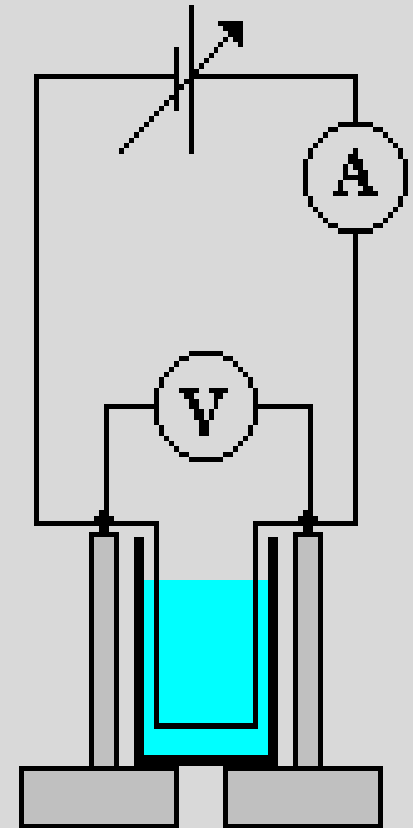
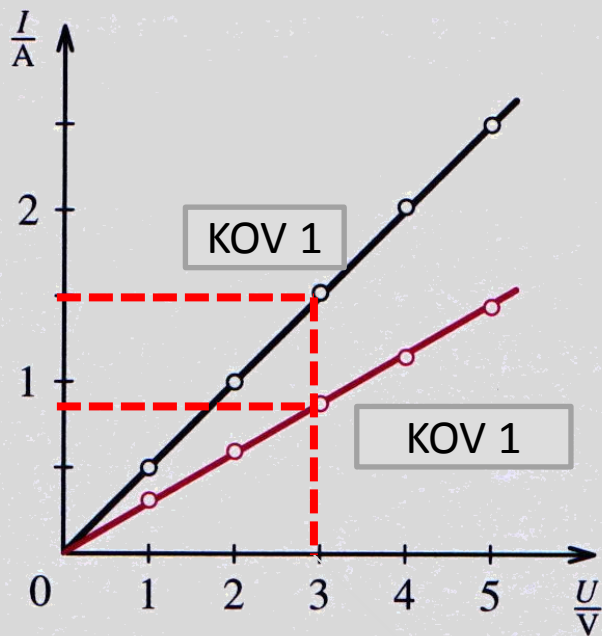


# 3. ELEKTRICKÝ PROUD V KOVECH

# 3. 1. ELEKTRICKÝ ODPOR KOVOVÉHO VODIČE, OHMŮV ZÁKON PRO ČÁST OBVODU

- v kovech je elektrický proud tvořen usměrněným pohybem elektronů
- regulovatelný zdroj  $U$
- vodič je ochlazován, (destilovaná voda, olej) teplota se během pokusu nemění
- napětí zdroje zvětšujeme
- proud je přímo úměrný napětí  $I \sim U$





## Voltampérová charakteristika graf závislosti $I$ na $U$ (při konstantní teplotě)

$$U_1 = U_2$$

$$I_1 > I_2$$

$$R_1 < R_2$$

## Ohmův zákon 1826 – Georg Simon Ohm

Pokud má kovový vodič stálou teplotu,  
je proud procházející vodičem  
přímo úměrný napětí mezi konci vodiče.

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

**Elektrický odpor  
(resistance) R**

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

$$[R] = V \cdot A^{-1} = \Omega$$

**ohm**

**Elektrická vodivost  
G**

$$G = \frac{I}{U} = \frac{1}{R}$$

$$[G] = A \cdot V^{-1} = S$$

**siemens**

**Elektrický odpor R** je závislý na:

materiálu  $\rho$  (MFCHT)

délce vodiče  $l$

průřezu vodiče  $S$ .

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

**$\rho$**  – měrný elektrický odpor  
(rezistivita)

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

$$[\rho] = \Omega \cdot m$$

**$\chi$**  – měrná elektrická vodivost  
(konduktivita)

$$\chi = \frac{1}{\rho}$$

$$\chi = \Omega^{-1} \cdot m^{-1}$$

$$\chi = S \cdot m^{-1}$$

## 3. 2. ZÁVISLOST ODPORU KOVOVÉHO VODIČE NA TEPLOTĚ

$\alpha$  **teplotní součinitel elektrického odporu**  $[\alpha] = \text{K}^{-1}$

$R$  odpor při teplotě  $t$

$R_1$  odpor při teplotě  $t_1$

Odpor i měrný elektrický odpor roste s rostoucí teplotou lineárně.

$$R = R_1 (1 + \alpha \Delta t)$$

$$\rho = \rho_1 (1 + \alpha \Delta t)$$

$$\Delta t = t - t_1$$

Při velmi nízkých teplotách  $T \rightarrow 0 \text{ K}$

klesá odpor některých látek (Hg) na neměřitelnou hodnotu.

Tento jev se nazývá **supravodivost**.

### 3. 3. MODEL VEDENÍ ELEKTRICKÉHO PROUDU V KOVOVÉM VODIČI

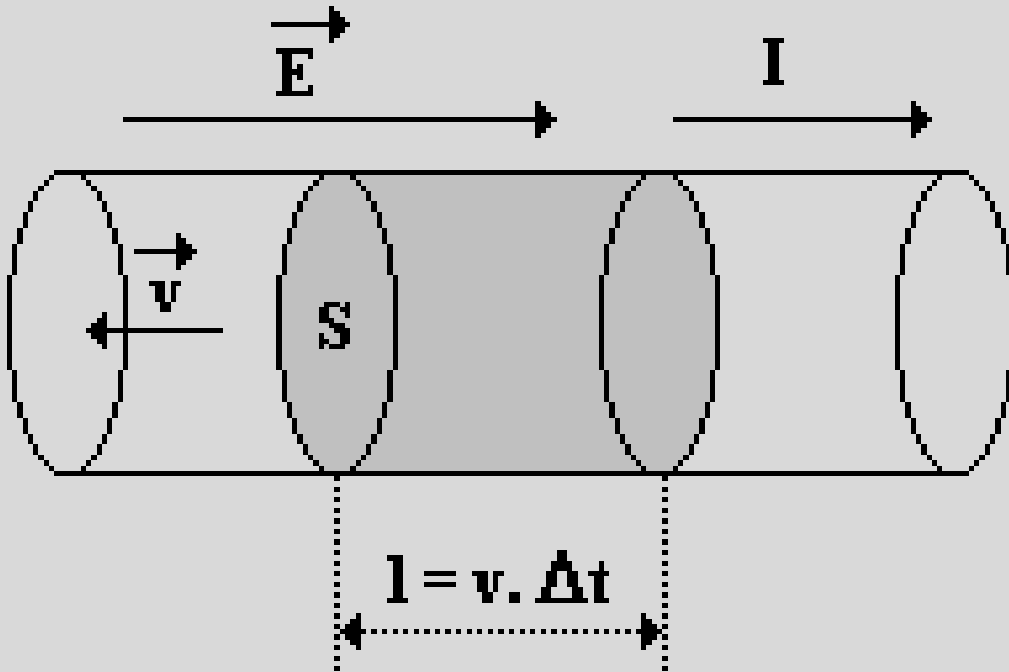
- **Elektronová vodivost** kovů je vlastnost kovů vést elektrický proud prostřednictvím volných elektronů.
- **Vodivostní elektrony** jsou volné elektrony, které se chaoticky pohybují mezi + ionty krystalové mřížky (tzv. elektronový plyn), střední rychlost je  $10^5 - 10^6 \text{ m.s}^{-1}$ .
- **Unášivý pohyb** vodivostních elektronů nastává, připojíme-li kovový vodič ke zdroji el. napětí. Unášivá (driftová) rychlost je velmi malá  $1 \text{ mms}^{-1}$ .
- Nepravidelnosti krystalické mřížky brzdí uspořádaný pohyb elektronů a projevují se navenek jako odpor vodiče.

Na každý elektron působí elektrická síla:

$$\vec{F}_e = -e\vec{E}$$

Hustota vodivostních elektronů:

$$N_V = \frac{N}{V} \Rightarrow N = N_V \cdot V$$



$$N_V = \frac{N\rho}{m} = \frac{N\rho}{NA_r m_u} = \frac{\rho}{A_r m_u}$$

$$\Delta Q = N \cdot e$$

$$\Delta Q = N_V \cdot V \cdot e$$

$$\Delta Q = N_V \cdot S \cdot l \cdot e$$

$$\Delta Q = N_V \cdot S \cdot v \cdot \Delta t \cdot e$$

Skutečnost, že po zapnutí vypínače se okamžitě rozsvítí žárovka, je způsobena tím, že se elektrony začnou pohybovat všechny najednou.

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = N_V \cdot S \cdot v \cdot e$$



Počet vodivostních elektronů je srovnatelný s počtem atomů.

Př.: měď

$$N_V = \frac{\rho_{Cu}}{A_r m_u} = \frac{8930}{63,5 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27}} = 8,5 \cdot 10^{28} m^{-3}$$

Proudová hustota:

$$\frac{I}{S} = 2,5 A \cdot mm^{-2} = 2,5 \cdot 10^{-6} A \cdot m^{-2}$$

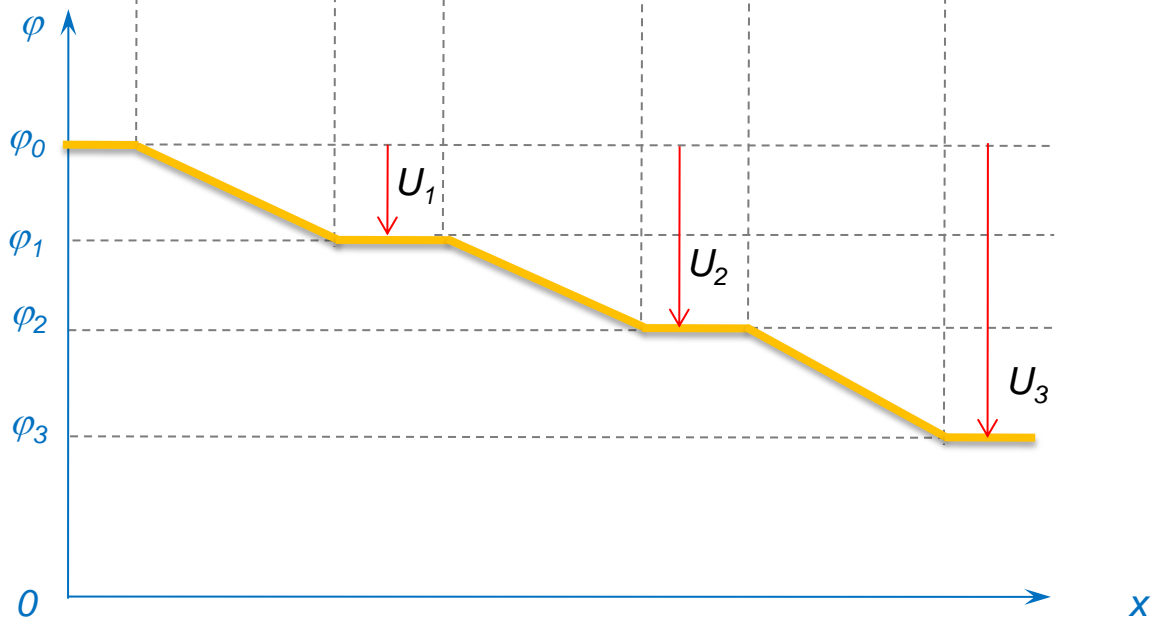
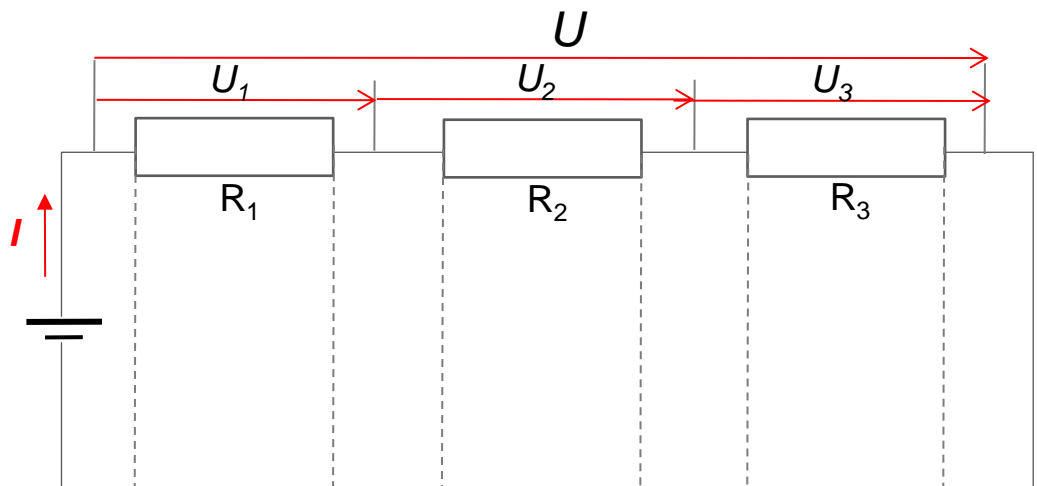
$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = N_V \cdot S \cdot v \cdot e \Rightarrow$$

$$v = \frac{I}{N_V \cdot S \cdot e} = \frac{I}{S} \cdot \frac{1}{N_V \cdot e}$$

$$v = 2,5 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{8,5 \cdot 10^{28} \cdot 1,602 \cdot 10^{-27}} m \cdot s^{-1}$$

$$v = 1,8 \cdot 10^{-4} m \cdot s^{-1}$$

# 3. 4. SPOJOVÁNÍ REZISTORŮ - Sériové zapojení



### 3. 4. SPOJOVÁNÍ REZISTORŮ

- všemi odpory prochází stejný proud  $I$
- celkové napětí je rovno součtu jednotlivých napětí

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

$$RI = R_1I + R_2I + R_3I$$

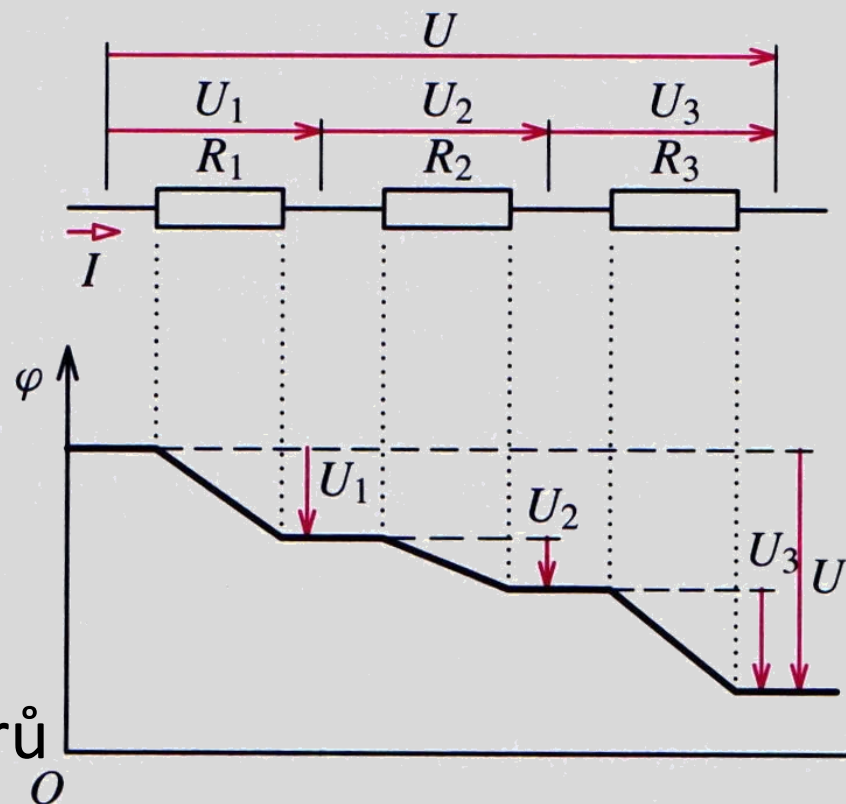
$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

- celkové napětí se rozdělí v poměru jednotlivých odporů

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

- na rezistorech dochází k poklesu elektrického potenciálu

#### Sériové zapojení



- na všech odporech je stejné napětí
- celkový proud je roven součtu proudů procházejících rezistory

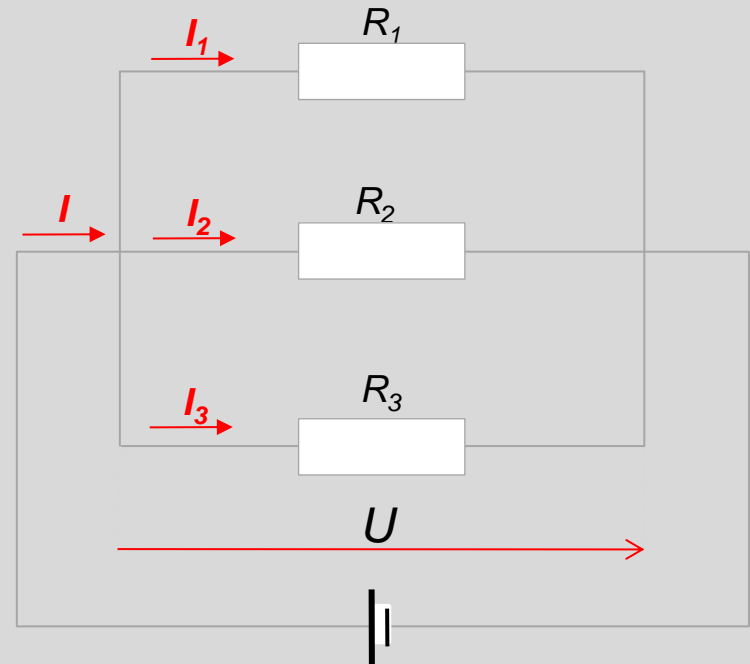
$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

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

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

- celkový proud se rozdělí v obráceném poměru jednotlivých odporů

## Paralelní zapojení



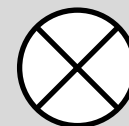
$$I : I_1 : I_2 : I_3 = \frac{1}{R} : \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3}$$



vodič



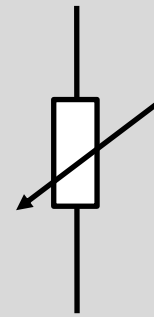
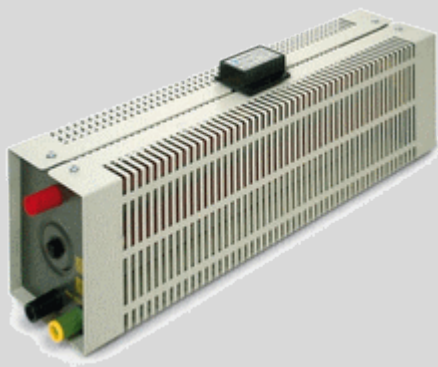
žárovka



rezistor - pasivní  
elektrotechnická  
součástka



reostat, potenciometr



## Př.1: Paralelní zapojení

$$R_1 = 40 \, \Omega$$

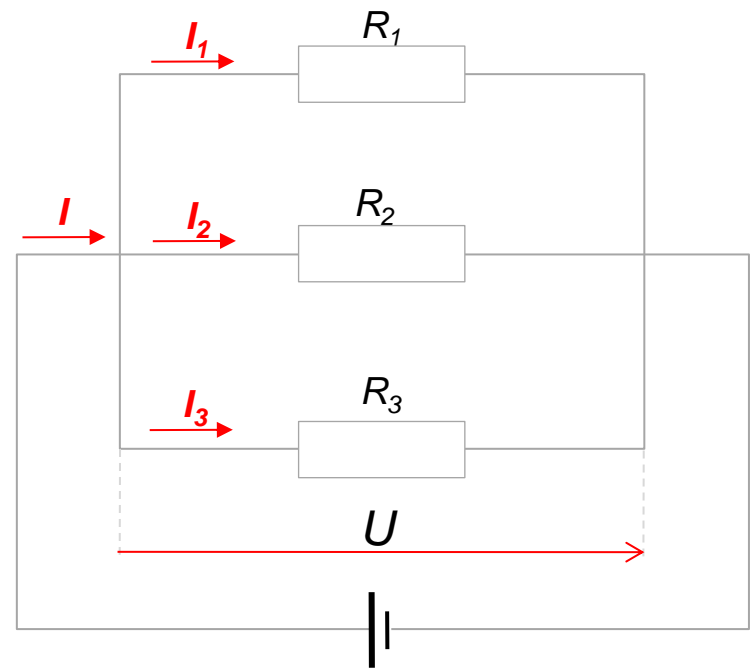
$$R_2 = 50 \, \Omega$$

$$R_3 = 20 \, \Omega$$

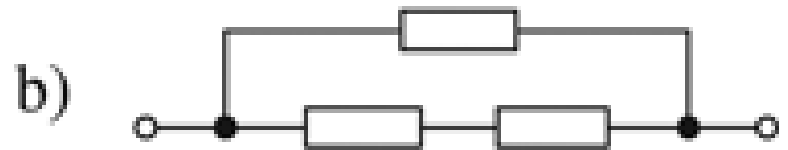
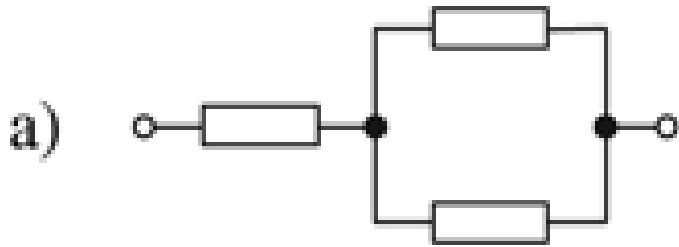
$$U = 20 \, \text{V}$$

1. vyznačte směry proudů
2. vypočítejte celkový odpor
3. určete jaké napětí je na rezistoru č. 1, 2, 3
4. určete, jaký proud protéká rezistorem č. 1, 2, 3

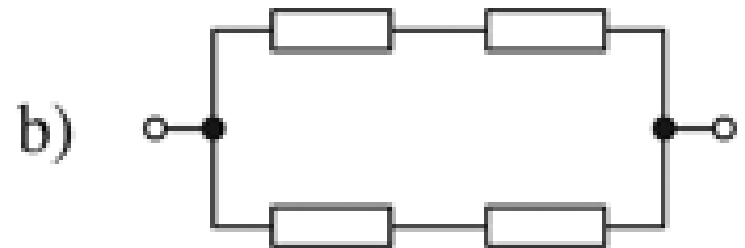
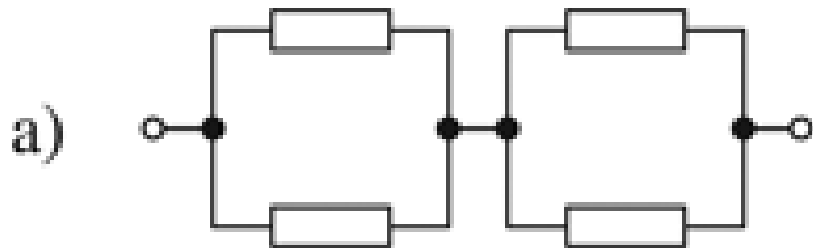
## Př. 2: Sériové zapojení



**5.139** Tři stejné rezistory jsou spojeny dvojím způsobem.  
Určete odpory obvodů.

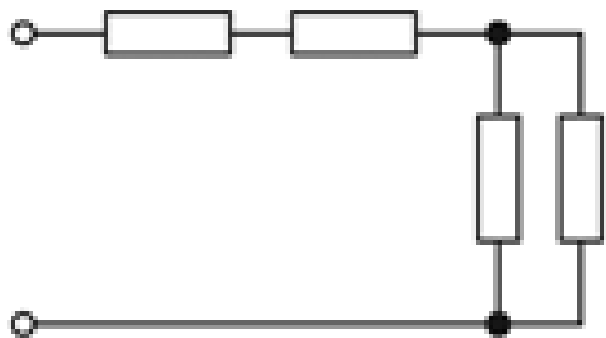


**5.140** Čtyři stejné rezistory jsou spojeny dvojím způsobem.  
Určete odpory obvodů.

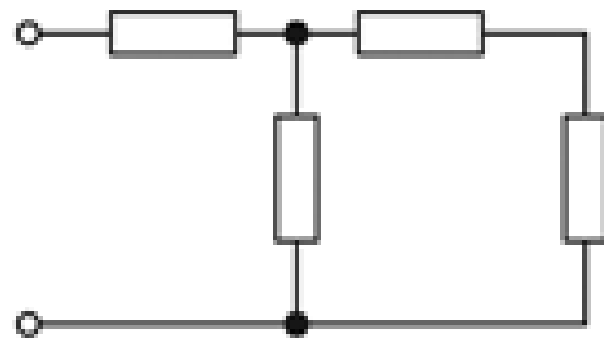


**5.141** Čtyři stejné rezistory jsou spojeny dvojím způsobem.  
Určete, při kterém spojení má obvod větší celkový odpor.

A)

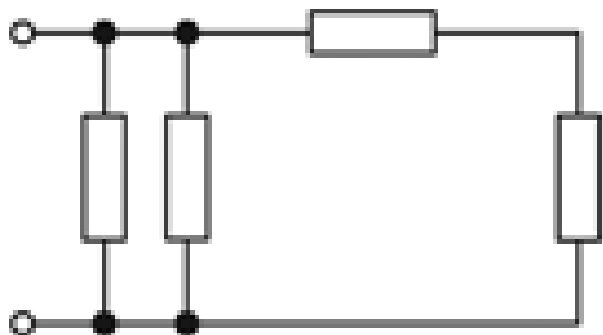


b)

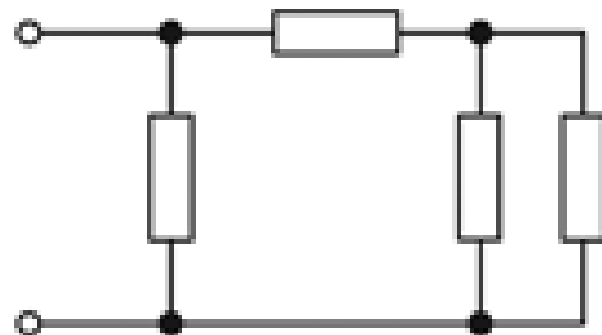


B)

a)



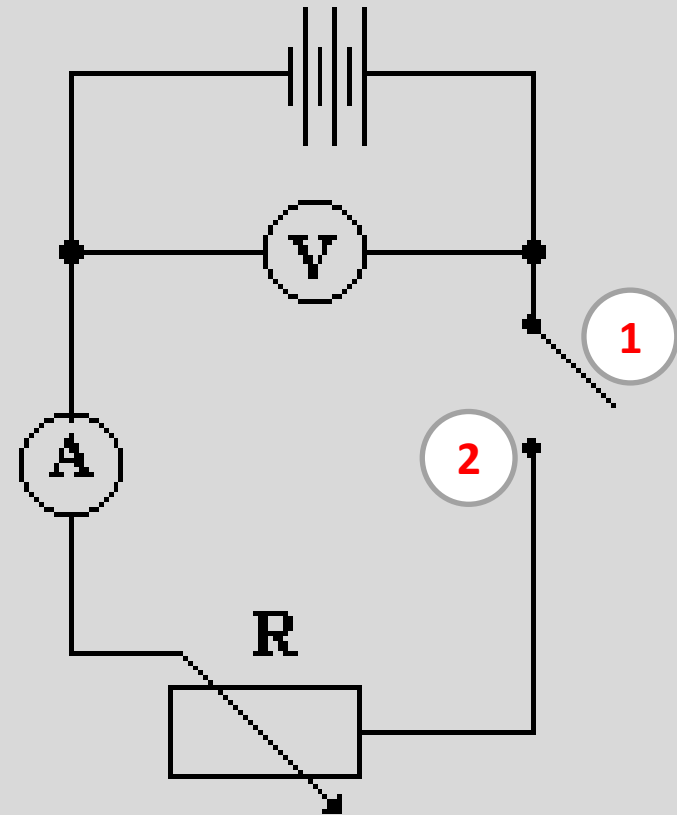
b)





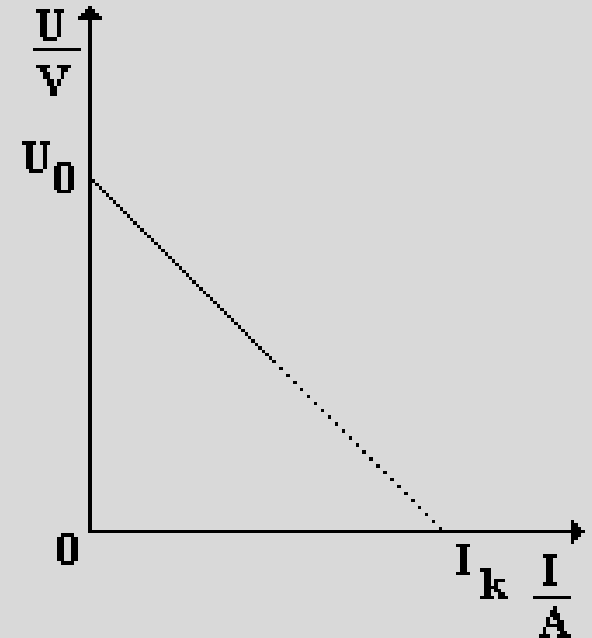
### 3. 5. ZATĚŽOVACÍ CHARAKTERISTIKA ZDROJE, OHMŮV ZÁKON PRO UZAVŘENÝ OBVOD

1. na odpojeném nezatíženém zdroji naměříme elektromotorické napětí  $U_e = U_0$
  2. na zatíženém zdroji naměříme svorkové napětí  $U$
- zmenšováním odporu  $R$  na reostatu zvětšujeme proud v obvodu
  - měříme svorkové napětí



## zatěžovací charakteristika zdroje

- graf závislosti  
svorkového napětí  
na odebíraném proudu
- má lineární průběh



## Baterie se chová jako by byla složena

- z ideálního zdroje s konstantním napětím  $U_e$
- z rezistoru o odporu  $R_i$ , tzv. vnitřní odpor zdroje.

Úbytek napětí

na vnitřním odporu je  $U_e - U = R_i I$

Pro elektromotorické napětí

$$\begin{aligned}U_e &= U + R_i I \\U_e &= RI + R_i I \\U_e &= (R + R_i) I\end{aligned}$$

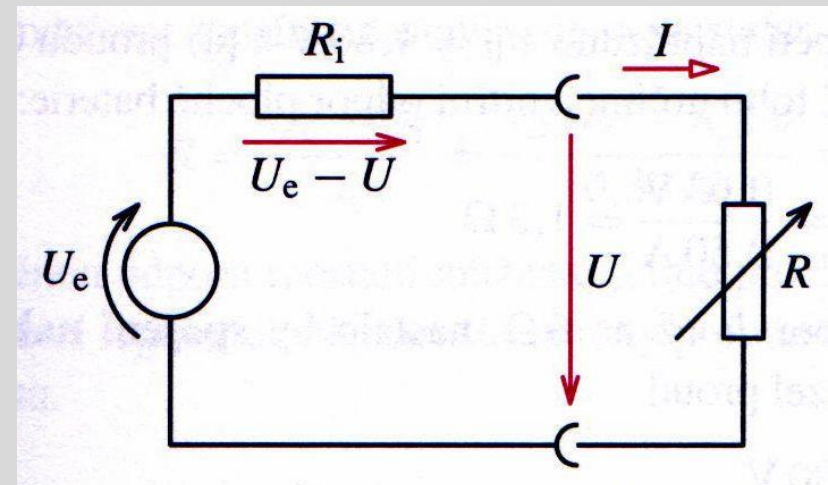
Uzavřený elektrický obvod se skládá z

- **vnější části** (rezistory, vodiče, spotřebiče) s vnějším odporem **R**
- **vnitřní části** (vodivý prostor mezi póly uvnitř zdroje) s vnitřním odporem **R<sub>i</sub>**

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

## Ohmův zákon pro uzavřený obvod

Proud v uzavřeném obvodu je roven podílu elektromotorického napětí a celkového odporu  $R + R_i$ .



## Spojení nakrátko (zkrat)

spojení svorek přímo

$$U_e - U = R_i I$$

$$U_e - RI = R_i I$$

$R_i$  – je malé

$$R = 0 \Rightarrow U = 0$$

$I_z$  – zkratový proud  
je velmi velký

$$U_e = R_i I$$

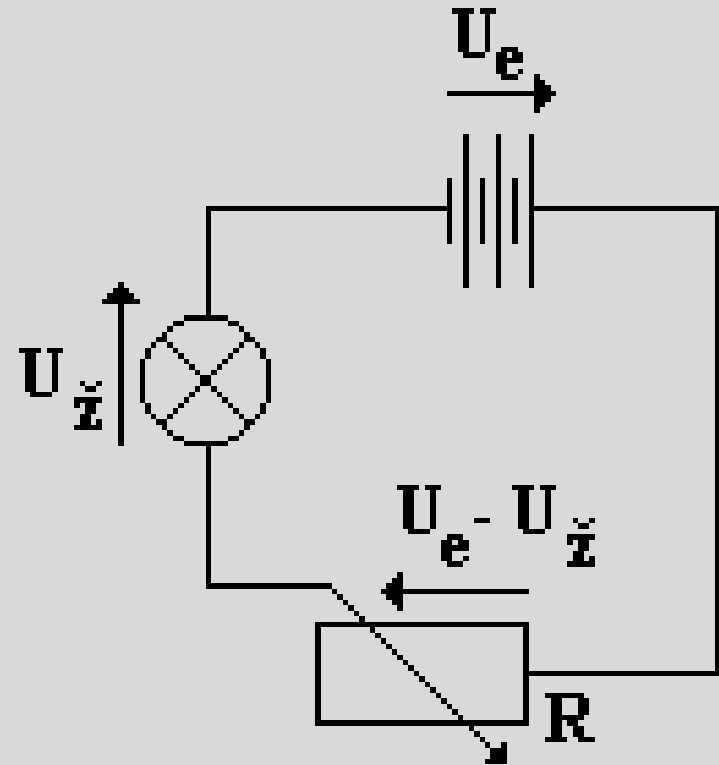
$$I_z = \frac{U_e}{R_i}$$

**Pojistky a jističe** při zkratu, tedy při překročení určité hodnoty proudu, přeruší obvod.

## 3. 6. SÉRIOVĚ A PARALELNĚ SPOJENÉ OBVODY

### Regulace proudu a napětí reostatem

- zapojujeme ho se spotřebičem sériově jedním koncem pevného vodiče a jezdcem
- změnou odporu reostatu regulujeme proud procházející obvodem
- nejmenších hodnot proudu dosáhneme při plném odporu reostatu
- proud procházející žárovkou



$$I = \frac{U_e - U_{\text{ž}}}{R}$$

# Regulace proudu a napětí potenciometrem

- **Potenciometrem** lze regulovat napětí na spotřebiči od nulové hodnoty.
- Obvod je kombinací sériového a paralelního spojení rezistorů.
- Celkový odpor potenciometru je

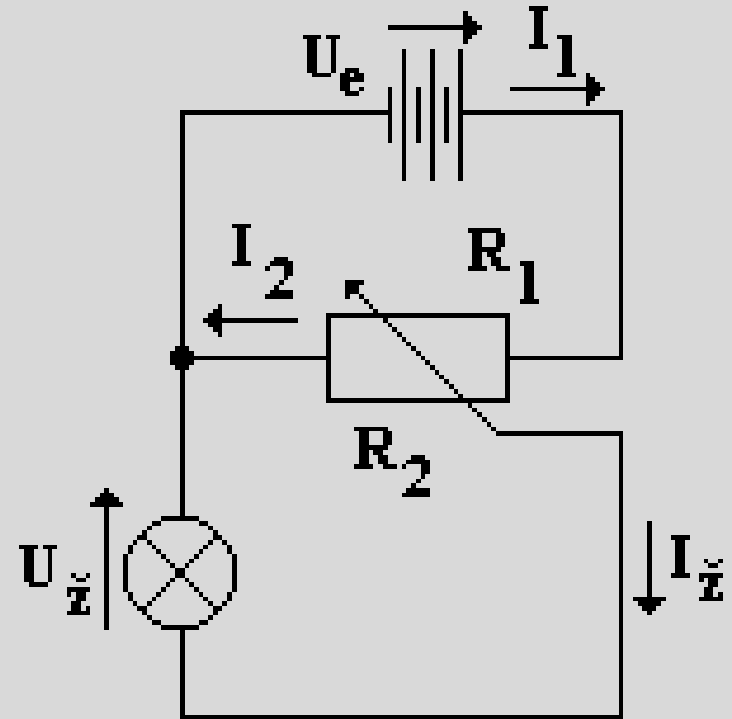
$$R_p = R_1 + R_2$$

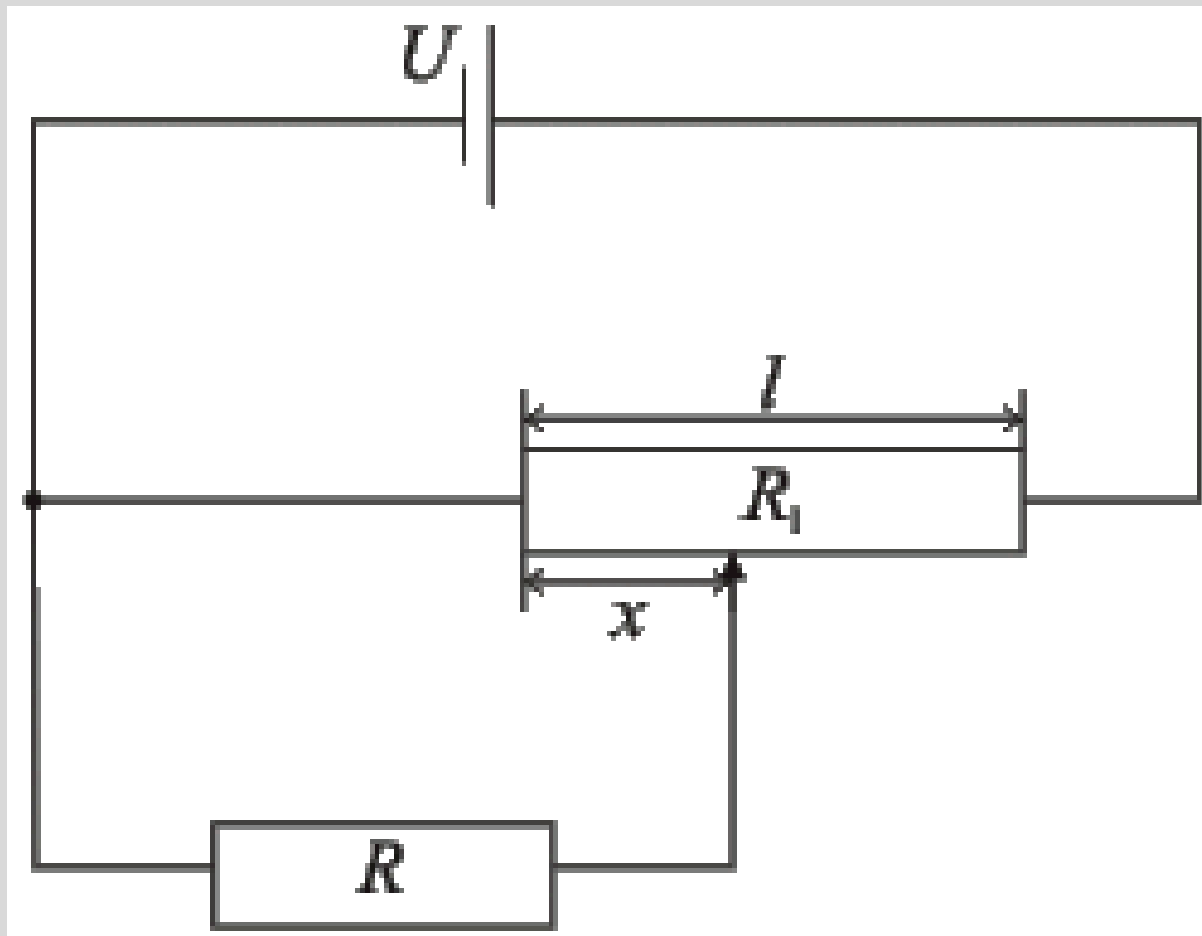
- Zapojení potenciometru se též říká **dělič napětí**, protože rozděluje **elektromotorické napětí** zdroje na dvě části.

- Platí

$$I_2 = \frac{U_{\check{z}}}{R_2} \quad I_1 = I_{\check{z}} + I_2 = I_{\check{z}} + \frac{U_{\check{z}}}{R_2} \quad U_e - U_{\check{z}} = R_1 I_1 = (R_p - R_2) \cdot \left( I_{\check{z}} + \frac{U_{\check{z}}}{R_2} \right)$$

- Odtud je již možné určit odpor  $R_2$  (vyřešením kvadratické rovnice) a tak zjistit nastavení potenciometru





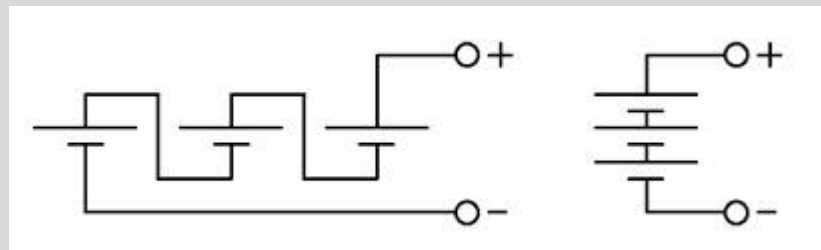
Obvod je kombinací sériového a paralelního spojení rezistorů.

# Spojování zdrojů napětí

Větší napětí získáme **sériovým spojením zdrojů**.

$$U_e = U_{e1} + U_{e2} + U_{e3}$$

Všemi zdroji prochází stejný proud.



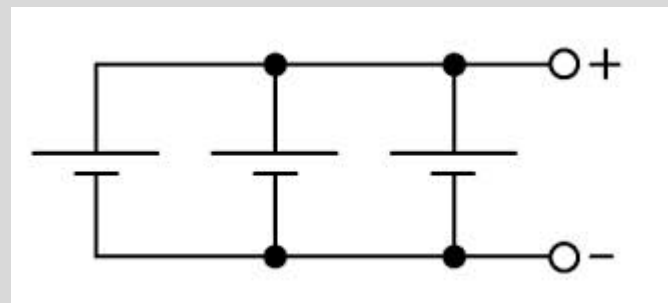
Větší proud získáme **paralelním spojením zdrojů**.

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

Spojujeme jen zdroje o stejném napětí  $U_e$ .

Výsledné napětí je stejné jako jednoho zdroje.

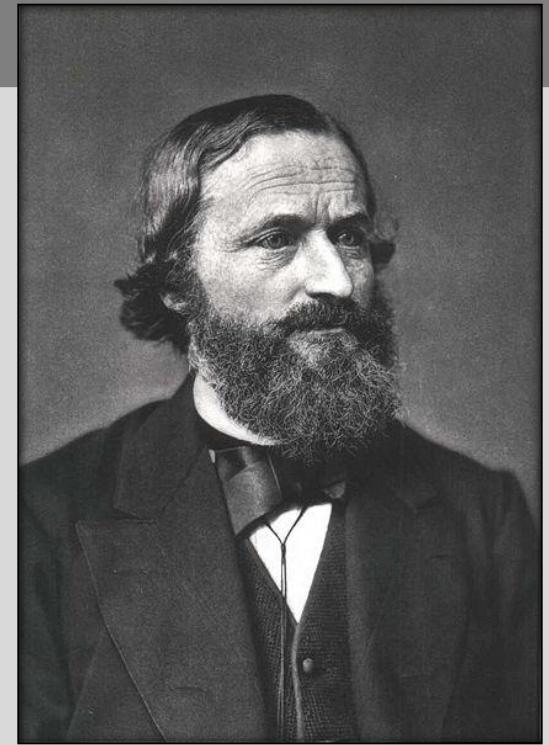
Jedním vodičem spojíme + póly,  
druhým vodičem - póly





## 3. 7. KIRCHHOFFOVY ZÁKONY

německý fyzik  
Gustav Robert  
KIRCHHOFF  
1824 – 1887



**elektrická síť** – složitější elektrický obvod s více rezistory i zdroji napětí

**uzel sítě** – je místo, kde se vodivě stýkají alespoň tři vodiče

**větev** – vodivé spojení sousedních uzlů

# 1. Kirchhoffův zákon

je formulován pro **uzel** elektrické sítě a je důsledkem zákona zachování elektrického náboje.

**Algebraický součet proudů v uzlu je nulový.**

**Stýká-li se v uzlu n větví, pak platí:**

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0$$

Jinými slovy:

Částice s nábojem nemohou v uzlu vzniknout ani zaniknout.

Proud, který do uzlu přiteče, z něj musí také odtéct.

## 2. Kirchhoffův zákon

je formulován pro **jednoduchou smyčku elektrické sítě** a je důsledkem **zákona zachování energie**.

**Součet úbytků napětí na rezistorech je v uzavřené smyčce stejný jako součet elektromotorických napětí zdrojů.**

**n rezistorů, m zdrojů**

$$\sum_{k=1}^n R_k I_k = \sum_{j=1}^m U_{ej}$$

Jinými slovy:

**celkový součet změn elektrického potenciálu v uzavřené smyčce je nulový.**

# Postup

- vyznačíme a označíme uzly
- zvolíme označení a směr proudů v jednotlivých větvích (libovolně)
- zvolíme a vyznačíme směr postupu v jednotlivých smyčkách (libovolně)
- zapíšeme rovnici pro 1. Kirchhoffův zákon
  - proud, který do uzlu vtéká, má kladné znaménko
  - proud, který vytéká záporné
- zapíšeme rovnici pro 2. Kirchhoffův zákon:
  - je-li směr proudu v daném rezistoru totožný se směrem postupu, má úbytek napětí na tomto rezistoru kladné znaménko,
  - v opačném případě je znaménko úbytku napětí na rezistoru záporné;
  - „narazíme-li“ při postupu na kladný pól zdroje, má elektromotorické napětí tohoto zdroje kladné znaménko,
  - „narazíme-li“ na záporný pól zdroje, má znaménko záporné
- pravá strana rovnice je nulová
- sestavíme-li více rovnic, než je počet neznámých, můžeme některou rovnicí vynechat

# 3. 8. ELEKTRICKÁ PRÁCE A VÝKON V OBVODU STEJNOSMĚRNÉHO PROUDU

Při přenesení náboje  $Q$  ve vnější části elektrického obvodu mezi svorkami zdroje o svorkovém napětí  $U$  vykonají síly elektrického pole práci  $\rightarrow$

- Je-li proud v obvodu konstantní, platí  $Q = I \cdot t$
- Má-li vnější část obvodu odpor  $R$ , platí  $U = R \cdot I$
- **Joulovo teplo  $Q_j$**  – je energie (teplo) přenesená průchodem proudu (změna VE vodičů se projeví zvýšením teploty).
- Pokud nedochází zároveň k jiným přeměnám elektrické energie, (např. na chemickou, mechanickou) je Joulovo teplo rovno **elektrické práci**:  $Q_j = W$ .

$$W = UQ$$

$$W = UI t$$

$$W = RI^2 t$$

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

$$[W] = J$$

**Výkon elektrického proudu** ve spotřebiči o odporu R

= práci, kterou spotřebič vykoná za 1 s

**Účinnost spotřebiče**

P – výkon spotřebiče

$P_0$  – příkon spotřebiče

$$P_0 = U_e I$$

$$P = \frac{W}{t} = UI$$

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

$$[P] = W$$

**Účinnost přeměny energie v elektrickém obvodu**

R – odpor vnější části

$R_i$  – odpor zdroje

$$W_z = U_e Q$$

Účinnost je tím větší,

čím menší je  $R_i$  zdroje

v porovnání s R spotřebiče.

$$\eta = \frac{P}{P_0} = \frac{W}{W_z} = \frac{UQ}{U_e Q} = \frac{U}{U_e} = \frac{R}{R + R_i}$$

Takto definovaná účinnost udává, jaká část celkové energie produkované zdrojem napětí se dostane do vnější části obvodu - tj. ke spotřebiči.

Neříká nic o účinnosti přeměny energie v samotném spotřebiči.

# Graf závislosti elektrického výkonu na proudu v obvodu. (Zatěžovací charakteristika zdroje.)

Z grafu je vidět, že maximálního výkonu dosáhneme, když

