

Elektrostatika

- opat. měření h'ky vykazují elektr. vlastnosti
  - pitové přístroje - mezi náboji

El. náboj ozn.  $Q \dots +, -$

elektroskop (elektroměr)

vodiče - umožňují pohyb náboje

izolanty - nemožný - || -

( pozn. - polovodiče se mohou - podle okolností - chovat jako vodiče, nebo jako izolanty )

jednotka el. náboje coulomb ("kulom") ozn. C  
 $1\text{C} = \frac{1\text{A}}{1\text{s}} \dots \text{def}$

Náboj se dá dělit  
 nejmenší možný náboj - elementární náboj  
 $e = 1,602 \cdot 10^{-19}\text{C}$  (náboj elektronu - e)

(v izolované soust.) platí zákon zachování  
 elektrického náboje

$$F = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \quad k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$$

(konstant)

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon} \quad \epsilon \dots \text{permittivita mutlak}$$

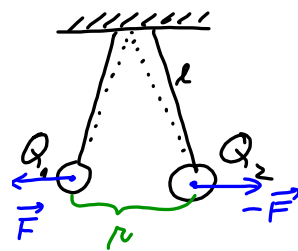
$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$$

Coulomb's law:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{|Q_1 \cdot Q_2|}{r^2}$$

$$\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \quad \epsilon_r \dots \text{relatif permittivita (material)}$$

Coulombův zákon - síla mezi dvěma náboji



prostorově (bodový) nebo rovinně rozložený (má určitou tloušťku)

$$\begin{aligned} F &\sim Q_1 \\ F &\sim Q_2 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} F &\sim Q_1 \\ F &\sim Q_2 \end{aligned}} \right\} F \sim Q_1 \cdot Q_2$$

$$F \sim \frac{1}{r^2}$$

$$F \sim \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

$$F = k \cdot \frac{|Q_1 \cdot Q_2|}{r^2}$$

pro vakuum  $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2 \text{C}^{-2}$

$$(Q_1 = Q_2 = 7,8 \text{ nC})$$

$$r = 4 \text{ cm}$$

$$l = 23 \text{ cm}$$

$$F = 0,35 \text{ mN}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon}$$

$\epsilon$  ... permitivita prostředí

$\epsilon_0$  ... permitivita vakua

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$$

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{|Q_1 \cdot Q_2|}{r^2}$$

$$\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \quad \epsilon_r \dots \text{relativní permitivita (materiál)}$$

$$P_f (u3/70)$$

$$Q_1 = Q_2 = Q = ?$$

$$r = 1 \text{ m}$$

$$F = 1 \text{ N}$$

$$F = k \cdot \frac{|Q_1 \cdot Q_2|}{r^2}$$

$$1 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{Q^2}{1}$$

$$Q^2 = \frac{1}{9} \cdot 10^{-9}$$

$$Q = \sqrt{\frac{10^{-9}}{9}} = \left( \sqrt{\frac{10^{-8}}{90} = \frac{10^{-4}}{190}} \right) 1,054 \cdot 10^{-5} \text{ C} = \underline{\underline{10,54 \mu\text{C}}}$$

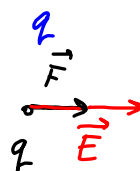
## Intenzita el. pole ozn $\vec{E}$

- sila, akva' by v danem mi'sti pole  
 qivobila na bodovj naboj, rozdelen a'  
 k'akimto nabojem

$$\left( \vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q} \right) \quad \vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad \dots \quad \vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

Q

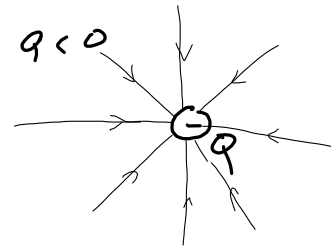
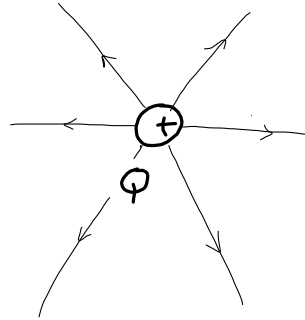
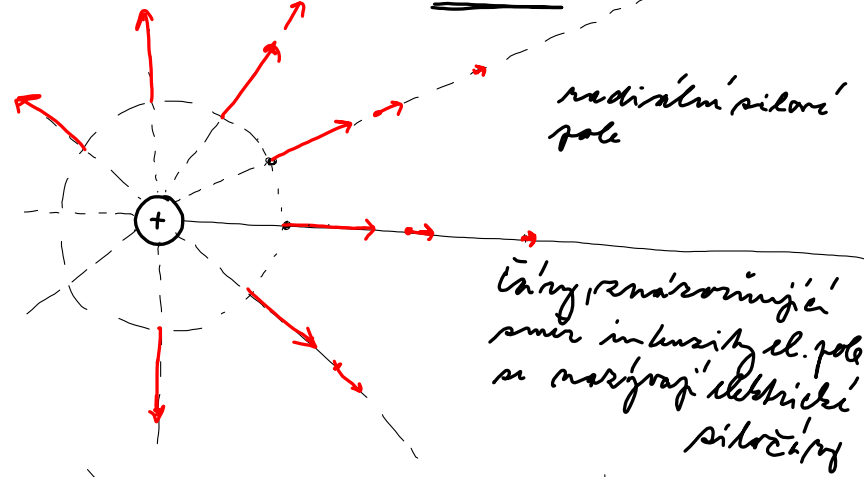
⊕

napr.  $q = 0,5C$ 

$$E = \frac{F}{0,5} = 2 \cdot F$$

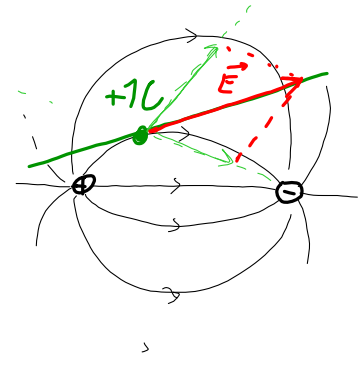
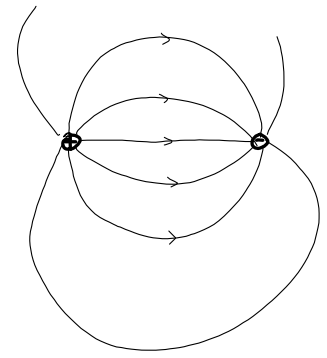
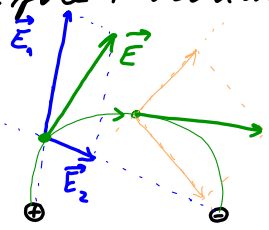
Intenzita v radál.  $r$  od náboje  $Q$

$$E = \frac{F}{q} = k \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2} \cdot \frac{1}{q} = k \cdot \frac{Q}{r^2} \quad E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$$

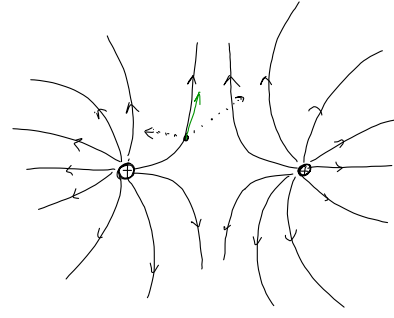
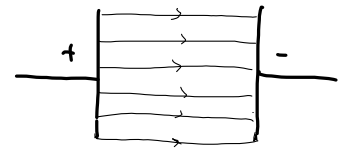


el. pole nemusi být pouze radialní

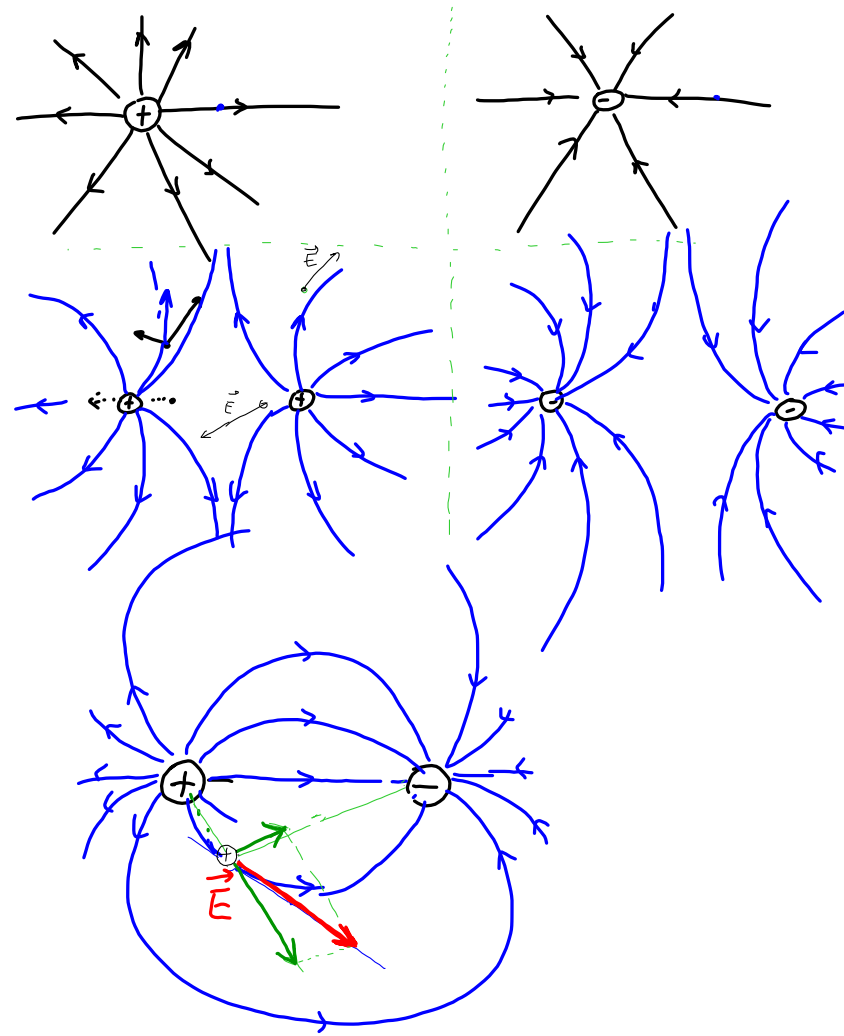
U. pole v krogli'dron nabojje  
 $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$

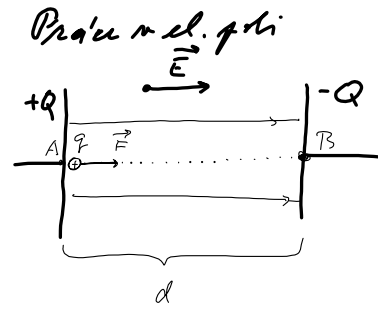


homogeni' pole



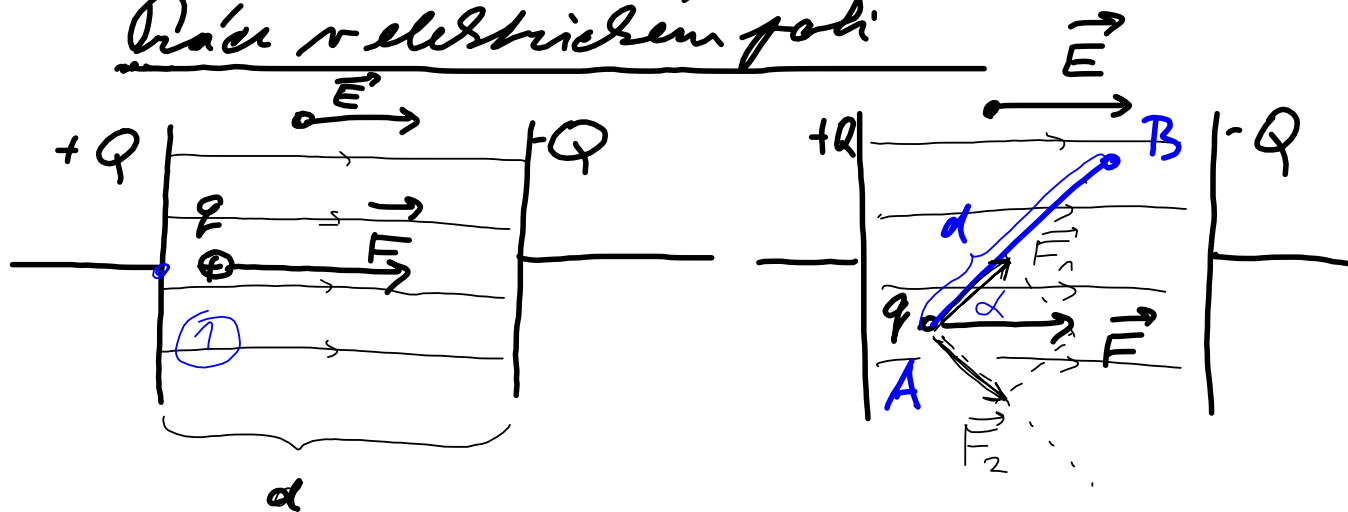






$$W = F \cdot d = q \cdot E \cdot d \quad \underline{m \downarrow 4 \quad 19}$$

## Práce v elektrickém poli



$$W = F \cdot d = q \cdot \underbrace{E \cdot d}_U$$

$$(F = q \cdot E)$$

$$(U = E \cdot d)$$

$$W_{AB} = F_1 \cdot d = q \cdot E \cdot d \cdot \cos \alpha$$

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$$

$U_{AB}$  je elektrické napětí mezi body A a B.

proč. náboj  $q$  má v el. poli v místě ① potenciální energii

## Potenciálna energia

- el. pole má schopnosť konat (na náboji  $q$ ) prácu

$$W_{AB} = q \cdot U_{AB} = E_{PA} - E_{PB}$$

rozdiel potenciálnej energie

$$q \cdot U_{AB} = E_{PA} - E_{PB} \quad | \cdot \frac{1}{q}$$

$$U_{AB} = \frac{E_{PA}}{q} - \frac{E_{PB}}{q}$$

$$\varphi_A - \varphi_B$$

potenciál v bode A      potenciál v bode B  
pozn.: najíť jeho rozdiel potenciálov

## Elektrický potenciál $\varphi$

- rozdiel potenciálnej energie  $E_p$  bodového náboja v danom mieste pole k bodovému náboju:

$$\varphi = \frac{E_p}{q}$$

23.4.19 rebráta

Elektrická napätá medzi body A a B ( $U_{AB}$ ) je definovaná jako rozdiel potenciálov medzi týmito body.  $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$

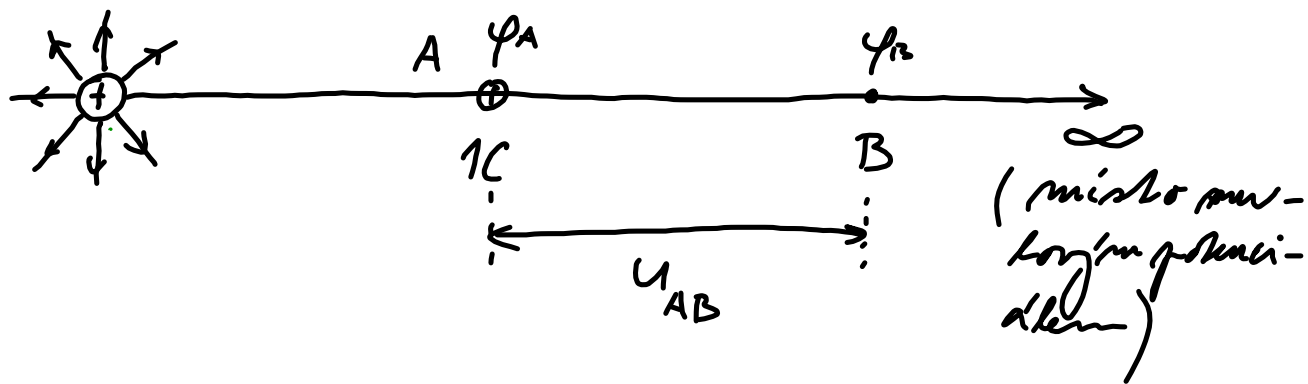
$$q \cdot U_{AB} = E_{PA} - E_{PB} \quad / : q$$

$$\underline{U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B} \quad \dots \text{elektrické napätí}$$

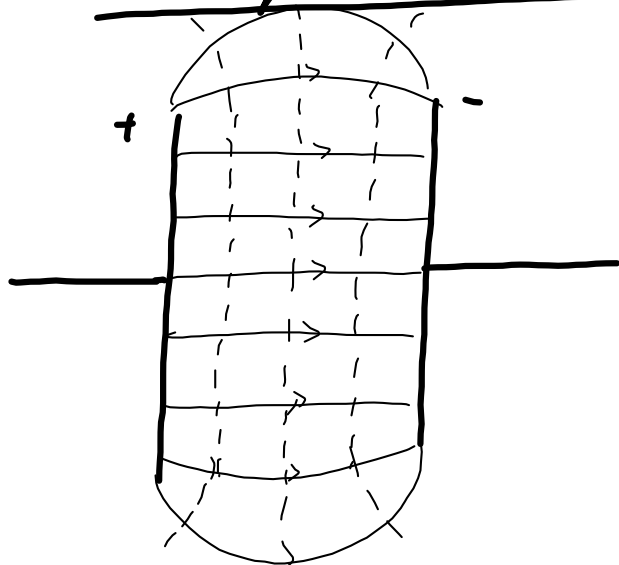
(mezi místy A a B) je rovnost rozdílu potenciálů

místo s nulovým potenciálem obvykle spojujeme: s povrchem země

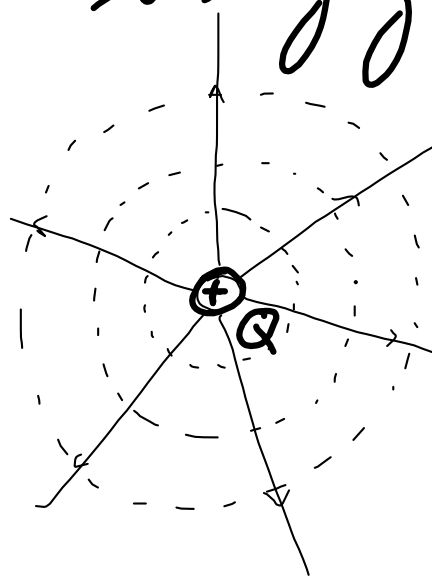
nebo s místem rovnoběžné vzdálenosti



Elektrická potenciální hladina - spojité místo



s stejným potenciálem



Pro radiální pole v obli máboje  $Q$  platí:


$$E_p = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2}$$

... potenciální energie máboje  $q$  ve vzdálenosti  $r$  od  $Q$ .

$$\varphi = \frac{E_p}{q} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q}{r}$$

Dů: Spočítej el. napětí mezi body A, B  
 vzdálenými 5 a 10 cm od bodového náboje 10 nC.  
 $Q = 10 \text{ nC} = 10 \cdot 10^{-9} = 10^{-8} \text{ C}$

dále - ekvipotenc. hladiny



$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r_A} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r_B} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right)$$

$$\varphi = \frac{E_p}{q} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r}$$

bez odvození!

$$U_{AB} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right) = 10^{-8} \cdot 9 \cdot 10^9 \left( \frac{1}{0,05} - \frac{1}{0,1} \right) =$$

$$= 90 \cdot (20 - 10) = \underline{\underline{900 \text{ V}}}$$

$$r_A = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m}$$

$$r_B = 0,1 \text{ m}$$

$$Q = 10^{-8} \text{ C}$$

$$k = 9 \cdot 10^9$$

musi body vzdálenými 5 a 10cm  
od náboje 10 nC bude napětí  
900V.

$$\underline{\underline{25 \downarrow 4 \bar{9}}}$$



Př:  $\varphi = ?$  v vzdálk. 0, 1 a 2 cm od uzem. desky (slep. pól) kladný pól 4,5 V baterie připojena na obvodu desek v vzdálk. 9 cm.

$x_1 = 0,01$  m  
 $x_2 = 0,02$  m  
 $d = 9 \text{ cm} = 0,09$  m  
 $U = 4,5 \text{ V}$

vzdálenost od desky x  
 $x=0 \quad \varphi_0 = 0 \text{ V}$

$E = \frac{U}{d} = \frac{4,5}{0,09} = 50 \text{ V/m}$   
 pro vzdálek x  
 $(\varphi_x - \varphi_0 = U_x = E \cdot x)$   
 $\varphi_x = E \cdot x$

pro  $x=1 \text{ cm} \quad \varphi_1 = E \cdot 0,01 = 50 \cdot 0,01 = 0,5 \text{ V}$   
 pro  $x=2 \text{ cm} \quad \varphi_2 = 50 \cdot 0,02 = 1 \text{ V}$

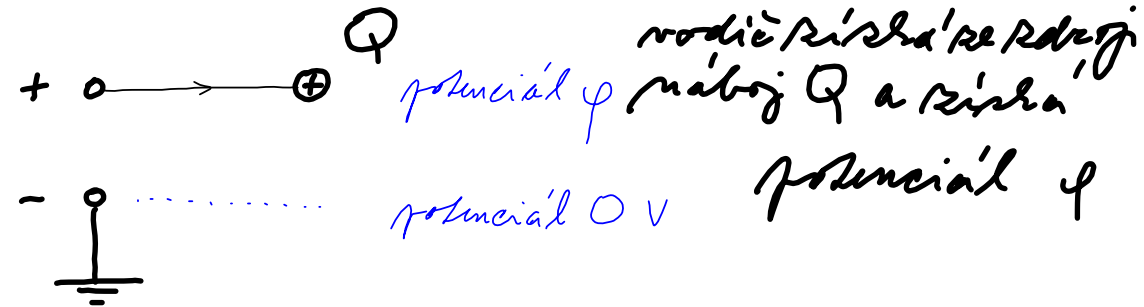
Elektrická síla  
 - plochy, spojující místa se stejným potenciálem.

Podle a izolované v.d. pólů

vodič

vodič s dielektrikem

## Kapacita vodiče a kondenzátor



$$Q \sim \varphi$$

$$Q = C \cdot \varphi \quad C \dots (\text{konstanta úměrnosti}) \text{ kapacita}$$

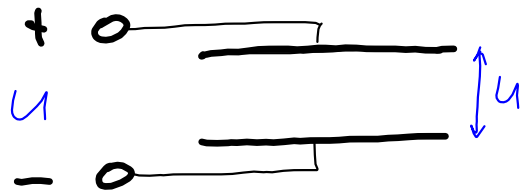
$$C = \frac{Q}{\varphi} \quad \text{jednotka } F \text{ (farad)} \quad \text{vodiče}$$

$$1 F = \frac{1C}{1V}$$

(potenciál na povrchu koule o poloměru  $r$  nabíjí nábojem  $Q$ )

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q}{r} \Rightarrow Q = 4\pi\epsilon r \cdot \varphi$$

$$C = 4\pi\epsilon r \quad (\text{kapacita koule o poloměru } r)$$

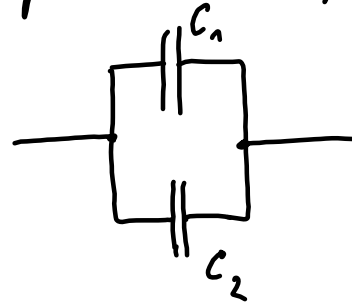


descripció condensaçió  
mà' capacitat:  $C = \frac{Q}{u} = \frac{\epsilon \cdot S}{d}$

$$\vdots \\ E_c = \frac{1}{2} C u^2 \\ \vdots$$

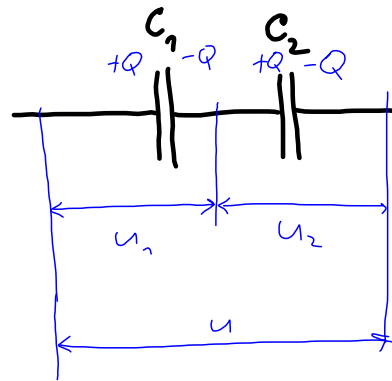
## Přeseri Kondenzátorů

paralelní zapojení



$$C = C_1 + C_2$$

seriové zapojení



$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

$$U = U_1 + U_2$$

$$\frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} \quad | :Q \quad C = \frac{Q}{U} \quad U = \frac{Q}{C}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

$$\underline{P.F.} \quad C_1 = 20 \mu F$$

$$\underline{C_2 = 300 \text{ mF} = 0,3 \mu F}$$

1. paral.  $C = C_1 + C_2 = \underline{20,3 \mu F}$

2. sèrie rap.

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{20} + \frac{1}{0,3} = \frac{1}{20} + \frac{10}{3} = \frac{3+200}{60} = \frac{203}{60}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{203}{60}$$

$$C \stackrel{\Downarrow}{=} \frac{60}{203} = 0,296 \mu F = \underline{296 \text{ mF}}$$

Elektrický proud v látkách  
(viz opak. kvarka)

El. proud jarko velicina - san. l ; jidu. A

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

Elektrichy' zdroj -

Elektromichy

Termoelektrichy

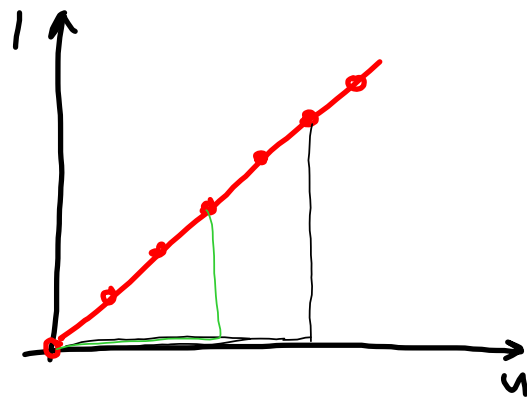
Elektrodynamichy

Fotoelektrichy

## Elektrický proud a odpor

Kovový vodič - obsahují volné elektrony

V-A charakteristika kovového vodiče



| $\bar{z}$ | $\frac{U}{V}$ | $\frac{I}{A}$ |
|-----------|---------------|---------------|
| 1.        | 0             | 0             |
| 2.        |               |               |

(pro malé napětí)

$I \sim U$  nebo  $\frac{U}{I} = \text{konst. } R \dots \text{ odpor jdn. } 1\Omega$

$I = G \cdot U$  ( $\frac{1}{G} = \text{konst.} \dots G \dots \text{ vodivost}$ )

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

Ohmův zákon



$$\begin{aligned} \underline{P_1:} \quad U &= 4,5V \\ I &= ? \\ R &= 9\Omega \end{aligned}$$

$$\left( U = R I \quad R = \frac{U}{I} \quad I = \frac{U}{R} \right)$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{4,5}{9} = \underline{\underline{0,5A}}$$

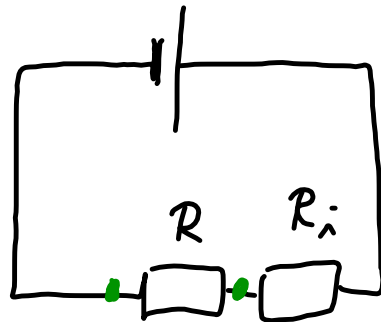
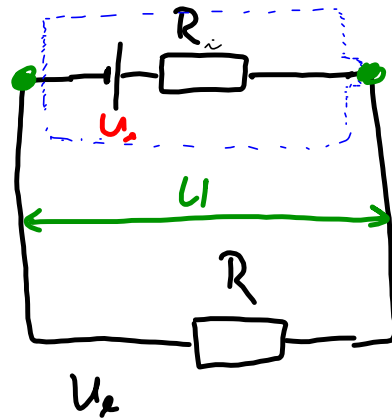
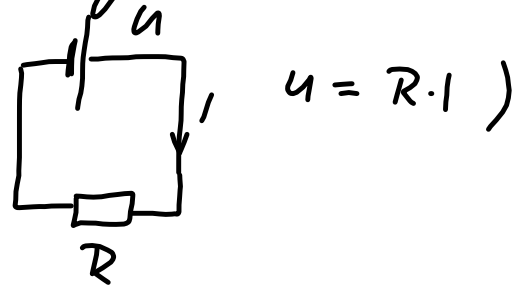
Jaké musí být napětí, má-li proud žárovkou proud 0,4A.

$$U = ? \quad R = 9\Omega \quad I = 0,4A$$

$$U = R \cdot I = 9 \cdot 0,4 = \underline{\underline{3,6V}}$$

# Usavený elektrický obvod

(viz dříve:



$R_i$  ... vnitřní odpor zdroje  
 $U$  ... svorková napětí  
 $U_e$  ... elektromotorické napětí

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

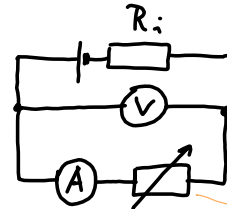
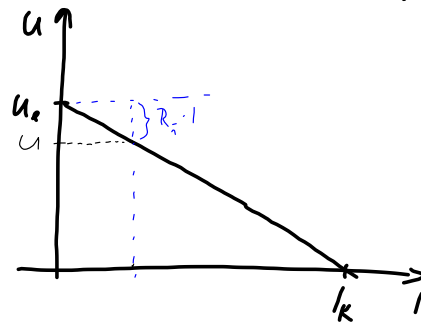
$$U_e = R \cdot I + R_i \cdot I$$

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

$$U = U_e - R_i \cdot I$$

úbytek napětí na vnitř. odp.

V-A charakt. zdvoje (zav. vnútorného napätia na odberávanú moc)



resistor (promenný odpor)

$$U = U_e - R_i \cdot I$$

max. proud poteče ze zdroja při  $R = 0 \Omega$  - zkrat

$I_k$  ... zkratový proud

$$U = 0$$

(pozn.  $U_e = R_i \cdot I_k \Rightarrow I = \frac{U_e}{R_i}$ )

PF: U2/42

Maximální olověný akumulátor má na svorkách napětí 12,4 V. Při odběru proudu 40 A naměříme svorkové napětí 11,2 V. Jaký je vnitřní odpor akumulátoru? Jaké bude svorkové napětí při odběru 60 A; 150 A?

$$U = U_e - R \cdot I$$

$$\begin{aligned} U_e &= 12,4 \text{ V} \\ I &= 40 \text{ A} \\ U &= 11,2 \text{ V} \end{aligned}$$

$$11,2 = 12,4 - R_i \cdot 40$$

$$R_i \cdot 40 = 12,4 - 11,2$$

$$R_i \cdot 40 = 1,2 \quad | :40$$

$$R_i = \frac{1,2}{40} = \frac{0,3}{10} = 0,03 \Omega$$

a)  $R_i = ?$

b)  $(U = ? \dots I = 60 \text{ A})$

$$U = 12,4 - 0,03 \cdot 60 = 12,4 - 1,8 = \underline{\underline{10,6 \text{ V}}}$$

c)  $U = ? \quad I = 150 \text{ A}$

$$U = 12,4 - 0,03 \cdot 150 = 12,4 - 4,5 = \underline{\underline{7,9 \text{ V}}} = 8 \text{ V}$$

( $\Rightarrow$  zapalovač musí fungovat i při napětí 8V)

Výkon el. proudu  $U$   $U$   $30 \downarrow 5 \overline{19}$   
 Dĺžka vodiče

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = \frac{Q \cdot E \cdot s}{t} = I \cdot U$$

(málok  $Q$  projde vodičem dĺžky  $s$  za dobu  $t$ )

$$I = \frac{Q}{t}$$

(musí vznikami odporu, ktoré majú vzdialenosť  $s$  sa vytvári elektrické pole s intenzitou  $E$ )

$$U = E \cdot s$$

---


$$P = U \cdot I$$

$$P = R \cdot I^2 \quad \left( \leftarrow U = R \cdot I \right) \dots \text{ke } V\text{-}A \text{ charakteristika}$$

$$P = \frac{U^2}{R} \quad \left( \leftarrow I = \frac{U}{R} \right) \dots \text{doplňte závislosť } P \text{ na } U.$$

Závislost el. odporu na délce a na plošce

$$R \sim l \quad l \dots \text{délka} \quad \leftarrow \text{viz kvarta}$$

$$R \sim \frac{1}{S} \quad S \dots \text{příčná plocha}$$

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad \rho \dots \text{měrný elektrický odpor}$$



el. odpor závisí na teplotě

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

$R_1 \dots$  nom. odpor

$R \dots$  reálný odpor při rozdílu teploty  $\Delta T$

$\alpha \dots$  teplotní součinitel elektrického odporu

úloha (ok 1)

Př: Máte vnitřní odpor zdroje, jedliže při  
rozděleném napětí 1,45 V dodává proud  
0,25 A a při spojení proud na 0,8 A klesne  
rozdělené napětí na 1,41 V.

---

$$R_i = ?$$

$$U_1 = 1,45 \text{ V}$$

$$I_1 = 0,25 \text{ A}$$

$$U_2 = 1,41 \text{ V}$$

$$I_2 = 0,8 \text{ A}$$

$$U = U_e - R_i \cdot I$$

$$1) U_1 = U_e - R_i \cdot I_1$$

$$1,45 = U_e - R_i \cdot 0,25 \quad \leftarrow$$

$$2) U_2 = U_e - R_i \cdot I_2$$

$$\textcircled{1} \quad 1,41 = U_e - R_i \cdot 0,8 \quad \leftarrow$$

$$\textcircled{2} \quad 1,45 = U_e - R_i \cdot 0,25$$

$$\textcircled{1} - \textcircled{2} \quad -0,04 = -R_i \cdot 0,55$$

$$R_i = \frac{0,04}{0,55} = \underline{\underline{0,072 \Omega}}$$

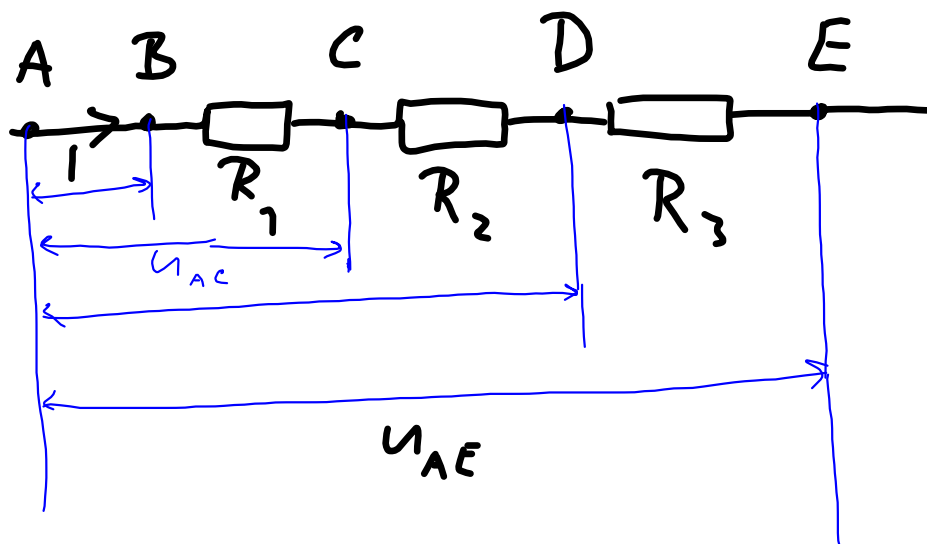
$$R_i = 0,07 \Omega$$


---

$$\text{a) } U_e = 1,41 + 0,072 \cdot 0,8 = \underline{\underline{1,47 \text{ V}}}$$

$$I_k = \frac{U_e}{R_i} = \frac{1,4687}{0,072} = \underline{\underline{20,2 \text{ A}}}$$

Pr: spočítejte napětí mezi body A, B;  
 A, C; A, D; , j-li napětí mezi A, E 10V  
 $U_{AE} = 10V$ ;  $R_1 = 10\Omega$   
 $R_2 = 20\Omega$   
 $R_3 = 20\Omega$



$$I = \frac{U}{R} = \frac{U_{AE}}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{10}{50} =$$

$$= 0,2 A$$

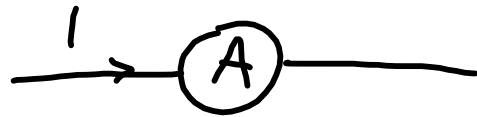
$$U_{AB} = 0 V$$

$$U_{AC} = R_1 \cdot I = 10 \cdot 0,2 = 2 V$$

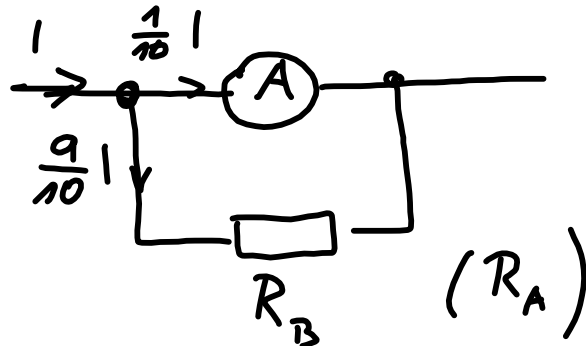
$$U_{AD} = (R_1 + R_2) \cdot I = 30 \cdot 0,2 = 6 V$$

$$( U_{AE} = 10 V )$$

# mierim prúd a napätí



smúna rozsaahu



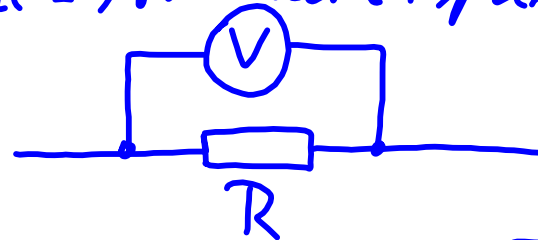
(odpor ampérmetru ( $R_A$ ) byvá veľmi malý)

$R_B$  ... bočnica

$$\frac{9}{10} I \cdot R_B = \frac{1}{10} I \cdot R_A \quad | \cdot \frac{10}{9 \cdot I}$$

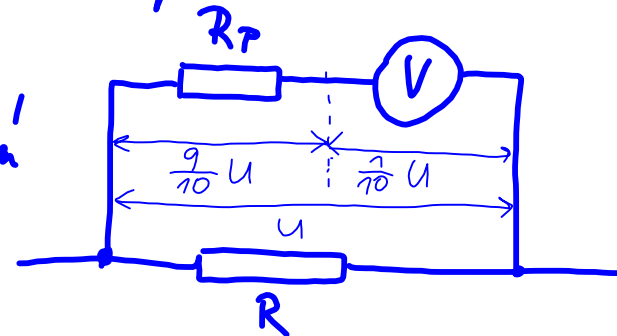
$$R_B = \frac{R_A}{9}$$

Dú - voltmetr + príklady



odpor voltmetru  $R_V$   
byvá veľmi veľký

smúna rozsaahu voltmetru  
(napätia 10 násobek)



$R_P$  ... predradný odpor

$$\frac{R_V}{R_P} = \frac{1}{9}$$

6.6. ↓ 19



$$n' 5/70 \quad R = 70,5 \Omega$$

$$d = 0,3 \text{ mm} = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$$L = 9,8 \text{ m}$$

$$\rho = ?$$

$$R = \rho \frac{L}{S} \Rightarrow \rho = \frac{R \cdot S}{L} = \frac{R \cdot \pi d^2}{4 \cdot L} = \frac{70,5 \cdot \pi \cdot 9 \cdot 10^{-8}}{4 \cdot 9,8}$$

$$= 0,51 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{m} = \underline{\underline{5,1 \cdot 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}}}$$

$$S = \pi r^2 = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi \cdot \frac{d^2}{4}$$

$$r = \frac{d}{2}$$

$$\text{ú} 2/73 \quad T_1 = 20^\circ\text{C} \quad \underline{C_m} \quad \alpha_c = 4 \cdot 10^{-3}$$
$$T_2 = 100^\circ\text{C}$$

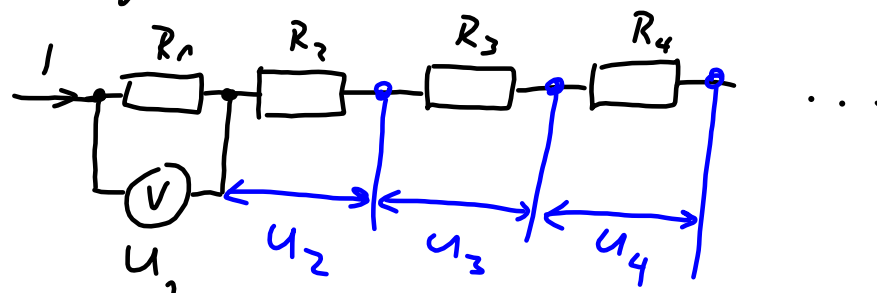
$$R_2 = R_1 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

$$R_2 = R_1 \cdot (1 + 4 \cdot 10^{-3} \cdot 80)$$

$$\frac{R_2}{R_1} = 1 + 32 \cdot 10^{-2} = 1,32 \quad \Rightarrow \text{ odpor se zvýší}$$

o 32 procent

úbytok napätia na odporoch



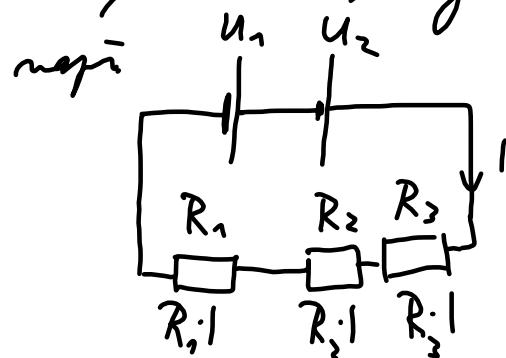
$$U_1 = R_1 \cdot I$$

$$U_2 = R_2 \cdot I$$

$$U_3 = R_3 \cdot I$$

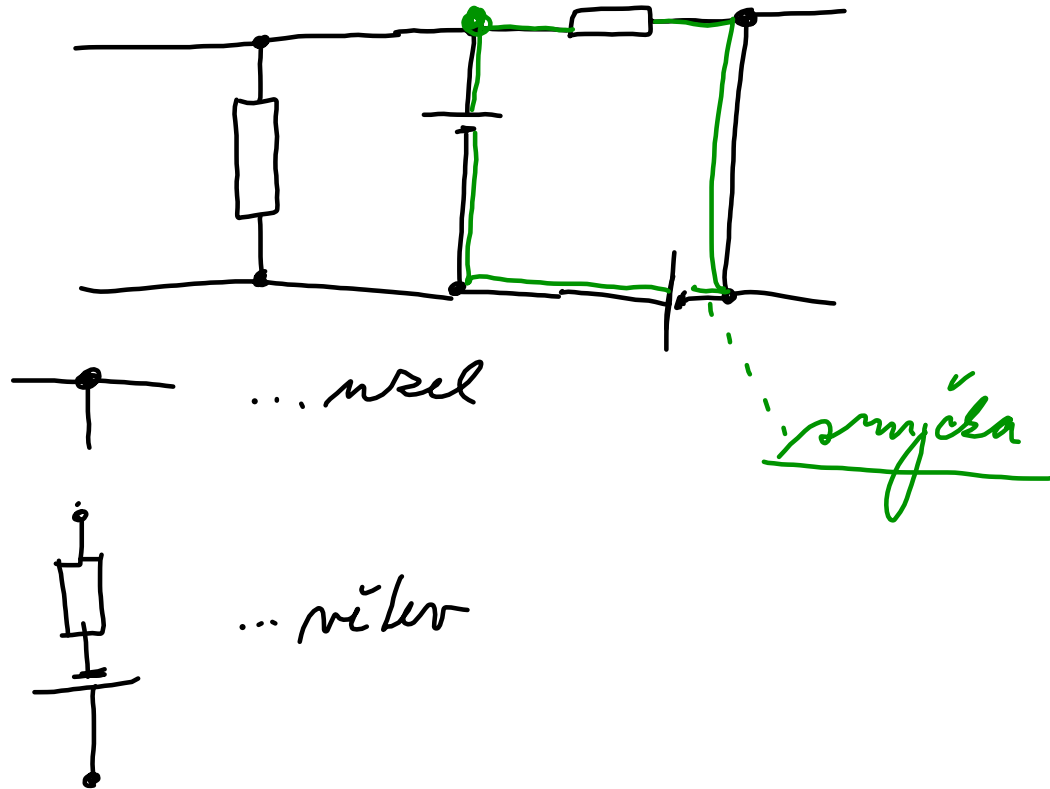
$\vdots$

Podnik elektrických napětí,  
 v uzavřeném obvodu se rovná  
 součet úbytků napětí na odporech.



$$U_1 + U_2 = R_1 \cdot I + R_2 \cdot I + R_3 \cdot I$$

Kirchhoffovy zákony  
(pro řešení rozvětvených obvodů)

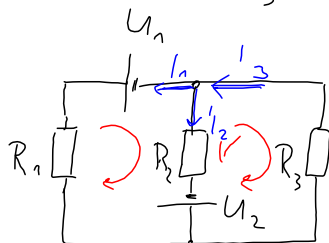


Účinný obvod - příklad

$$U_1 = 5V \quad R_1 = 10\Omega \quad I = ?$$

$$U_2 = 7V \quad R_2 = 20\Omega$$

$$R_3 = 30\Omega$$



$$I_1 = \frac{20 \cdot \frac{13}{110} - 2}{\frac{26}{11} - 2} = \frac{26 - 22}{10} = \frac{4}{10} = \frac{2}{55} \text{ A} (= 0,036\text{A})$$

$$I_3 = I_1 + I_2 = \frac{2}{55} + \frac{13}{110} = \frac{4 + 13}{110} = \frac{17}{110} \text{ A} (= 0,154\text{A})$$

$$I_2 = \frac{13}{110} \text{ A} (= 0,118\text{A})$$

$$I_3 = I_1 + I_2 = \frac{2}{55} + \frac{13}{110} = \frac{4 + 13}{110} = \frac{17}{110} \text{ A} (= 0,154\text{A})$$

$$I_3 = I_1 + I_2$$

$$\left. \begin{aligned} -U_1 + U_2 &= -R_1 I_1 + R_2 I_2 \\ -U_2 &= -R_2 I_2 - R_3 I_3 \end{aligned} \right\} \text{3 rovnice o třech} \\ \text{neznámých (I}_1, I_2, I_3)$$

$$2 = -10I_1 + 20I_2$$

$$-7 = -20I_2 - 30(I_1 + I_2)$$

$$2 = -10I_1 + 20I_2$$

$$+7 = +20I_2 + 30I_1 + 30I_2$$

$$2 = -10I_1 + 20I_2 \Rightarrow$$

$$7 = 50I_2 + 30I_1$$

$$7 = 50I_2 + 30 \cdot \frac{20I_2 - 2}{10}$$

$$7 = 50I_2 + 60I_2 - 6$$

$$13 = 110I_2$$

$$I_2 = \frac{13}{110} \text{ A} (= 0,118\text{A})$$

$$\frac{13/6 \downarrow 19}{10 \downarrow - \text{dopre} \cdot 2}$$

Rezistorem  $R_1$  protéká proud  $0,036\text{A}$ , rezistorem  $R_2$  proud  $0,118\text{A}$  a  $R_3$  proud  $0,154\text{A}$ .