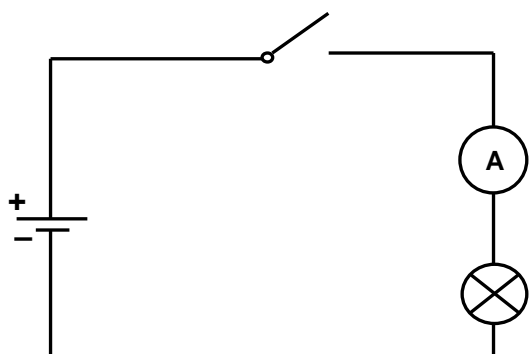


# VEDENÍ ELEKTRICKÉHO PROUDU V KOVECH

## 1. Elektrický proud ( $I$ ). Zdroje proudu

- **elektrický proud** = uspořádaný pohyb volných částic s elektrickým nábojem mezi dvěma místy o různém potenciálu
- kladné částice (kationty, díry) se pohybují ve směru  $\vec{E}$ . Směr proudu podle dohody: od + k –
- záporné částice (elektrony, anionty) se pohybují proti  $\vec{E}$ : od – k +, to je proti směru konvenčního proudu!
- **jednoduchý obvod**



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

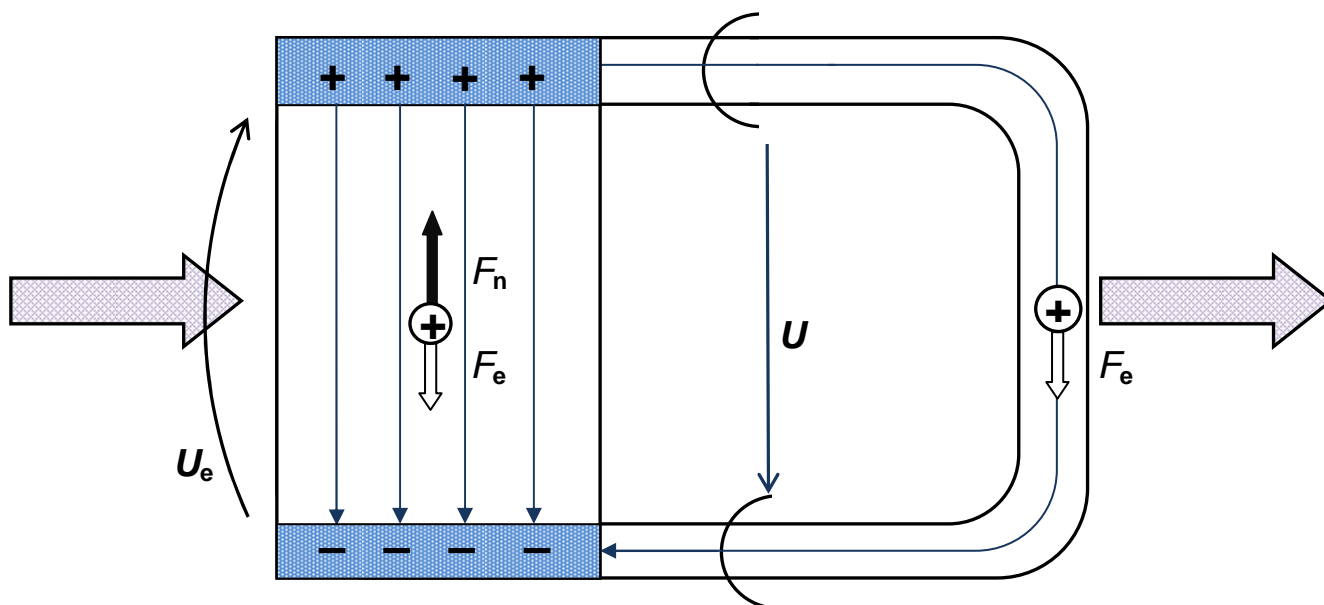
$Q$  ... náboj procházející průřezem vodiče  
 $t$  ... časový interval

$$[I] = \text{A (ampér)}$$

Definice 1 A – základní jednotka soustavy SI:

2 paralelní nekonečně dlouhé vodiče ve vakuu 1 m vzdálené od sebe, nesoucí 1 A, působí na sebe navzájem magnetickou silou  $2 \cdot 10^{-7}$  N na jeden metr jejich délky

- $Q = It \Rightarrow [Q] = \text{A} \cdot \text{s}$
- **zdroje el. proudu** musí udržovat stálý rozdíl elektrických potenciálů (napětí) mezi póly + a –, energie musí být dodávána „zvenku“





INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

- **zdroje stejnosměrného proudu**

- galvanický článek – 2 různé kovy oddělené nějakým elektrolytem – využíváme energii uvolněnou při chemické reakci – chemická přeměna
- fotočlánek (fotoelektrický zdroj) – energie přenášená elektromagnetickým vlněním je přeměněna na elektrickou energii – obnovitelný zdroj
- termočlánek – 2 různé kovy a dva spoje mezi nimi o různých teplotách – velmi malý stálý proud – viz Y4 měření teploty
- usměrnění střídavého proudu – běžně využíváno, bude vysvětleno později v rámci tématu Střídavý proud

## 2. Vedení elektrického proudu v kovech

- struktura kovů – kationty tvoří krystalovou mřížku, valenční elektrony se mohou volně pohybovat mezi ionty – „elektronový plyn“
- 2 typy pohybu volných elektronů
  - náhodný chaotický pohyb – vždy přítomný,  $v \approx 10^5$  nebo  $10^6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
  - v důsledku vnějšího elektrického pole – unášivá rychlost, pouze  $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ !

$$v = \mu_e E$$

$\mu_e$  ... materiálová konstanta (pohyblivost elektronů)

závisí na počtu elektronů v  $\text{m}^3$

pro Cu drát  $I = 1 \text{ A}$ ,  $S = 0,1 \text{ mm}^2$  unášivá rychlost = pouze asi  $0,6 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$

- **odpor  $R$**

vyjadřuje „překážku“ pro elektrický proud

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

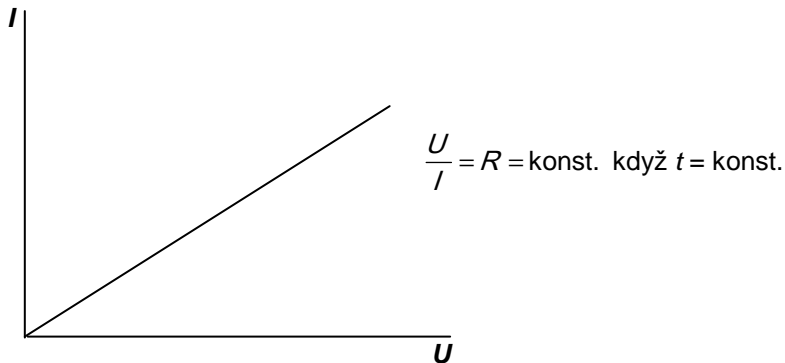
Odpor je podíl napětí mezi konci vodiče (kovu) k proudu, který jím prochází.

$$[R] = \frac{\text{V}}{\text{A}} = \Omega \text{ (ohm)}$$

Ohmův zákon pro část obvodu

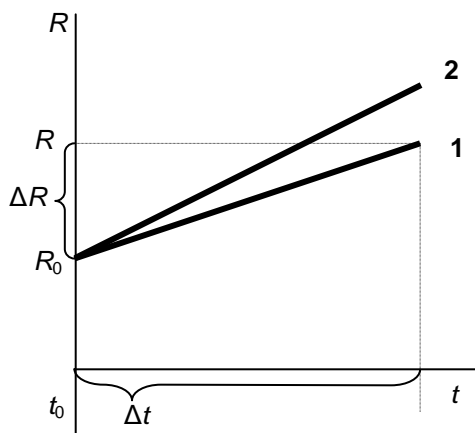
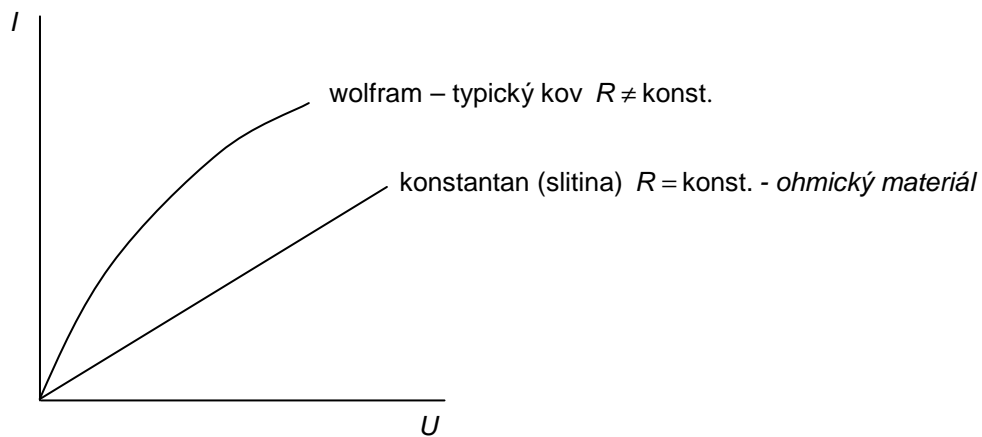
Veličina odpor (rezistance) je pro daný vodič za stálé teploty stálá (charakteristická).

- Voltampérová charakteristika (graf závislosti  $I-U$ )



- Co když se teplota kovu mění?

Když *teplota roste* (např. kvůli procházejícímu proudu), krystalová mřížka více kmitá – větší překážka proudu, ale počet volných elektronů zůstává stejný (plyn  $e^- = e^-$  z poslední slupky)  $\Rightarrow$  *odpor v kovech roste*



$\Delta R \approx \Delta t, R_0$  (při 20 °C), materiál ( $\alpha$ ) ... teplotní součinitel el. odporu

$$\alpha = \frac{\Delta R}{R_0 \Delta t}$$

$$\Delta R = R_0 \alpha \Delta t \quad \text{změna odporu}$$

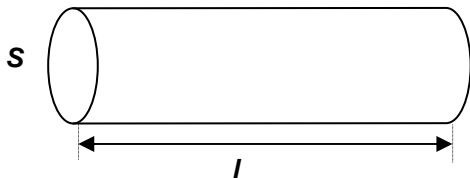
$$R = R_0 + \Delta R = R_0 (1 + \alpha \Delta t) \quad \text{nový odpor}$$

- el. vodivost  $G$**

$$G = \frac{1}{R} = \frac{I}{U} \quad [G] = \Omega^{-1} = \text{S (siemens)}$$

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

Odpor kovového vodiče závisí na jeho rozměrech (platí i pro jiné materiály)



$$R \approx l, \frac{1}{S}, \text{ materiál } (\rho)$$

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

$$\{\rho\} = \{R\} \Leftrightarrow l = 1\text{m} \wedge S = 1\text{m}^2$$

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

$$[\rho] = \Omega \frac{\text{m}^2}{\text{m}} = \Omega \cdot \text{m}$$

rezistivita a změna teploty – stejně jako pro odpor

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha \Delta t)$$



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**Otázky:**

1. Vodičem připojeným ke zdroji napětí 4,5 V projde za 20 minut náboj 15 C. Určete odpor vodiče.

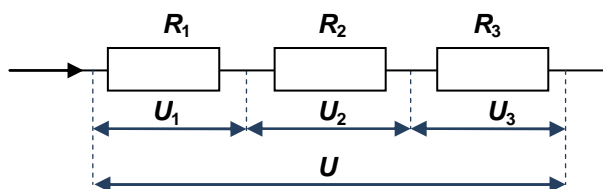
2. Jakou délku má konstantanový drát o průměru 0,40 mm a odporu 20,0 ohmů? Předpokládejte měrný odpor konstantanu  $5.0 \times 10^{-7} \Omega \cdot m$ .

L5/58-63, 66-68, x71, 72, 74-82

materiál	rezistivita v $\Omega \cdot m$	$\alpha$ v $10^{-3} K^{-1}$	použití
stříbro	$1,6 \cdot 10^{-8}$	3,8	
měď	$1,7 \cdot 10^{-8}$	4	
hliník	$2,4 \cdot 10^{-8}$	4	
konstantan	$4,9 \cdot 10^{-7}$	0,05	
chromnikl	$1,1 \cdot 10^{-6}$	0,18	
uhlík	$3 \cdot 10^{-5}$		
germanium	0,6		
křemík	2 300		
sklo	$10^{10}-10^{14}$		

### 3. Spojování rezistorů

- sériové zapojení rezistorů



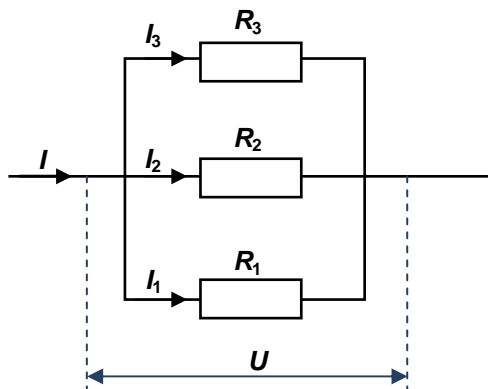
$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

$$I = I_1 = I_2 = I_3 \quad U = RI$$

$$RI = R_1I + R_2I + R_3I$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

- paralelní zapojení rezistorů



$$U = U_1 = U_2 = U_3$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

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

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

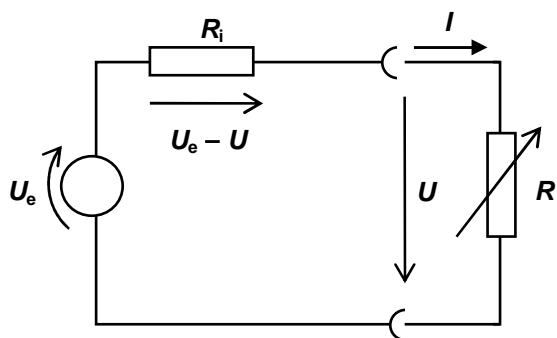
#### Otázky:

3. Vypočítejte celkový odpor dvou rezistorů ( $15\Omega$ ,  $20\Omega$ ) spojených a) sériově b) paralelně. Celkové napětí na obou rezistorech je 24V. Vypočítejte napětí na každém z rezistorů a procházející proudy pro zapojení a) i b).

L5/ 84-95, 125-127, 132, 134-6, 139-142

#### 4. Elektromotorické napětí, vnitřní odpor ( $R_i$ )

Vezmeme-li jako zdroj článek a změříme-li napětí v okamžiku, kdy není využíván jako zdroj – **neprochází žádný proud**, pak měříme ve skutečnosti jeho elektromotorické napětí (napětí nezatíženého zdroje, napětí naprázdno). Jestliže měříme napětí stejného článku, když dodává proud např. žárovce ve svítilně, hodnota napětí je menší než hodnota elektromotorického napětí. Je to obecná vlastnost jakéhokoliv zdroje. Kvalitní zdroje nemají téměř žádný efekt na hodnotu napětí. Chování zdroje můžeme popsat použitím teoretické veličiny vnitřní odpor. Kvalitní zdroje mají malý  $R_i$ .



**Ohmův zákon pro celý obvod:** 
$$U_e = R_i I + RI = R_i I + U = I(R_i + R)$$

#### Otázky:

4. Baterie o elektromotorickém napětí 12 V a vnitřním odporu 2  $\Omega$  je připojena k rezistoru z vinutého drátu o odporu 10 ohmů. a) Spočítejte napětí na desetiohmovém rezistoru. b) Jaké bude napětí na 10  $\Omega$  rezistoru, pokud k němu připojíme paralelně rezistor 15  $\Omega$ ? Nakreslete schémata obou zapojení.

5. Voltmetr o velmi vysokém odporu je připojen k elektrické baterii v otevřeném obvodu a naměří 1,5 V. Když baterie dodává proud 0,35 A žárovce odporu  $R$ , naměří na ní voltmetr 1,2 V. Určete:

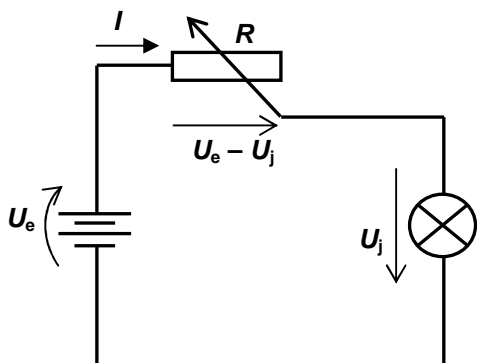
- elektromotorické napětí baterie
- vnitřní odpor baterie
- hodnotu  $R$

## 5. Komponenty v elektrických obvodech

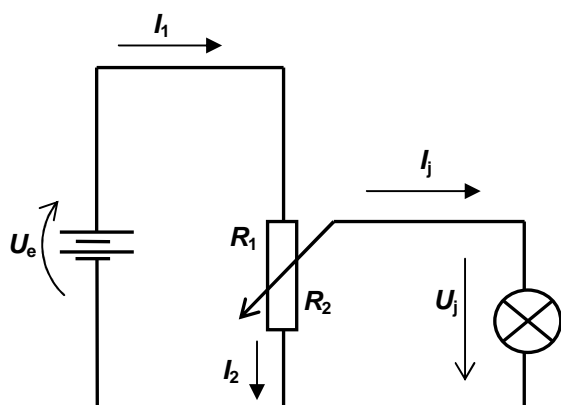


- **potenciometr**

jako **REOSTAT** – mění odpor v obvodu



jako **DĚLIČ NAPĚTÍ** – když je potřeba menší napětí, než nabízí zdroj





- **ampérmetr**

měří proud, který jím prochází, tudíž musí mít zanedbatelný odpor, aby jeho včleněním do měřeného obvodu došlo k co nejmenším změnám proti původnímu stavu obvodu.

Je zapojen POUZE .....

Načrtni obvod se zdrojem, žárovkou a ampérmetrem:

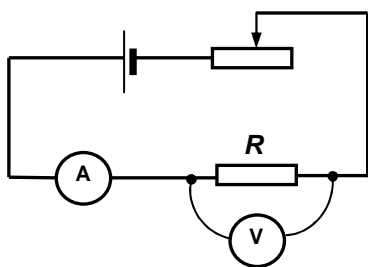
- **voltmetr**

měří napětí na jakémkoli zdroji nebo části obvodu.

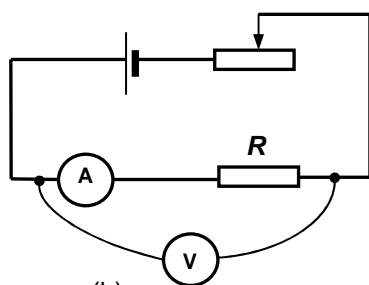
Je zapojen POUZE .....

Načrtni obvod se zdrojem, žárovkou, voltmetrem a ampérmetrem:

Vysvětlete rozdíl mezi následujícími zapojeními a hodnotami proudu a napětí měření na každém z nich:



(a)



(b)



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

- **multimetr** (viz doplňující materiály)  
je kombinované zařízení používané k měření proudu, napětí, odporu a někdy také jiných speciálních veličin. Obsahuje AD (analogově-digitální) převodník. Je možné měnit stupnici (viz doplňující materiály). Hodnoty se odečítají na displeji. Pozor na zapojení ampérmetru (proč?).

## 6. Kirchhoffovy zákony

- týkají se ustálených proudů a elektromotorických napětí v sériových a paralelních obvodech.

- **První Kirchhoffův zákon**

Algebraický součet proudů v uzlu je nulový.

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

- **Druhý Kirchhoffův zákon**

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

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

Použitím těchto zákonů získáme soustavu nezávislých rovnic, jejichž vyřešením dostaneme proudy v různých větvích obvodu atd. K tomu potřebujeme znalost ZNAMÉNKOVÉ KONVENCE, která je aplikována později.

### METODA:

#### 1. VYBER:

- smyčky – všechny složky musí být zahrnuty
- směr výpočtu (obíhání nebo postupu) – doporučujeme ve směru pohybu hodinových ručiček
- směr proudu – jestliže je ve skutečnosti směr proudu opačný, dostaneme ve výsledku zápornou hodnotu proudu

#### 2. OZNAČ: přírůstek potenciálu na zdroji – od – k +

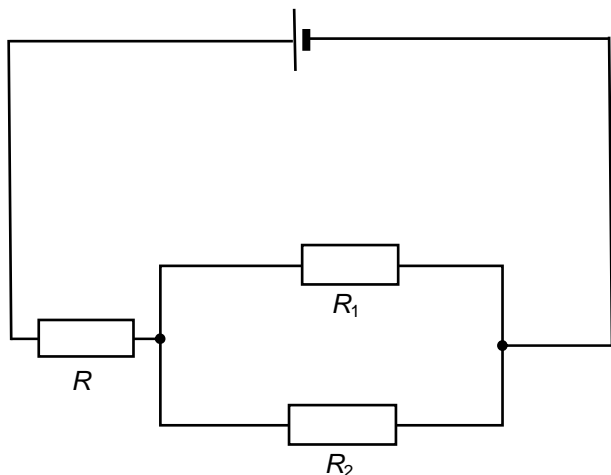
#### 3. Napiš rovnice – 1. KZ a 2. KZ

Jestliže směr obíhání nesouhlasí se směrem proudu procházejícího rezistorem, bereme  $RI$  se záporným znaménkem. Jestliže přírůstek potenciálu nesouhlasí se směrem obíhání, bereme  $U_e$  se záporným znaménkem.

### Otázky:

6. Určete proudy procházející rezistory, pokud  $R = 2.6 \Omega$ ,  $R_1 = 4 \Omega$ ,  $R_2 = 6 \Omega$ ,  $U_e = 10 \text{ V}$

- a) bez použití Kirchhoffových zákonů    b) pomocí Kirchhoffových zákonů





INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

#### 4. Elektrická práce, výkon a účinnost

- **elektrická práce ( $W$ )**

$$\varphi_B - \varphi_A = U = \frac{W}{Q}$$

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

$$[W] = \text{J}$$

- **výkon elektrického proudu ( $P$ )**

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

$$[P] = \text{W (watt)}$$

- **účinnost ( $\eta$ )**

$$\eta = \frac{W_{\text{vykonaná}}}{W_{\text{dodaná}}} = \frac{E_{\text{vydaná}}}{E_{\text{dodaná}}} = \frac{\text{výkon}}{\text{přířiko}} = \frac{U}{U_e} = \frac{R}{R + R_i} \leq 1$$

#### Otázky:

7. Žárovka je označena 24 V, 150 W. Vypočítejte odpor a procházející proud.

8. Rezistor má odpor 100  $\Omega$  a výkon 0,25 W. Vypočítejte proud procházející rezistorem a napětí na rezistoru.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

9. Zdroj elektromotorického napětí  $4,8\text{ V}$  s vnitřním odporem  $1,3\ \Omega$  je použit jako zdroj pro malou žárovku a pak dodává proud  $0,35\text{ A}$ . Určete napětí na žárovce, příkon a účinnost.

**L5/170-201, x202-209**

**Odpovědi:**

1.  $360\ \Omega$
2.  $5,0\text{ m}$
3. a)  $0,69\text{ A}$ ;  $10,3\text{ V}$ ;  $13,7\text{ V}$       b)  $1,6\text{ A}$ ;  $1,2\text{ A}$ ;  $24\text{ V}$
4.  $10\text{ V}$ ;  $9\text{ V}$
5.  $1,5\text{ V}$ ;  $0,86\ \Omega$ ;  $3,43\ \Omega$
6.  $I = 2\text{ A}$ ,  $I_1 = 1,2\text{ A}$ ,  $I_2 = 0,8\text{ A}$
7.  $3,84\ \Omega$ ;  $6,25\text{ A}$
8.  $0,05\text{ A}$ ;  $5\text{ V}$
9.  $4,345\text{ V}$ ;  $1,68\text{ W}$ ;  $90,5\%$