

→ Vznik elektrického proudu

• elektrický proud jako děj

- uspořádaný pohyb volných částic s nábojem se nazývá elektrický proud
- může se jednat o uspořádaný pohyb elektronů, ale také kladných a záporných iontů
- kladné ionty se pohybují ve směru intenzity elektrického pole
- volné elektrony a záporné ionty směrem opačným
- na směr proudu se podle dohody považuje směr uspořádaného pohybu částic s kladným nábojem
 - v jednoduchém obvodu = směr od $\oplus \rightarrow \ominus$

• elektrický proud jako veličina - I

- prochází-li náboj průřezem vodiče rovnoměrně, je elektrický proud I určen podílem celkového náboje Q, který projde průřezem vodiče, a příslušné doby t

$$\underline{I = \frac{Q}{t}} \quad \underline{[I] = A = \text{Ampér}} \quad \rightarrow \text{stejnoseměrný proud}$$

- celkový náboj Q je určen součtem nábojů kladných částic, které se pohybují ve směru intenzity elektrického pole, a absolutní hodnoty nábojů záporných částic, které se pohybují opačným směrem

$$Q = I \cdot t$$

$$\underline{[Q] = C = A \cdot s = \text{Ampérasekunda}}$$

- elektrický proud neměříme, ale pozorujeme jeho účinky
 - rozsvítí se žárovka, galvanické porovnání...
- elektrický proud měříme ampérmetrem

→ Elektrický zdroj - stejnosměrného napětí

→ kvant el. proud je podmíněn udržováním stálého rozdílu elektrických potenciálů mezi svorkami zdroje = svorkové napětí

→ mezi \oplus a \ominus pólům vnějšího zdroje i ve vnější části obvodu vzniká elektrické pole, jehož siločáry směřují od kladného pólu k zápornému

→ vnější část obvodu

- volné částice s kladným nábojem se pohybují ve směru působení elektrostatických sil \vec{F}_e

- tyto síly konají práci, částice s nábojem ztrácejí elektrickou potenciální energii

→ přeměňuje se na jiné formy energie

(vodič se zahřívá, elektromotor koná práci...)

- práce vykonaná elektrostatickými silami ve vnější části obvodu při přenesení náboje Q

$$W = Q \cdot U \text{ - svorkové napětí}$$

→ vnitřní zdroj

$$F_m > F_e$$

- volné částice s kladným nábojem se pohybují proti směru působení elektrostatických sil \vec{F}_e

→ pohyb ve směru neelektrostatických sil $\rightarrow \vec{F}_m$

→ jiný než elektrostatický původ

- E_{pe} částic roste na úkor jiné formy energie uvolňované ve zdroji nebo přiváděním zvenku

- neelektrostatické síly při přenesení náboje Q vnitřní zdroj vykonají práci $W_z \rightarrow W_z = U_e \cdot Q$

- vztah $U_e = \frac{W_z}{Q}$ = elektromotorické napětí = U_e

↳ napětí mezi svorkami vnitřního zdroje

↳ konstanta pro daný zdroj

→ ke svorkám zdroje není připojen spotřebič

→ obvodem neprochází elektrický proud

→ elektrostatické a neelektrostatické síly jsou v rovnováze

→ svorkové napětí U_0 neaktivního zdroje je rovno elektromotorickému napětí U_e

→ ke svorkám zdroje je připojen spotřebič

→ připojením spotřebiče se zmenší náboj na pólech

→ povrch se rovnováha mezi F_e a F_m

⇒ stálý rozdíl el. potenciálů a stálý proud

$$W_z > W$$

$$U_e \cdot Q > U \cdot Q$$

$$U_e > U$$

→ příklady zdrojů

• galvanické články → ve zdroji se uvolňuje energie uvolněná při chem. reakci kovových elektrod s elektrolytem = vodičem

• fotoelektrický zdroj → fotočlánek

→ uvolnění energie světla dopadajícího na desku polovodiče

→ Kapacita akumulátoru

= celkový náboj Q , který může během používání poskytnout ten akumulátor
 $1C = 1A \cdot s$

$$\rightarrow \underline{1Ah = 3600As = 3600C}$$

↳ jaký proud by ten zdroj byl schopen dodat
po dobu 1 hodiny

→ Elektrický proud v kovových vodičích

→ Ohmův zákon - pro část obvodu

→ proud procházející kovovým vodičem stále teploty
je přímo úměrný napětí na koncích vodiče

$$\rightarrow \underline{I \sim U}$$

→ elektrický odpor - $R = \text{resistance}$

$$\underline{R = \frac{U}{I}} \quad \underline{[R] = VA^{-1} = \Omega = \text{Ohm}}$$

→ vodivost - G

$$\underline{G = \frac{1}{R}} \quad \underline{[G] = AV^{-1} = S = \text{Siemens}}$$

→ měrný elektrický odpor - $\rho = \text{resistivity}$

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

$$\underline{[\rho] = \Omega \cdot m}$$

↳ materiálová konstanta → tabulky

↳ S = obsah průčného řezu vodiče

↳ l = délka vodiče

→ závislost odporu na teplotě → ρ roste s Δ

$$\left. \begin{array}{l} \bullet \text{ při } \Delta_1 \rightarrow R_1 \\ \bullet \text{ při } \Delta \rightarrow R \end{array} \right\} \underline{R = R_1(1 + \alpha \Delta \Delta)}$$

$$\rightarrow \Delta \Delta = \Delta - \Delta_1$$

→ teplotní součinitel elektrického odporu - α

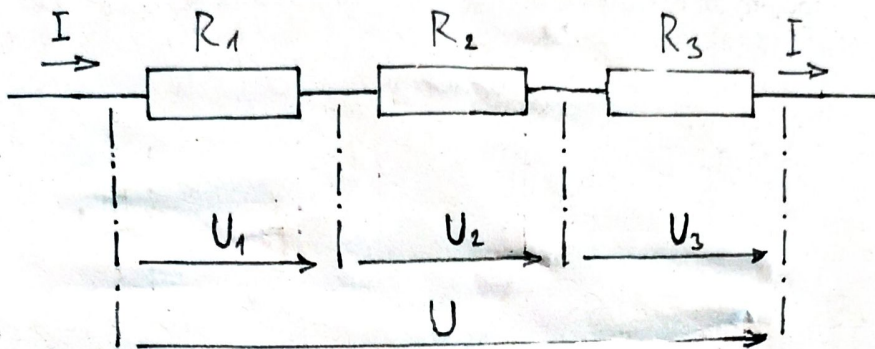
→ materiálová konstanta → tabulky

$$\rightarrow \underline{[\alpha] = \text{K}^{-1}}$$

→ Spojování rezistorů

- rezistor = součástka v el. obvodu se stálým el. odporem
- reostat, potenciometr - součástky s měnitelným el. odporem.

→ sériové zapojení rezistorů



• $I = I_1 = I_2 = I_3$

• $U = U_1 + U_2 + U_3$

• $U = I \cdot R$

$U = I \cdot R_1 + I \cdot R_2 + I \cdot R_3$

$U = I (R_1 + R_2 + R_3)$

$R = R_1 + R_2 + R_3$

• $U_1 = I \cdot R_1$

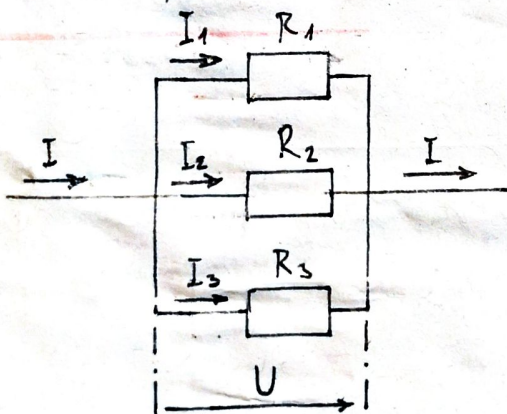
$U_2 = I \cdot R_2$

$U_3 = I \cdot R_3$

→ větší el. odpor na rezistoru
⇒ větší napětí na něm

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

→ paralelní zapojení rezistorů



• $U = U_1 = U_2 = U_3$

• $I = I_1 + I_2 + I_3$

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

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

• $I_1 = \frac{U}{R_1}$

$I_2 = \frac{U}{R_2}$

$I_3 = \frac{U}{R_3}$

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

• $I_1 : I_2 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_1} \cdot \frac{R_2}{1}$

$\Rightarrow I_1 : I_2 = R_2 : R_1$

→ Ohmův zákon pro uzavřený obvod

→ potenciometr

- rezistor s měnitelným odporem
- pohyblivý kontakt = jezdec

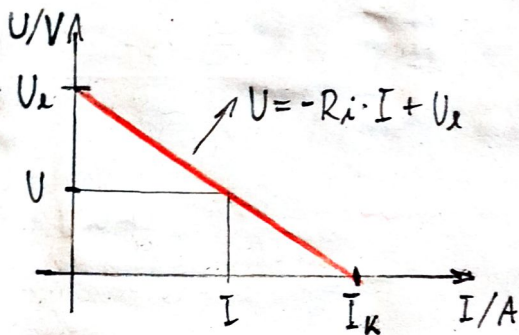
→ měním délku vodiče zapojeného v potenciometru

• $R \sim l \Rightarrow$ změna odporu

- měním R pomocí potenciometru

napěťová charakteristika zdroje

- graf závislosti svorkového napětí na proudu



• U_e - elektromotorické napětí

• I_K - zkratový proud

• $R \rightarrow 0$
• $U \rightarrow 0$ } $\Rightarrow I \rightarrow I_K$

vnitřní odpor zdroje - R_i

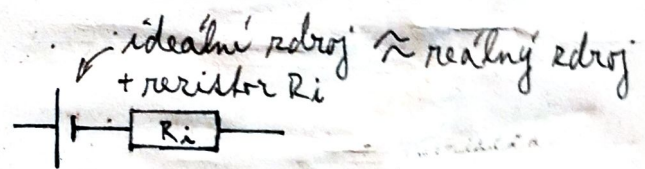
$U_e - U = I \cdot R_i$

→ vlastnost zdroje
→ konstanta

↳ $U = I \cdot R$ - vnější část obvodu

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

$U_e = I (R_i + R)$



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

← $I = \frac{U_e}{R_i + R}$

→ poměr elektromotorického napětí zdroje a celového odporu obvodu je roven proudu, který obvodem prochází

→ úbytek napětí na vnitřním odporu zdroje

$I \cdot R_i = U_e - U$

→ čím větší I → tím více se liší svorkové napětí a U_e

→ Elektrická práce a výkon v obvodu stejnosměrného proudu

• vnější část obvodu

• $W = Q \cdot U$ - svorkové napětí

↳ celkový náboj, který za čas t přenesly el. síly

→ $I = \frac{Q}{t} \Rightarrow \underline{W = U \cdot I \cdot t}$

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

• Jouleovo teplo - Q_J

- Jouleovo teplo vzniká v důsledku odporu vodiče

→ při průchodu proudu se zvyšuje vnitřní l. vodiče
⇒ uvolňování tepla Q_J do okolí

→ jestliže v obvodu nedochází k přeměně el. energie na jinou - mechanickou, chemickou

⇒ pak: $Q_J = W = U \cdot I \cdot t$

• $P = \frac{W}{t}$ → $P = U \cdot I$ → výkon pro spotřebiče

→ $P = \frac{U^2}{R}$

→ $P = I^2 \cdot R$

$[P] = W = \text{Watt}$

• vnitřní zdroje

• $W_Z = Q \cdot U_e$ ⇒ $W_Z = U_e \cdot I \cdot t$

• $P_0 = \frac{W_Z}{t}$ ⇒ $P = U_e \cdot I$ → výkon pro vnější část obvodu

• $\eta = \frac{P}{P_0} = \frac{W/t}{W_Z/t}$ ⇒ $\eta = \frac{W}{W_Z}$

= $\frac{U \cdot I}{U_e \cdot I}$ ⇒ $\eta = \frac{U}{U_e}$

} účinnost obvodu

↳ $\frac{R \cdot I^2}{(R + R_i) \cdot I^2} \Rightarrow \underline{\eta = \frac{R}{R + R_i}}$

→ Kirchhoffovy zákony

- elektrická síť → uzel = spojení alespoň 3 vodičů
- větev = spojení 2 sousedních uzlů
- smyčka = část elektrické sítě

- I. K. Zákon - pro uzel

$$\sum_{k=1}^m I_k = 0 \rightarrow \text{algebraický součet proudů v uzlu je roven 0}$$

- proudy vstupující do uzlu → \oplus
- proudy vystupující z uzlu → \ominus

- (směr proudu v uzavřeném obvodu je $\oplus \rightarrow \ominus$)

- II. K. Zákon - pro smyčku - ZZE pro el. obvody

$$\sum_{k=1}^m R_k \cdot I_k = \sum_{j=1}^m U_{e_j} \rightarrow \text{součet napětí na zdrojích je roven součtu napětí na spotřebičích (rezistorech)}$$

↗
všechna napětí

$$\sum_{k=1}^m U_k = 0$$

→ nejdříve určit orientaci smyčky - libovolně

→ směr rezistoru = směr el. proudu, který jím prochází

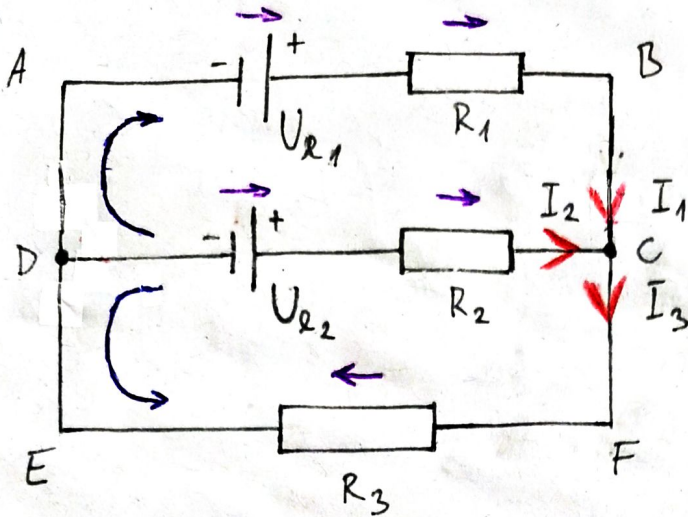
→ směr zdroje = směr neelektrostatických sil = $\ominus \rightarrow \oplus$

→ znaménka jednotlivých prvků určit podle toho, zda mají stejnou orientaci (směr) jako smyčka

→ mají → \oplus

→ nemají → \ominus

→ příklad → směry proudů nemáš určit správně



→ ⊖ ve výsledku

$$U_{e1} = 6V$$

$$U_{e2} = 4,5V$$

$$R_1 = 0,5 \Omega$$

$$R_2 = 1,5 \Omega$$

$$R_3 = 10 \Omega$$

$$\underline{I_1, I_2, I_3 = ?}$$

→ uzal C

$$\rightarrow \text{I.K.Z: } I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

→ smyčka ABCD

$$\rightarrow \text{II.K.Z: } R_1 \cdot I_1 - R_2 \cdot I_2 = U_{e1} - U_{e2}$$

→ smyčka CDEF

$$\rightarrow \text{II.K.Z: } -R_2 \cdot I_2 - R_3 \cdot I_3 = -U_{e2}$$

$$\Rightarrow \left. \begin{array}{l} I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ R_1 I_1 - R_2 I_2 = U_{e1} - U_{e2} \\ R_2 I_2 + R_3 I_3 = U_{e2} \end{array} \right\} \begin{array}{l} a + b - c = 0 \rightarrow c = a + b \\ \frac{1}{2}a - \frac{3}{2}b = \frac{3}{2} \rightarrow a = 3 + 3b \\ \frac{3}{2}b + 10c = \frac{9}{2} \end{array}$$

$$\rightarrow \text{Sub: } I_1 = a \wedge I_2 = b \wedge I_3 = c$$

$$\rightarrow \underline{3b + 20a + 20b = 9}$$

$$23b + 60 + 60b = 9$$

$$83b = -51$$

$$\underline{\underline{b = -\frac{51}{83}}}$$

$$\underline{a = 3 + 3b}$$

$$a = 3 - \frac{153}{83}$$

$$\underline{\underline{a = \frac{96}{83}}}$$

$$\underline{c = a + b}$$

$$c = \frac{96 - 51}{83}$$

$$\underline{\underline{c = \frac{45}{83}}}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{I_1 = 1,2 A}} \wedge \underline{\underline{I_2 = -0,6 A}} \wedge \underline{\underline{I_3 = 0,5 A}}$$

↳ ⊖ ⇒ skutečný směr proudu I_2 je opačný než směr nůsou zvolený (určený)

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

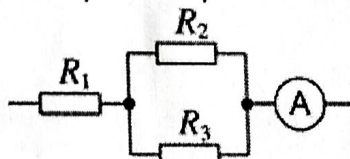
- 1) Kovovým vodičem protéká stejnosměrný proud 375 mA. ($e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ C). Vypočítejte:
- elektrický náboj, který projde průřezem vodiče za tři a půl minuty,
 - dobu, za kterou projde průřezem vodiče náboj 18 C,
 - počet volných elektronů, které projdou průřezem vodiče za 2 μ s,
 - dobu, za kterou projde průřezem vodiče 7 500 000 000 volných elektronů.

$$(a) Q = I \cdot t = 78,75 \text{ C}; \quad b) t = \frac{Q}{I} = 48 \text{ s}; \quad c) N = \frac{I \cdot t}{e} \doteq 4,68 \cdot 10^{12}; \quad d) t = \frac{N \cdot e}{I} = 3,204 \text{ ns}$$

- 2) Při měření VA charakteristiky žárovky bylo zjištěno, že při napětí mezi svorkami žárovky 12 V je hodnota elektrického odporu žárovky 16 Ω a teplota vlákna žárovky 1220 $^{\circ}$ C. Vypočítejte výkon elektrického proudu při tomto měření, velikost elektrického proudu procházejícího žárovkou a teplotní součinitel elektrického odporu materiálu vlákna žárovky, je-li při teplotě 20 $^{\circ}$ C odpor vlákna 2,5 Ω .

$$(P = \frac{U^2}{R} = 9 \text{ W}; \quad I = \frac{U}{R} = 0,75 \text{ A} (= 750 \text{ mA}); \quad \alpha = \frac{R - R_0}{R_0 \cdot (t - t_0)} = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1})$$

- 3) Ampérmetr a rezistory o odporech $R_1 = 40 \Omega$, $R_2 = 100 \Omega$ a $R_3 = 150 \Omega$ byly zapojeny do obvodu stejnosměrného elektrického proudu podle obrázku:



Elektrický proud změřený ampérmetrem byl 75 mA. Vypočítejte celkový odpor soustavy rezistorů, napětí na jednotlivých rezistorech, elektrický proud procházející jednotlivými rezistory a výkon elektrického proudu procházejícího soustavou rezistorů.

$$(R_c = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = 100 \Omega; \quad U_1 = R_1 \cdot I = 3 \text{ V}; \quad U_2 = U_3 = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} \cdot I = 4,5 \text{ V}; \quad I_1 = I = 0,075 \text{ A} (= 75 \text{ mA}); \quad I_2 = \frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot I = 0,045 \text{ A} (= 45 \text{ mA}); \quad I_3 = \frac{R_2}{R_2 + R_3} \cdot I = 0,03 \text{ A} (= 30 \text{ mA}); \quad P = (R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}) \cdot I^2 = 0,5625 \text{ W} (= 562,5 \text{ mW}))$$

- 4) Na svorkách zdroje, ke kterému je připojena žárovka o příkonu 8 W, je napětí 12 V. Elektromotorické napětí zdroje je 12,2 V. Vypočítejte proud procházející žárovkou, odpor žárovky a vnitřní odpor zdroje.

$$(I = \frac{P}{U} = \frac{2}{3} \text{ A} \doteq 667 \text{ mA}; \quad R = \frac{U^2}{P} = 18 \Omega; \quad R_i = U \cdot \frac{U_e - U}{P} = 0,3 \Omega)$$

- 5) Žárovka v obrysovém světle automobilu při napětí 12 V odebírá výkon elektrického proudu 6 W. Určete:
- elektrický odpor svítící žárovky,
 - teplotu vlákna žárovky, když při teplotě 20 $^{\circ}$ C má nerozsvícená žárovka elektrický odpor 3 Ω a teplotní součinitel elektrického odporu materiálu vlákna žárovky je $4 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.
- 6) Vypočítej elektrický odpor mezi konci železné tyče průměru 1 cm, je-li její hmotnost 1 kg. ($\rho_{Fe} = 8,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$, $\rho = 7,6 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

ELEKTRICKÝ PROUD, EL. OBVOD

① $I = 0,375 \text{ mA}$

a) $t = 210 \text{ s} \rightarrow Q = ?$

b) $Q = 18 \text{ C} \rightarrow t = ?$

c) $t = 2 \mu\text{s} \rightarrow N = ?$

d) $N = 7,5 \cdot 10^9 \rightarrow t = ?$

a) $I = \frac{Q}{t} \Rightarrow Q = I \cdot t = 0,375 \cdot 210 \text{ C} = \underline{78,75 \text{ C}}$

b) $t = \frac{Q}{I} = \frac{18}{0,375} \text{ s} = \underline{48 \text{ s}}$

c) $Q = N \cdot e = I \cdot t \Rightarrow N = \frac{I \cdot t}{e}$

$N = \frac{0,375 \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{1,602 \cdot 10^{-19}} = \underline{4,68 \cdot 10^{12}}$

d) $t = \frac{N \cdot e}{I} = \frac{7,5 \cdot 10^9 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}}{0,375 \cdot 10^{-3}} \text{ s} = \frac{7,5 \cdot 1,602}{375 \cdot 10^{-7}} \text{ s} = 3,2 \cdot 10^{-9} \text{ s} = \underline{3,2 \text{ ns}}$

② $U = 12 \text{ V}$
 $R = 16 \Omega$
 $t = 1220 \text{ s}$
 $P, I = ?$

$U = R \cdot I \Rightarrow I = \frac{U}{R} = \frac{12}{16} \text{ A} = \underline{0,75 \text{ A}}$

$P = U \cdot I = \frac{U^2}{R} = \frac{12 \cdot 12}{16} \text{ W} = \underline{9 \text{ W}}$

$\alpha_0 = 20^\circ\text{C}, R_0 = 2,5 \Omega \rightarrow \alpha = ?$

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

$\alpha = \frac{R - R_0}{R_0 \Delta t} = \frac{16 - 2,5}{2,5 \cdot (1220 - 20)} \text{ K}^{-1} = \frac{13,5}{25 \cdot 1200} \text{ K}^{-1} = \underline{4,5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}}$

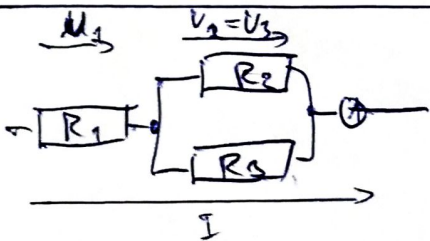
③ $R_1 = 40 \Omega$
 $R_2 = 100 \Omega$
 $R_3 = 150 \Omega$
 $I = 75 \text{ mA}$

$R = R_1 + \left(\frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}\right) = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$

$R = 40 + \frac{100 \cdot 150}{100 + 150} \Omega = 40 + \frac{15 \cdot 10^3}{250} \Omega = \underline{100 \Omega}$

$R_1, U_1, U_2, U_3, I_1, I_2, I_3, P = ?$

$P = UI = R \cdot I^2 = 100(75 \cdot 10^{-3})^2 = \underline{0,5625 \text{ W}}$



$I_1 = I = \underline{75 \text{ mA}} \Rightarrow U_1 = R_1 I_1 = \underline{3 \text{ V}}$

$U_2 = U_3 = R_{23} I = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} I = \underline{4,5 \text{ V}}$

$\Rightarrow I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{4,5}{100} \text{ A} = \underline{45 \text{ mA}}$

$\Rightarrow I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{4,5}{150} \text{ A} = \underline{30 \text{ mA}}$

④ $P = 8 \text{ W}$ → výkon spotřebiče = výkon obvodu
 výkon obvodu = výkon zdroje

$U = 12 \text{ V}$

$U_e = 12,2 \text{ V}$

$I, R, R_i = ?$

$P = U \cdot I \Rightarrow I = \frac{P}{U} = \frac{8}{12} \text{ A} = \underline{0,6 \text{ A}}$

$U = R \cdot I \Rightarrow R = \frac{U}{I} = U \cdot \frac{U}{P} = \frac{U^2}{P} = \frac{12 \cdot 12}{8} \Omega = 3 \cdot 6 \Omega = \underline{18 \Omega}$

$U_e = (R + R_i) I$

$\frac{U_e}{I} = R + R_i \Rightarrow R_i = \frac{U_e}{I} - R = \frac{U_e \cdot U}{P} - \frac{U^2}{P} = \frac{U(U_e - U)}{P} = \frac{12 \cdot 0,2}{8} \Omega = \underline{0,3 \Omega}$

⑤ $U = 12 \text{ V}$
 $P = 6 \text{ W}$

a) $R = ?$: $P = UI = U \cdot \frac{U}{R} \Rightarrow R = \frac{U^2}{P} = \frac{12 \cdot 12}{6} \Omega = \underline{24 \Omega}$

b) $\Delta_0 = 20^\circ$, $R_0 = 3 \Omega$, $\alpha = 4 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1} \rightarrow \Delta = ?$

$R = R_0(1 + \alpha \Delta) \Rightarrow \frac{R}{R_0} = 1 + \alpha(\Delta - \Delta_0) = 1 + \alpha \Delta - \alpha \Delta_0$

$\Rightarrow \frac{R}{R_0} - 1 + \alpha \Delta_0 = \alpha \Delta \Rightarrow \Delta = \frac{R - R_0}{R_0 \alpha} + \Delta_0$

$\Rightarrow \Delta = \frac{24 - 3}{3 \cdot 4 \cdot 10^{-3}} + 20^\circ \text{C} = \frac{4 \cdot 10^3}{4} + 20^\circ \text{C} = \underline{1770^\circ \text{C}}$

⑥ $d = 1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m}$ rezistivita
 $m = 1 \text{ kg}$

$\rho_{Fe} = 8,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$

$\rho = 7,6 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$

$R = ?$

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

$R = \rho \cdot \frac{1}{S} \cdot \frac{m}{\rho}$

$R = \rho_{Fe} \cdot \frac{m}{\rho} \cdot \frac{16}{\pi^2 d^4}$

$R = \frac{8,7 \cdot 10^{-8} \cdot 16}{7,6 \cdot 10^3 \cdot \pi^2 \cdot 10^{-8}} \Omega = \frac{8,7 \cdot 16}{7,6 \cdot \pi^2 \cdot 10^3} \Omega = \underline{1,85 \text{ m}\Omega}$

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



$S \cdot l = V \Rightarrow l = \frac{V}{S}$

$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow V = \frac{m}{\rho}$