

## Elektrický proud v kovech a polovodičích

- v krystalové mřížce kovů - valenční elektrony
  - jsou společné všem atomům kovu a mohou se v něm volně pohybovat → volné elektrony

### Elektronová vodivost kovů

Teorie elektronové vodivosti: el. proud v kovech vytváří jen volné el. s energií blízkou tzv. Fermiho energii (maximální kinetická energie el. v krystalu kovu při  $T = 0 \text{ K}$ , pro měď  $1,13 \cdot 10^{-18} \text{ J}$ )

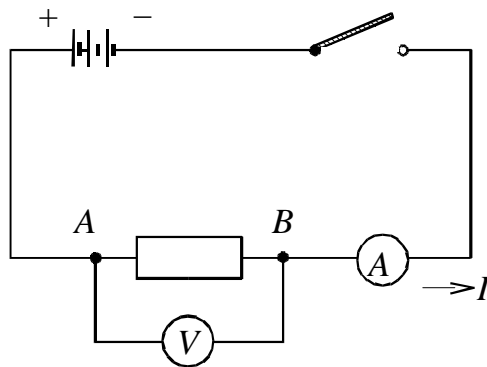
- tyto el. se nazývají vodivostní elektrony
  - vodivostní elektrony vykonávají tepelný (neuspořádaný) pohyb se střední rychlostí  $v \approx 10^5 - 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ; neusp. pohyb vodiv. el. → proud ve vodiči nulový

Připojíme kovový vodič ke stejnosměrnému zdroji napětí: na každý el. působí el. síla

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

- el. získají tzv. unášivou rychlost ( $v \approx 10^{-6} - 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) od  $\ominus$  svorky ke  $\oplus$  svorce → vznikne stejnosměrný el. proud

### Ohmův zákon pro část elektrického obvodu



Měníme napětí na svorkách zdroje a měříme el. proud ve vodiči při jeho konstantní teplotě:  
 → Ohmův zákon pro část el. obvodu: Elektrický proud  $I$  v kovovém vodiči je přímo úměrný el. napětí  $U$  mezi konci vodiče.

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

$R$  ... charakteristická veličina pro každý vodič

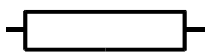
$R$  ... el. odpor  $[R] = \Omega$

$\frac{1}{R} = G$  ... el. vodivost  $[G] = \text{S (siemens)}$

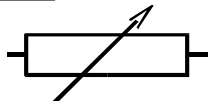
lineární vodiče ... O. z. pro ně platí  
 nelineární vodiče ... O. z. pro ně neplatí

Schématické značky:

stálé odpory ... rezistory



proměnné odpory ... reostaty, potenciometry



## Elektrický odpor

Příčinou el. odporu jsou srážky vodivostních el. s ionty mřížky v důsledku jejich tepelného pohybu a poruch kryst. mřížky. El. odpor závisí na materiálu, rozměrech vodiče, teplotě vodiče:

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

$\rho$  ... měrný el. odpor  $[\rho] = \Omega \cdot \text{m}$

$\frac{1}{\rho} = \gamma$  ... měrná el. vodivost  $[\gamma] = \text{S} \cdot \text{m}^{-1}$

látky s velkým  $\rho$  (nikelin, konstantan, chromnikl) – na výrobu odporových materiálů

### Závislost $R$ na teplotě

$$R = R_0(1 + \alpha \cdot \Delta t) \quad \alpha \text{ ... teplotní součinitel el. odporu } [\alpha] = \text{K}^{-1}$$

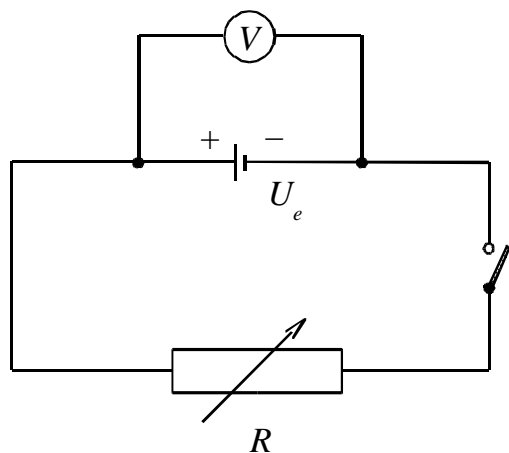
$R_0$  ... odpor při  $t_0$

S rostoucí teplotou roste odpor kovových vodičů přibližně lineárně.

[využití: odporový teploměr]

Supravodivost ... blízko absolutní nuly klesá měrný el. odpor kovu na nulu (zjistila se např. u: olova, cínu, zinku)

## Ohmův zákon pro uzavřený obvod



rozpojený spínač – na voltmetru naměříme napětí  $U_e$

uzavření el. obvodu – voltmetr ukáže napětí  $U < U_e$  při jakémkoliv odporu  $R$

## FYZIKA – 2. ROČNÍK

→ obvod se skládá z vnější části o celk. odporu  $R$  (rezistory, spotřebiče...) a vnitřní části – vodivý prostor mezi póly uvnitř zdroje o odporu  $R_i$

Neelektrické síly uvnitř zdroje vykonají při přemístění náboje  $Q$  práci:  $W_z = U_e \cdot Q$

Zdroj tedy vydá energii  $W_z = U_e \cdot Q$

Ta se přemění na energii el. pole ve vnějším obvodu a uvnitř zdroje.

$$E = U \cdot Q$$

$$E_i = U_i \cdot Q$$

$$\text{ZZE: } E_z = E + E_i$$

$$U_e Q = UQ + U_i Q$$

$$U_e = U + U_i \quad U = R \cdot I, \quad U_i = R_i \cdot I$$

$$U_e = R \cdot I + R_i \cdot I$$

$$\Rightarrow \boxed{I = \frac{U_e}{R + R_i}} \quad \text{Ohmův zákon pro uzavřený obvod}$$

$R + R_i$  ... celkový odpor obvodu

$U = R \cdot I$  ... svorkové napětí zdroje  
(= napětí na vnější části obvodu)

$U_i$  ... úbytek napětí na zdroji

$$U = U_e - R_i I$$

je-li  $R \gg R_i \Rightarrow U_e \approx U = RI$

Spojení nakrátko (zkrat)

$$U \approx 0 \text{ V}$$

→  $I_{\max} \approx \frac{U_e}{R_i}$  odběr velkých proudů poškozuje zdroj (→ jističe, pojistky)

### Kirchhoffovy zákony

rozvětvené el. obvody (více zdrojů a rezistorů) vytváří el. síť

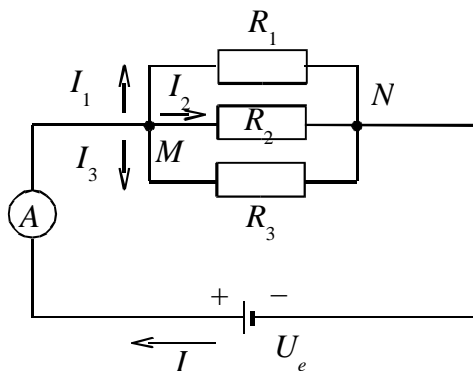
uzel el. obvodu: místo, kde se vodivě stýkají  
nejméně tři vodiče

větev el. obvodu: část obvodu mezi dvěma uzly

1. Kirchhoffův zákon (pro uzel stejnosměrného obvodu)

Algebraický součet proudů v uzlu se rovná nule ( $\oplus$  do uzlu,  $\ominus$  z uzlu):

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



(pro obrázek:  $I - I_1 - I_2 - I_3 = 0 \text{ A}$ )

2. Kirchhoffův zákon (pro jednoduchý obvod)

V jednoduchém uzavřeném obvodě je součet elektromotorických napětí  $U_{ei}$  zařazených zdrojů roven součtu úbytků napětí  $R_k I_k$ .

$$\sum_{i=1}^m U_{ei} = \sum_{k=1}^n R_k I_k$$

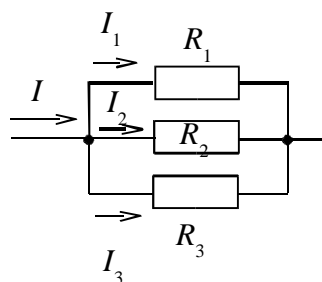
Spojování rezistorů

A. Paralelně

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

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

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



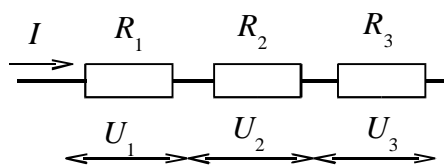
Obecně:  $\boxed{\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}}$

B. Sériově

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

$$RI = R_1 I + R_2 I + R_3 I$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

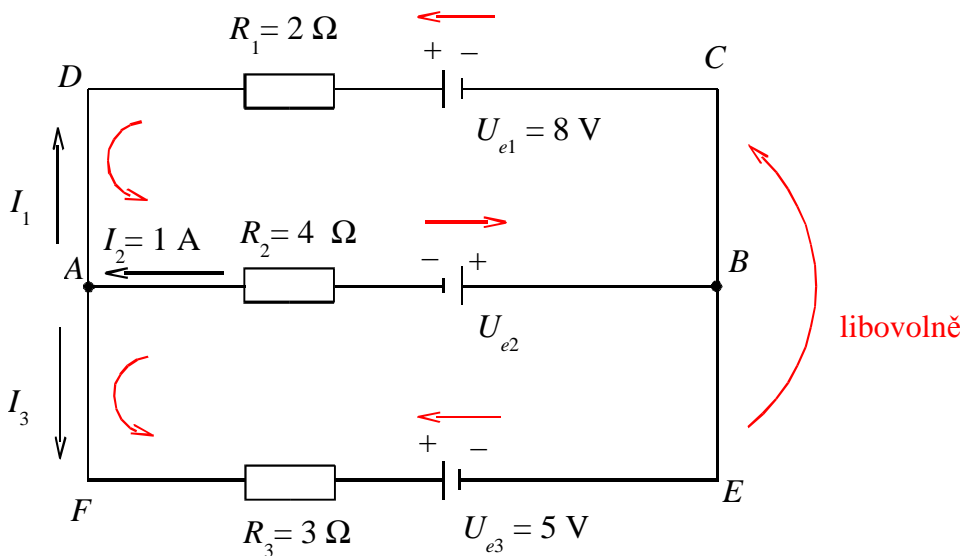


Obecně:  $R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$

## Příklady na aplikaci Kirchhoffových zákonů:

1/

od  $\ominus$  k  $\oplus$



Vypočteme proudy  $I_1$ ,  $I_3$  a el. napětí  $U_{e2}$ , známe-li velikost a směr proudu  $I_2$ .

Zvolíme libovolně směry proudů  $I_1$ ,  $I_3$ , a u zdrojů směry od záporného pólu ke kladnému a zvolíme směr obíhání. Kde souhlasí směr obíhání s vyznačeným směrem od záporného pólu ke kladnému, uvedeme sčítance v rovnicích se znaménkem plus, v případě nesouhlasu se znaménkem minus.

a/ Sestavíme rovnici např. pro uzel A:  $-I_1 + I_2 - I_3 = 0 \text{ A}$

b/ Sestavíme rovnice pro větve obvodu:

pro ABCD:  $U_{e1} + U_{e2} = -R_1 I_1 - R_2 I_2$

pro AFEB:  $-U_{e2} - U_{e3} = R_2 I_2 + R_3 I_3$

$$-\{I_1\} + 1 - \{I_3\} = 0$$

$$8 + \{U_{e2}\} = -2\{I_1\} - 4$$

$$-\{U_{e2}\} - 5 = 4 + 3\{I_3\}$$

$$I_1 = 1 - I_3$$

$$\left. \begin{array}{l} 8 + U_{e2} = -2 + 2I_3 - 4 \\ -U_{e2} - 5 = 4 + 3I_3 \end{array} \right\} \text{ sečteme}$$

$$3 = -2 + 5I_3$$

$$5 = 5I_3$$

$$I_3 = 1 \text{ A}$$

$$I_1 = 0 \text{ A}$$

$$U_{e2} = -12 \text{ V}$$

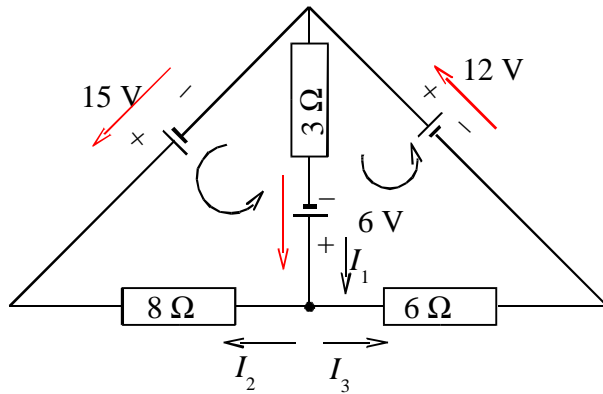
$U_{e2} = -12 \text{ V}$  ... zdroj zapojit opačně

$I_3 = 1 \text{ A}$  ... směr proudu označen správně

# FYZIKA – 2. ROČNÍK

$I_1 = 0 \text{ A}$  ... větví  $CD$  proud neprochází

2/



$$1. \text{ KZ: } I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$2. \text{ KZ: } -6 + 15 = -8I_2 - 3I_1$$

$$\underline{6 + 12 = 6I_3 + 3I_1}$$

$$I_3 = I_1 - I_2$$

$$9 = -8I_2 - 3I_1 \quad (1)$$

$$18 = 9I_1 - 6I_2 \quad (2)$$

$$3 \cdot (1) \quad 27 = -24I_2 - 9I_1 \quad (3)$$

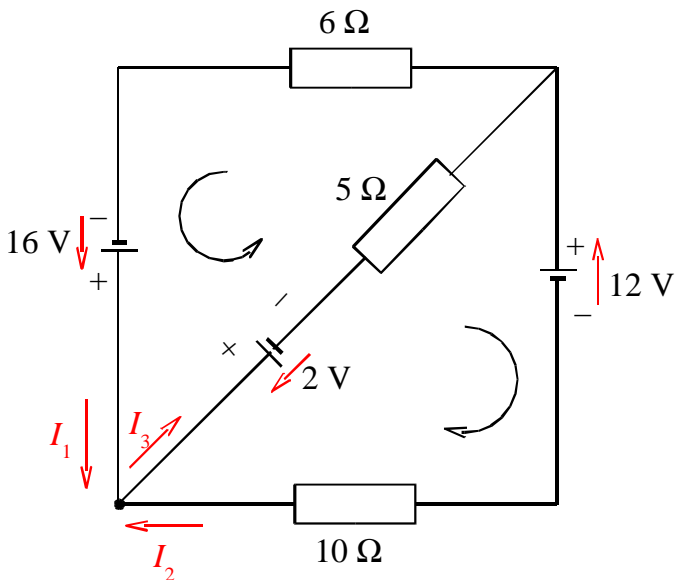
$$(3) + (2) \quad 45 = -30I_2$$

$$I_2 = -1,5 \text{ A}$$

$$I_1 = 1 \text{ A}$$

$$I_3 = 2,5 \text{ A}$$

3/



$$1. \text{ KZ: } I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$2. \text{ KZ: } 16 - 2 = 6I_1 + 5I_3$$

$$\underline{-12 - 2 = 10I_2 + 5I_3}$$

$$I_1 = I_3 - I_2$$

$$14 = 6I_3 - 6I_2 + 5I_3$$

$$\underline{-14 = 10I_2 + 5I_3}$$

$$14 = 11I_3 - 6I_2 \quad / \cdot 10$$

$$\underline{-14 = 10I_2 + 5I_3} \quad / \cdot 6$$

$$140 = 110I_3 - 60I_2$$

$$\underline{-84 = 30I_3 + 60I_2}$$

$$56 = 140I_3$$

$$I_3 = 0,4 \text{ A}$$

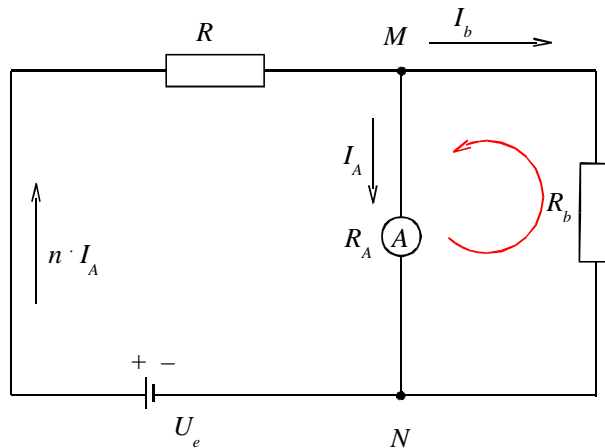
$$I_2 = -1,6 \text{ A}$$

$$I_1 = 2 \text{ A}$$

## Praktické aplikace Kirchhoffových zákonů

### 1. Zvětšení rozsahu ampérmetru - bočník

$I_A$  - maximální proud, který může procházet ampérmetrem. Při měření proudů  $n$  krát větších než je proud  $I_A$  ochráníme ampérmetr paralelním připojením rezistoru s odporem  $R_b$ .



$$nI_A - I_A - I_b = 0 \text{ A} \Rightarrow \frac{I_b}{I_A} = n - 1$$

$$R_A I_A - R_b I_b = 0 \text{ V}$$

$$\frac{R_A}{R_b} = \frac{I_b}{I_A} \Rightarrow \frac{R_A}{R_b} = n - 1$$

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

Je-li měřený proud  $n$  krát větší než  $I_A$ , je nutno připojit paralelně k ampérmetru odpor

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

### 2. Zvětšení rozsahu voltmetru - předřadný odpor

Každý voltmetr je konstruován na určité  $U_{max} = U_V$ , dané maximálním proudem  $I_V$ , které může procházet cívku voltmetru.

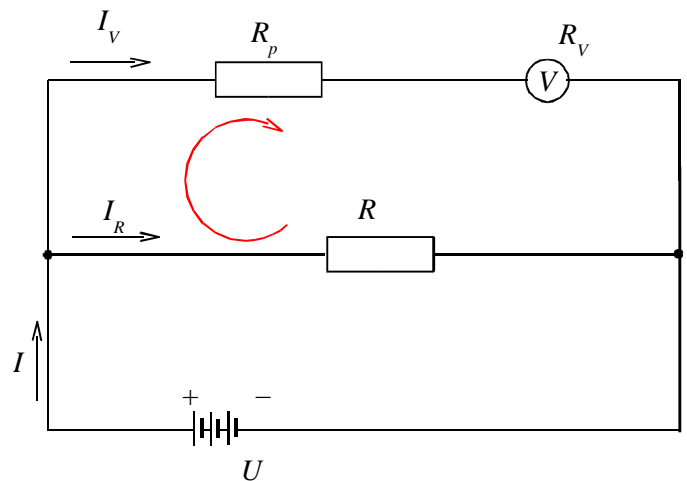
$$R_p I_V + R_V I_V - R I_R = 0 \text{ V}$$

$$R_p I_V + R_V I_V = R I_R$$

$$R_p I_V + U_V = n U_V$$

$$R_p = \frac{n U_V - U_V}{I_V} = \frac{(n - 1) \cdot U_V}{I_V}$$

$$\boxed{R_p = (n - 1) R_V}$$

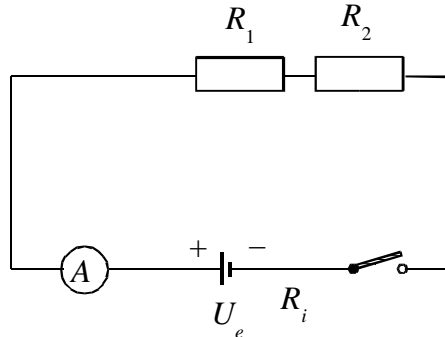


Je-li měřené napětí  $n$  krát větší než  $U_V$ , je nutno připojit sériově k voltmetru předřadný odpor

$$R_p = (n - 1) \cdot R_V.$$

## Úlohy:

1/ Vypočítejte vnitřní odpor zdroje  $R_i$  ve schématu na obrázku, víte-li, že obvodem prochází proud  $I = 0,40$  A, odpor ampérmetru je  $R_A = 0,05 \Omega$ ,  $R_1 = 9,70 \Omega$ ,  $R_2 = 19,75 \Omega$  a  $U_e = 12,0$  V.



$$I = 0,40 \text{ A}$$

$$R_A = 0,05 \Omega$$

$$R_1 = 9,70 \Omega$$

$$R_2 = 19,75 \Omega$$

$$U_e = 12,0 \text{ V}$$

$$R_i = ?$$


---

Řešení:

$$R = R_1 + R_2 + R_A + R_i$$

$$R \cdot I = U_e$$

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

$$R_i = \frac{U_e}{I} - (R_1 + R_2 + R_A) = (30 - 29,5) \Omega = 0,5 \Omega$$

Vnitřní odpor zdroje je  $0,5 \Omega$ .

2/ Akumulátor dodává proud do dvou paralelně zapojených spotřebičů. V první větvi s odporem  $24 \Omega$  prochází proud  $0,5$  A, druhá větev má odpor  $30 \Omega$ . Jaké je napětí na každé větvi? Jaký proud prochází druhou větví? Jaký je celkový proud v obvodu? Vnitřní odpor akumulátoru zanedbejte.

$$R_1 = 24 \Omega$$

$$I_1 = 0,5 \text{ A}$$

$$R_2 = 30 \Omega$$

$$R_i = 0 \Omega$$

$$I_2 = ?$$

$$U = ?$$

$$I = ?$$


---



Řešení:

$$U = R_1 \cdot I_1 = 12 \text{ V}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = 0,4 \text{ A}$$

$$I = I_1 + I_2 = 0,9 \text{ A}$$

Napětí na každé větvi je 12 V, druhou větví prochází proud 0,4 A a celkový proud v obvodu je 0,9 A.

3/ Homogenní drát má elektrický odpor  $R = 18 \Omega$ . Na kolik stejných částí je třeba ho rozdělit, aby při jejich paralelním zapojení byl výsledný odpor  $0,5 \Omega$  ?

$$R = 18 \Omega$$

$$R_v = 0,5 \Omega$$

$$n = ?$$

Řešení:

$$R_i = \frac{R}{n} \quad \frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_i} + \dots + \frac{1}{R_i}$$

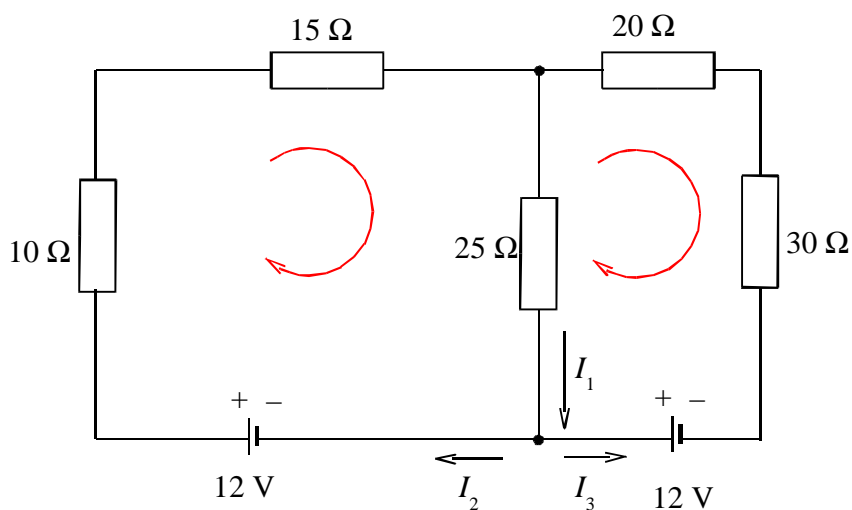
$$\frac{1}{R_v} = \frac{n}{R_i}$$

$$n = \frac{R_i}{R_v} = \frac{R}{nR_v} \Rightarrow n^2 = \frac{R}{R_v}$$

$$n = \sqrt{\frac{18}{0,5}} = 6$$

Drát je potřeba rozdělit na 6 stejných částí.

4/ Spočítejte proudy, které procházejí jednotlivými větvemi v obvodu na obrázku:



Řešení:

$$\begin{aligned}
 I_1 - I_2 - I_3 &= 0 \\
 12 &= 10I_2 + 15I_2 + 25I_1 \\
 12 &= -25I_1 - 20I_3 - 30I_3 \\
 \hline
 I_1 &= I_2 + I_3 \\
 12 &= 25I_2 + 25I_2 + 25I_3 \\
 12 &= -25I_2 - 25I_3 - 50I_3 \\
 \hline
 12 &= 50I_2 + 25I_3 & (1) \\
 12 &= -25I_2 - 75I_3 \\
 \hline
 3 \cdot (1) & \quad 36 = 150I_2 + 75I_3 \\
 & \quad 48 = 125I_2 \\
 & \quad I_2 = 0,384 \text{ A} \\
 I_3 &= -0,288 \text{ A} \\
 I_1 &= 0,096 \text{ A}
 \end{aligned}$$

### Elektrická práce a elektrický výkon v obvodu s konstantním proudem

$$W = U \cdot Q \Rightarrow W = U \cdot I \cdot t$$

elektrická práce el. sil ve vnější části obvodu

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

Práce spojená s přenosem částic ve vnější části obvodu se projeví zahřátím vodiče, jeho vnitřní energie roste, mírou její změny je tzv. Joulovo teplo

Práce, kterou vykonají neel. síly ve zdroji:

$$W_z = U_e Q = U_e I \cdot t = \frac{U_e^2}{R + R_i} \cdot t$$

Výkon zdroje:

$$P_z = \frac{W_z}{t} = U_e I = \frac{U_e^2}{R + R_i} = (R + R_i) \cdot I^2$$

Výkon ve vodiči:

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

tzv. elektrický příkon spotřebiče

Účinnost zdroje:

$$\eta = \frac{P}{P_z} = \frac{U \cdot I}{U_e \cdot I} = \frac{R}{R + R_i}$$

čím větší  $R$  než  $R_i$  tím větší účinnost zdroje

**Úlohy:**

1/ Dvě žárovky s příkony 45 W a 5 W jsou paralelně zapojeny ke zdroji napětí, kterým prochází proud 3 A. Určete proudy, které procházejí žárovkami.

$$P_1 = 45 \text{ W}$$

$$P_2 = 5 \text{ W}$$

$$I = 3 \text{ A}$$

$$I_1, I_2 = ?$$

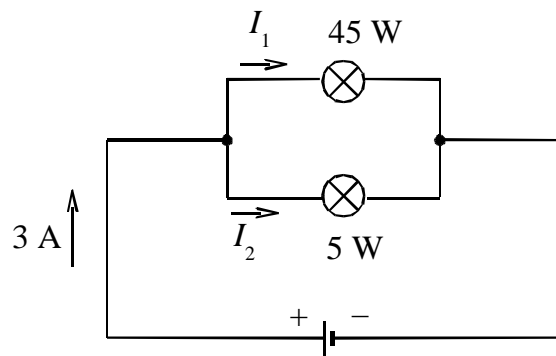
Řešení:

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = UI_1 \\ P_2 = UI_2 \end{array} \right\} \frac{P_1}{P_2} = \frac{I_1}{I_2}$$

$$I_1 + I_2 = 3 \text{ A} \Rightarrow I_1 = 3 \text{ A} - I_2$$

$$\frac{P_1}{P_2} = 9 = \frac{3 \text{ A} - I_2}{I_2} \Rightarrow I_2 = 0,3 \text{ A}$$

$$I_1 = 2,7 \text{ A}$$



Žárovkami protéká proud 2,7 A a 0,3 A.

2/ Ponorným vaříčem o příkonu 625 W se zahřívá voda o objemu 0,4 l. Do varu se uvede za 4 min. Vypočítejte původní teplotu vody, je-li účinnost vaříče 95,2 %. Kolik se zaplatí za spotřebu el. energie, jestliže za 1 kW.h se platí 1,05 Kč? Hustota vody je  $1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , měrná tepelná kapacita vody je  $4,2 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .

$$P_z = 625 \text{ W}$$

$$V = 0,4 \text{ l} = 0,0004 \text{ m}^3 \quad t_v = 100^\circ \text{ C}$$

$$t = 4 \text{ min} = 240 \text{ s}$$

$$\eta = 95,2 \%$$

$$1 \text{ kW.h} = 1,05 \text{ Kč}, \rho = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}, c = 4,2 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$t_0 = ?, x = ?$$

Řešení:

$$P = 625 \text{ W} \cdot 0,952 = 595 \text{ W}$$

$$W = P \cdot t = Q = mc\Delta t = V \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta t$$

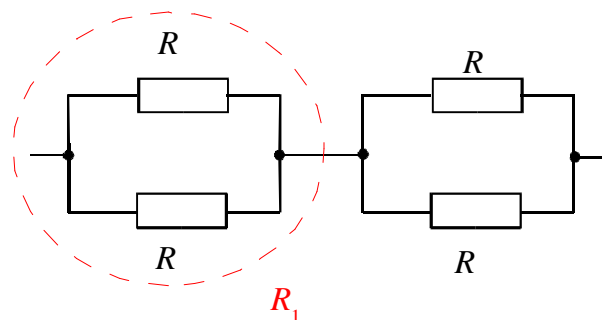
$$\Delta t = \frac{P \cdot t}{V \rho \cdot c} = 85^\circ \rightarrow t_0 = 15^\circ \text{C}$$

$$W = P \cdot t = 0,0397 \text{ kW} \cdot \text{h} \quad x = W \cdot 1,05 = 0,042 \text{ Kč}$$

Počáteční teplota vody byla  $15^\circ \text{C}$  a za ohřev se zaplatí 0,042 Kč.

### Cvičení: Obvody s konstantním proudem

1/ Na obrázku jsou zapojeny čtyři rezistory o stejném odporu  $R$ . Vypočítejte výsledný odpor zapojených rezistorů. Řešte nejprve obecně, pak pro  $R = 10\Omega$ .

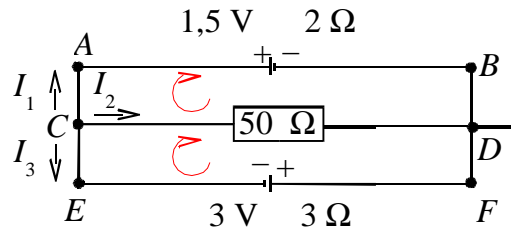


$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{2}{R} \quad \Rightarrow \quad R_1 = \frac{R}{2}$$

$$R_v = R_1 + R_1 = 2R_1 = 2 \cdot \frac{R}{2} = R$$

$\Rightarrow$  výsledný odpor zapojených rezistorů je  $R = 10\Omega$

2/ Na obrázku je schéma zapojení dvou zdrojů napětí a rezistoru. Větvi  $AB$  prochází proud  $I_1$ , větvi  $CD$  prochází proud  $I_2$  a větvi  $EF$  proud  $I_3$ . Určete hodnoty těchto proudů.



Řešení:

$$-I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$\rightarrow I_1 = -I_2 - I_3$$

$$-1,5 = -50I_2 + 2I_1$$

$$\underline{-3 = -3I_3 + 50I_2}$$

$$-1,5 = -52I_2 - 2I_3 / 3$$

$$\underline{-3 = 50I_2 - 3I_3 / (-2)}$$

$$-4,5 = -156I_2 - 6I_3$$

$$\underline{6 = -100I_2 + 6I_3} \rightarrow I_3 \approx 0,90 \text{ A}$$

$$I_2 \approx -0,0059 \text{ A} \quad \uparrow$$

$$I_1 \approx 0,896 \text{ A}$$

## Polovodiče

- vodiče ( $\rho = 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ ), polovodiče ( $\rho = 10^{-2} - 10^9 \Omega \cdot \text{m}$ ), izolanty ( $\rho = 10^9 \Omega \cdot \text{m}$ )

- polovodiče – měrný odpor s rostoucí teplotou rychle klesá

## Vlastní polovodiče

Si ... při 0 K izolant

vzrůstající teplota  $\rightarrow$  porušení vazeb mezi atomy  $\rightarrow$  vznik párů

volných elektronů + děr, tzv. generace párů volný el. + díra

při pokoj.  $T$  v Si hustota děr (= hustotě vol. el.)  $\approx 7 \cdot 10^{16} \text{ m}^{-3}$

rekombinace - zánik páru díra + volný el.

Pohyb el. a děr v polovodiči je chaotický bez přítomnosti el. pole v polovodiči.

putování částic: pohyb díry = některý z val. el. sousedních vazeb přeskočí na místo porušené

vazby - způsobí zánik díry. Díra se pak objeví na jiném místě  $\rightarrow$  díry „putují“ po krystalu

polovodiče

pohyb ve vlastním polovodiči po připojení vnějšího pole:

el. putují na jednu stranu

díry putují na opačnou stranu

Výsledný proud v polovodiči:

$$I = I_d + I_e$$

neplatí obecně Ohmův zákon

U vlastních polovodičů závisí měrný odpor velkou mírou na teplotě, proto se uplatňují málo.

## **Nevlastní polovodiče**

- el. vlastnosti polovodiče závisí výrazně na příměsích – velmi malé hustoty vhodných příměsí v krystalu mohou vyvolat výrazné změny jeho el. vlastností

Polovodič typu N: Donory – poskytovatelé volných el. (P, N, As, Sb, Bi)

V polovodiči nahradíme některé čtyřmocné atomy pětímocnými atomy (např. fosfor - substituční atom)

- 4 val. el. fosforu se účastní kovalentní vazby, pátý el. fosforu vázaný velmi slabě odtržení el. při nízké teplotě → v látce vznikne nadbytek volných el.
- elektronová vodivost → polovodič typu N

Polovodič typu P: Akceptory – příjemci volných el. (In, B, Al, Ga)

V polovodiči nahradíme některé čtyřmocné atomy trojmocnými atomy např. (indium)

- chybí valenční el. → vzniknou díry → v látce je nadbytek děr

→ děrová vodivost → polovodič typu P

U obou typů nevlastních polovodičů se kromě většinových (majoritních) nositelů náboje vyskytují v malé míře i menšinové (minoritní) nositelé náboje, tj. u polovodiče typu N díry a u polovodiče typu P volné elektrony.

## **Diodový jev a jeho technické využití**

Přechod PN:

hustota volných el. a děr v obou částech P a N natolik různá, že vzniká difúze (přechod) volných el. z části N do části P a děr z části P do N.

⇒ na rozhraní se vytváří el. dvojvrstva s ionty opačné polarity

⇒ vznikne el. pole  $\vec{E}_i$ , které zabraňuje dalším přechodům (rovnovážný stav)

- oblast přechodu bez volných nábojů → velký  $R$

Připojíme zdroj

Propustný směr:  $\oplus$  svorka se připojí na polovodič typu P,  $\ominus$  svorka na polovodič typu N

el. pole  $\vec{E}_i$  přechodu PN je zeslabeno vnějším polem

→ porušení rov. stavu - zmenšení  $R$  přechodu PN

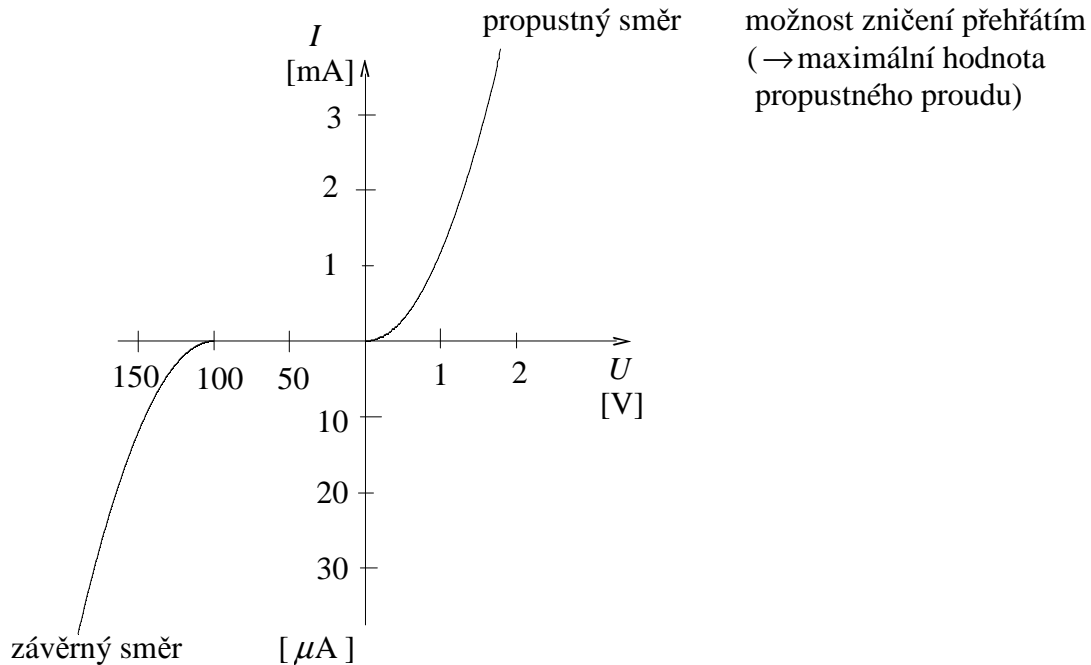
→ el. obvodem prochází proud: propustný proud

Závěrný směr:  $\ominus$  svorka na polovodič typu P,  $\oplus$  na polovodič typu N

$R$  přechodu PN vzroste – diodou prochází jen velmi malý proud - proud minoritních nositelů náboje, tzv. závěrný proud

⇒ Diodový jev: přechod PN = dioda

Voltampérová charakteristika polovodičové diody:

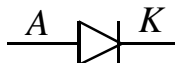


Uplatnění v praxi: usměrnění střídavého proudu

Technologie výroby: napařování

Si (N) napaříme Al (P)

Značka:

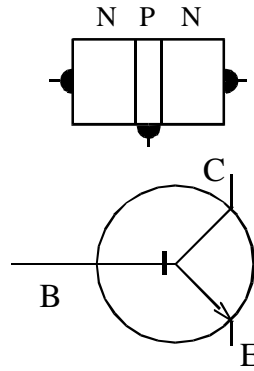
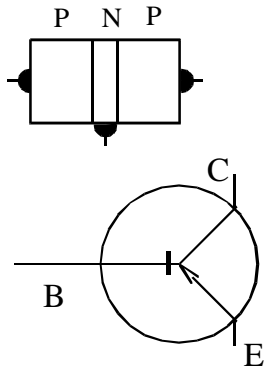


## Tranzistorový jev a jeho technické využití

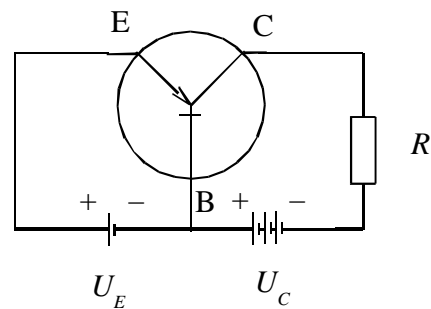
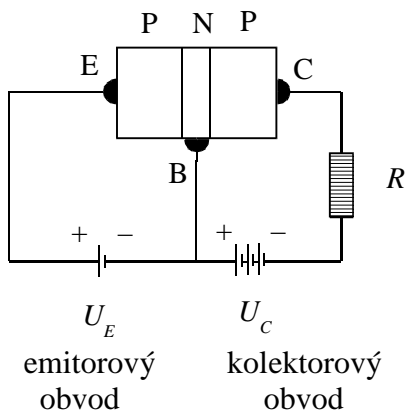
Tranzistor: elektrotechnický prvek s dvěma přechody PN (PNP, NPN)

báze ... střední oblast ... B velmi tenká  
kolektor ... C  
emitor ... E

tranzistory typu PNP a NPN:



## Zapojení se společnou bází



PN přechod mezi E a B ... zapojen v propustném směru  
 PN přechod mezi B a C ... zapojen v závěrném směru

- emitorem prochází velký proud (mA)
- kolektorem by měl procházet velmi malý ( $\mu\text{A}$ )
- ve skutečnosti kolektorový proud  $\cong I_E$   
 vysvětlení: báze je tenká, díry vstupující z E do B se dostanou do blízkosti přechodu B-C a jsou přitahovány kolektorem

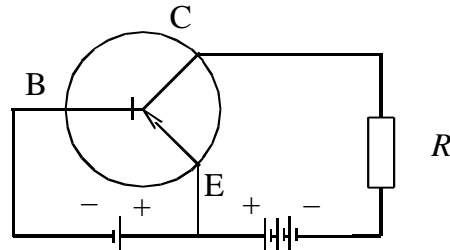
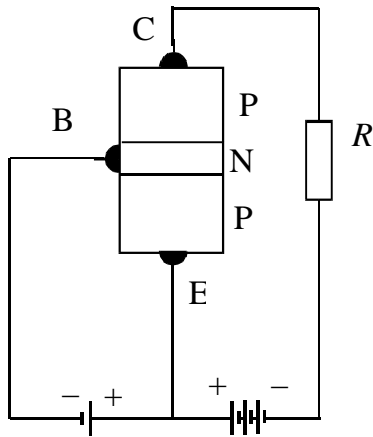
Změna emitorového proudu vyvolává změnu kolektorového proudu. Kolektorový proud je ovládán proudem emitorovým. – podstata tranzistorového jevu

Tranzistorový jev... využívá se k zesilování  
 napětí  $U_{BE}$  proměnlivé (vstupní signál - např. mikrofon)  
 $U_{BC}$  podstatně vyšší  
 do obvodu zařadíme zatěžovací odpor  $R$   
 (srovnatelný s odporem přechodu BC)  
 na něm nastávají změny napětí zesilovaného signálu → zesílení  $U$



## FYZIKA – 2. ROČNÍK

Zapojení se společným emitorem – užívá se zvláště pro spojování tranzistorů např. u víceúrovňových zesilovačů, probíhají analog. fyz. děje jako u tranzistoru se společnouází



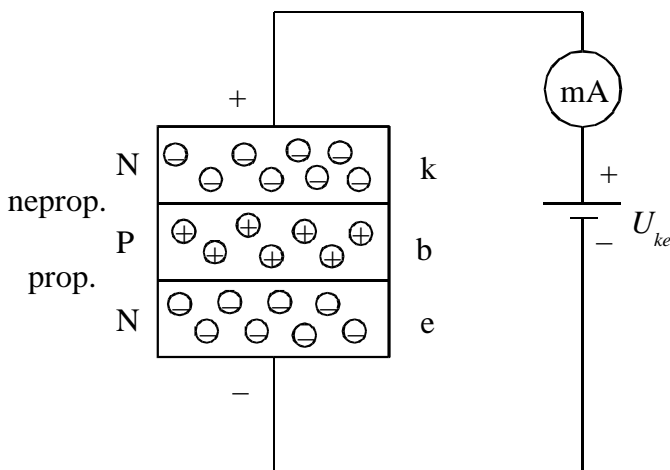
Malým bázovým proudem  $I_B$  ovládáme velký  $I_C$  - zesílení proudu

Proudový zesilovací čísel:

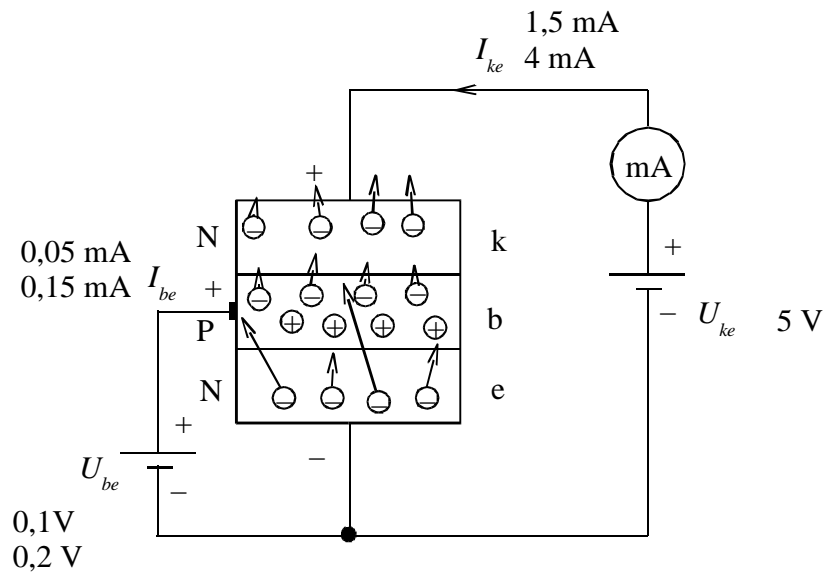
$$\beta = \left( \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right)_{U_{CE} = \text{konst.}}$$

$$\beta \approx 100$$

Proudové poměry v tranzistoru při různém zapojení:



→ proud neprochází



Přechod be propustný, el. mohou proudit z e do b; b velmi tenká (0,01 mm)  $\Rightarrow$  97 % el. pronikne setrvačností až k přechodu bk, kde jsou přitahovány kladným pólem  $\Rightarrow$  obvodem protéká proud  $I_{ke}$  (3 % tečou bázevým obv.  $I_{be}$ )

Malé změny  $U_{be}$   $\Rightarrow$  velké změny  $I_{ke}$  (jehož zdrojem je  $U_{ke}$ )  
 $\Rightarrow$  zesilovač