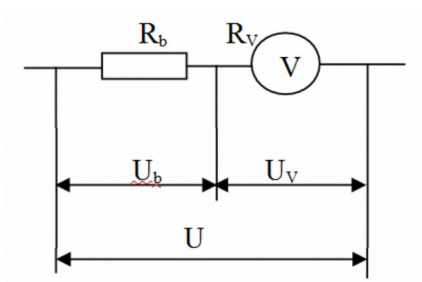
Měření napětí a proudu:

- 1) napětí – voltmetr (velký vnitřní odpor) - paralelní zapojení
- 2) proud – ampérmetr (malý vnitřní odpor) - sériové zapojení



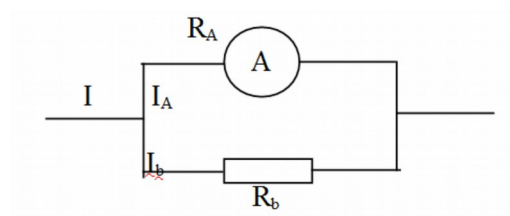
Zvětšení rozsahu

a) voltmetru



$$U_b = (n - 1) \cdot U_v$$

b) ampérmetru



$$I_b = (n - 1) \cdot I_A$$

Má-li být  $U = n \cdot U_V$ , musí platit:

$$R_b = (n - 1) \cdot R_V$$

Má-li být  $I = n \cdot I_A$ , musí platit:

$$R_b = \frac{R_A}{n - 1}$$

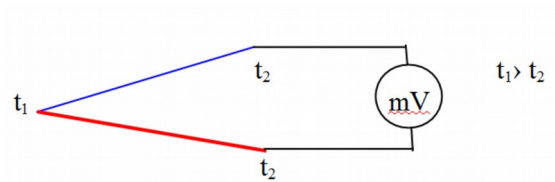
Pozn. Princip galvanometru

Příloha:

### Zdroje elektrického napětí

Příklady zdrojů:

- chemické (galvanické články, akumulátory)
- termoelektrické (využívají termoelektrický jev - napětí na spoji dvou různých kovů závisí na teplotě spojeného místa – termočlánek (měření teploty))



- fotočlánky (využívají např. vnitřní fotoelektrický jev – vznik napětí na elektrodách osvětlené fotodiody)
- mechanické (generátory)