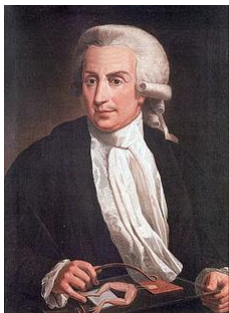


13 Vznik elektrického proudu

Historické poznámky

- 1. polovina 19. století: žeň objevů v oblasti elektromagnetismu
- **Luigi Galvani (1737 – 1798)**: italský lékař a fyzik; průkopník moderního porodnictví; objevil, že svaly žáby se po zásahu jiskry statické elektřiny stahují – nesprávně vyvodil „živočišnou elektřinu“
- **Alessandro Volta (1745 – 1827)**: 1799-1800 první elektrický článek – tzv. Voltův sloup; opravil Galvaniho a správně vyvodil, že zdrojem a příčinou je elektrochemická reakce dvou kovů ; je po něm pojmenovaná jednotka el. napětí
- **André Marie Ampère (1775 – 1836)**: francouzský matematika a fyzik; nikdy nechodil do školy ;-)
vzděláván otcem, který skončil pod gilotinou; 1820 – cívka s proudem vyvolává magnetické pole, 1827 – pravidlo pravé ruky (prsty ve směru proudu, palec ukazuje severní pól cívky); objevil vztah pro magnetickou sílu působící na vodič s proudem; vynalezl galvanometr (měřič malých el. napětí a proudů) a komutátor (součást elektrických motorů); zavedl pojem „kybernetika“; je po něm pojmenovaná jednotka el. proudu
- **Georg Simon Ohm (1789 – 1854)**: německý fyzik; místo studia na univerzitě se věnoval večírkům; 1827 odvodil vztah mezi napětím a proudem v obvodu (Ohmův zákon); 1843 položil základy fyziologické akustiky; je po něm pojmenovaná jednotka elektrického odporu
- **Hans Christian Ørsted (1777 – 1851)**: dánský fyzik, chemik, filozof; výzkum elektromagnetických jevů: el. proud působí na střílku kompasu; 1825 izoloval hliník; je po něm pojmenovaná jednotka intenzity magnetického pole
- **Michael Faraday (1791 – 1867)**: anglický chemik a fyzik; 1831 objevil elektromagnetickou indukci, magnetické a elektrické siločáry; je po něm pojmenovaná jednotka el. kapacity (kondenzátory)
- **James Clerk Maxwell (1831 – 1879)**: skotský fyzik, potomek starého šlechtického rodu; první vědeckou práci publikoval ve 14 letech; 1865 objevil matematický popis (4 rovnice) elektromagnetického pole; vysvětlil, proč Měsíc nemůže mít atmosféru (Maxwellovo rozdělení rychlostí plynů); 1861 jako první publikoval základy barevné fotografie;



Galvani



Volta



Ampère



Ohm



Ørsted



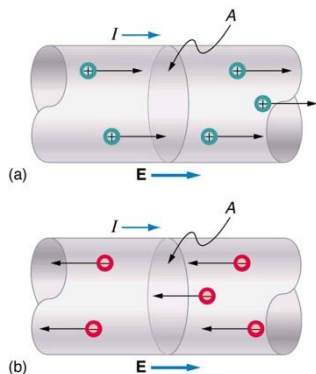
Faraday



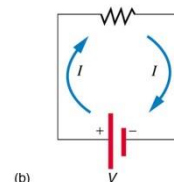
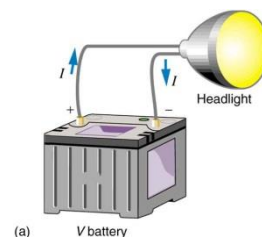
Maxwell

Elektrický proud jako děj

- el. proud je **uspořádaný pohyb volných částic s elektrickým nábojem**
- **směr proudu** je dán **dohodou jako směr pohybu kladně nabitých částic** ⇒ pohyb ve směru intenzity od + k –
- pohyb elektronů v kovech je od – k + (proti směru intenzity)



- a) směr elektrického proudu daného dohodou od + k –
- b) směr elektronů ve vodiči (proti směru intenzity el. pole E)



Jednoduchý elektrický obvod

- zdroj, vodič, spotřebič (žárovka)
- směr elektrického proudu v obvodu je dán dohodou od + k –
- pohyb elektronů je ve skutečnosti od záporného pólu baterie ke kladnému
- v okamžiku stanovení směru proudu dohodou nebyl elektron jako částice znám

Elektrický proud jako veličina

elektrický proud – I

jednotka: $[I] = 1 \text{ A}$ (ampér)

1 ampér je proud, při kterém prochází kolmým průřezem vodiče náboj 1 C za 1 s

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

- rovnoměrný průchod náboje Q průřezem vodiče za čas t

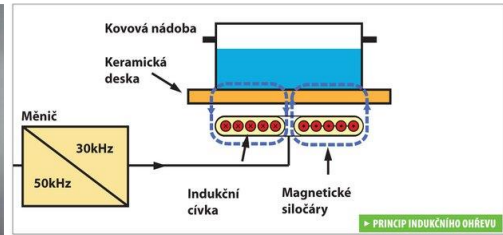
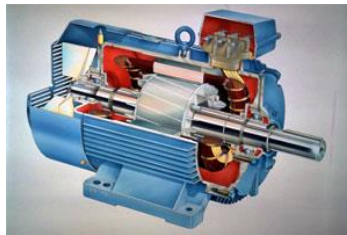
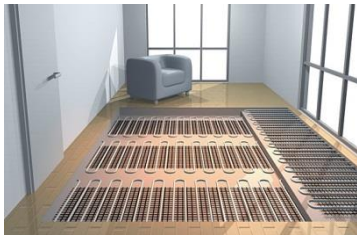
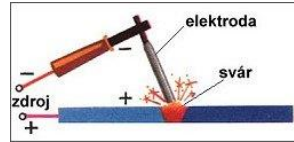
okamžitá hodnota elektrického proudu – i

$$i = \frac{dQ}{dt} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

- nerovnoměrný průchod náboje Q průřezem vodiče za čas t , obecný vztah

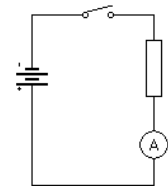
Účinky elektrického proudu:

- tepelné – vařič, elektrické podlahové topení
- chemické – elektrolýza
- magnetické – elektromagnet
- světelné – žárovka, dioda LED, elektrický oblouk (oblouková lampa, svařování obloukem)
- elektrodynamické – elektromotory, dynamo (kolo)
- indukční – indukční vařiče, elektroměry, LED svítidla bez baterie



Měření el. proudu

- 1) **ampérmetr** – zapojuje se SÉRIOVĚ k měřenému spotřebiči; mechanický nebo digitální;
- 2) **multimetr** – digitální; rozsah se už většinou nastavuje automaticky



14 Elektrický zdroj. Přeměny energie v obvodu

svorkové napětí U

- napětí na svorkách zdroje dané rozdílem potenciálů
- potřebné k udržení stálého el. proudu
- **značíme šipkou ve směru od + pólu zdroje k – pólu zdroje**



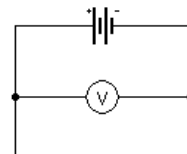
vnitřní a vnější obvod

- **vnitřní** – uvnitř zdroje se částice pohybují PROTI elektrostatickým silám \Rightarrow existují tam neelektrostatické síly, které vykonáním práce při přenesení náboje Q definují tzv. **elektromotorické napětí zdroje U_e** – maximální napětí, které je zdroj schopen vyvinout; **směr od záporného pólu ke kladnému**; vzniká jako **rozdíl elektrochemických potenciálů uvnitř zdroje**

- vnější – tvořen vodiči a **spotřebičem** (např. žárovka, rezistor) ⇒ spotřebovává elektrickou energii a mění ji na jiný typ energie (tepelnou, světelnou, apod.); elektrostatické síly konají práci $W = U \cdot Q$

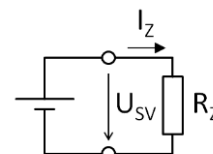
nezatížený zdroj

- na vnější svorky zdroje není připojen žádný spotřebič; bez vnějšího obvodu;
- svorkové napětí U je rovno elektromotorickému, tj. $U = U_e = U_0$
- na svorkách zdroje **měříme voltmetrem** tzv. **napětí naprázdno U_0**



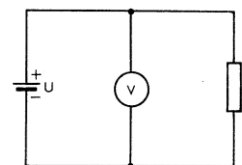
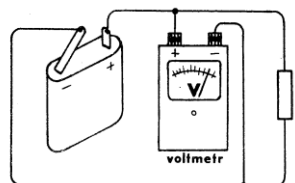
zatížený zdroj

- na vnější svorky zdroje připojen spotřebič (na obr. realizovaný rezistorem R_Z)
- vnějším obvodem prochází el. proud I_Z
- svorkové napětí U (na obr. U_{SV}) je vždy menší než elektromotorické, tj. $U < U_e$
- $U = U_e - U_i$; U_i – je úbytek napětí vznikající uvnitř zdroje průchodem proudu (viz kap. 19)



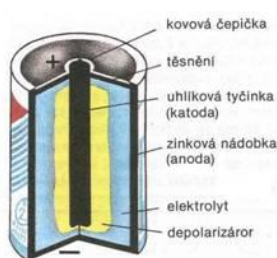
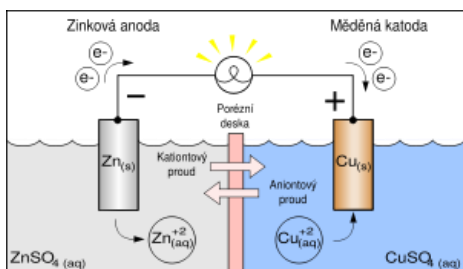
Měření el. napětí

- voltmetr** – zapojuje se **PARALELNĚ** k měřenému spotřebiči; mechanický nebo digitální;
- multimetr** – digitální; rozsah se už většinou nastavuje automaticky

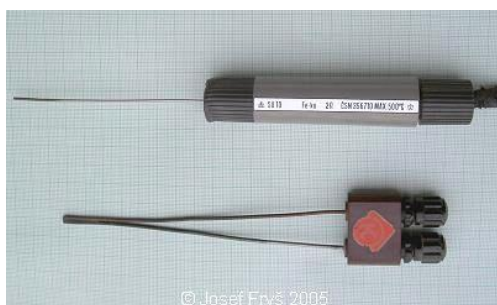


Zdroje stejnosměrného napětí (značíme = U)

- galvanický článek** – napětí článku je dáno rozdílem elektrochemických potenciálů kovů, které článek vytváří ⇒ elektrochemická řada kovů ⇒ např. Cu-Zn cca 0,92 V (viz foto na začátku článku)

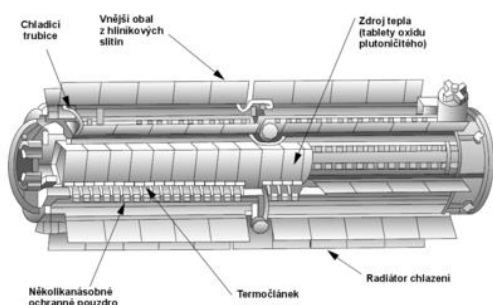


- b) **termoelektrický článek** – každý kov má tzv. termoelektrický potenciál; zahříváním dvou spojených kovů (bimetalového pásku) vzniká rozdíl potenciálů, tj. napětí

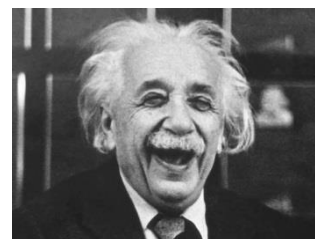


- ⇒ termoelektrická řada kovů
- ⇒ např. měď-konstantan: 4,25 mV
- ⇒ opačný jev znám jako **Peltiérův jev** (průchodem proudu dvěma různými kovy se jeden ochlazuje a druhý ohřívá)
- ⇒ využití termočlánků, **Peltiéroveho článku**: teplotní čidlo pro digitální teploměry, radioizotopový termoelektrický generátor (zdroj napětí) kosmických sond daleko od

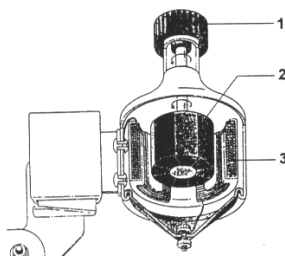
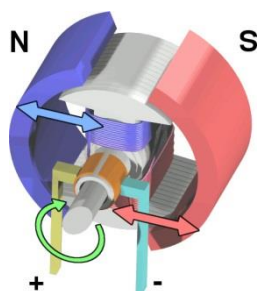
Slunce (nelze využít fotovoltaiku); teoreticky neomezená životnost; okamžitý efekt; až $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$; chlazení PC (ne příliš efektivní)



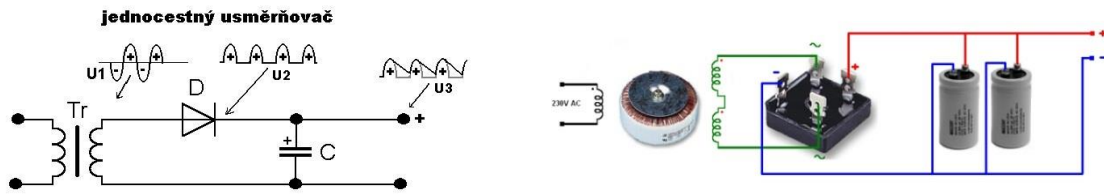
- c) **fotovoltaický článek** – využívá tzv. fotoelektrického jevu ⇒ **Albert Einstein (1879 – 1955)** – objev 1905, NC 1921; energie záření (světla) dopadajícího na polovodičový PN přechod nebo tenkou vrstvu kovu vyvolá uvolnění elektronů
⇒ využití: fotodiody, fotovoltaika, kalkulačky, hodinky, družice



- d) **dynamo** – je točivý elektrický stroj, přeměňující mechanickou energii z rotoru hnacího stroje na elektrickou energii ve formě stejnosměrného elektrického proudu

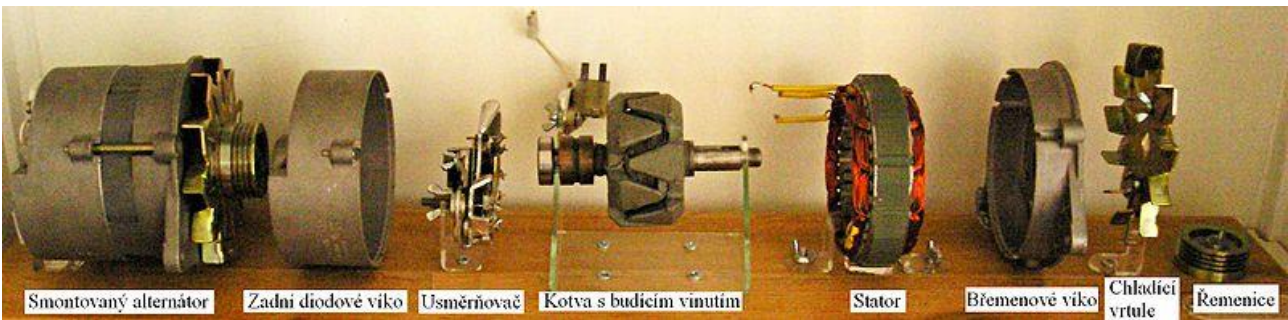


e) **usměřovače** – usměrněním střídavého proudu za použití polovodičové diody

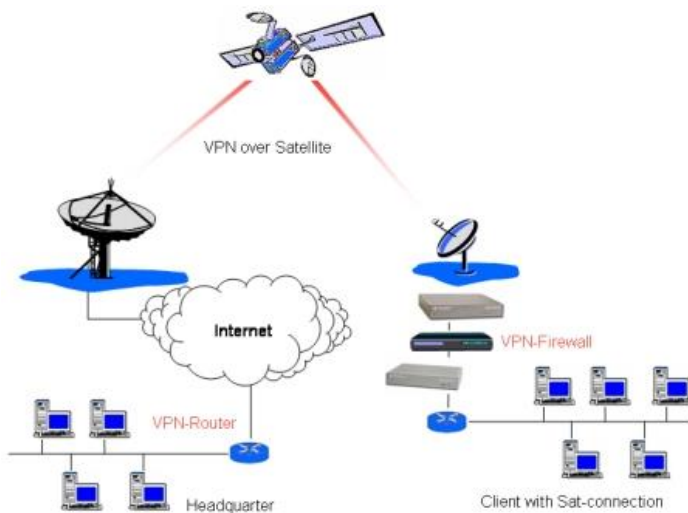


Zdroje střídavého napětí (značíme $\sim U$)

- a) **alternátor** – je točivý elektrický stroj pracující jako elektrický generátor; přeměňuje kinetickou energii (pohybovou energii) rotačního pohybu na energii elektrickou ve formě střídavého proudu
 ⇒ jednofázový nebo vícefázový
 ⇒ princip elektromagnetické indukce ⇒ viz kapitola XY
 ⇒ využití: výroba elektrické energie v elektrárnách; automobily; součást různých strojů



- b) **oscilátory** – elektronické zdroje;
 ⇒ generátory sinusového signálu různých frekvencí
 ⇒ TV, rádio, satelity, mobily, PC, Wi-fi, aj.



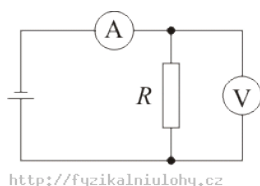
15 Elektrický odpor. Ohmův zákon pro část obvodu.



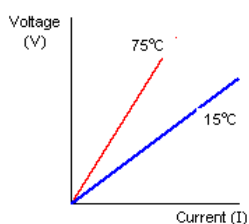
Ke zdroji napětí připojíme rezistor. Pomocí multimetrů zapojených jako voltmetr a ampérmetr měříme proud procházející rezistorem a napětí na rezistoru. Naměřené hodnoty zapíšeme do tabulky:

U (V)									
I (A)									
$\frac{U}{I}$									

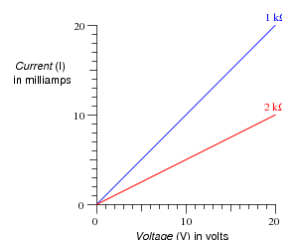
Schéma zapojení:



Voltampérová charakteristika vodiče – graf závislosti proudu (osa y) na napětí (osa x)



- mezi proudem I a napětím U je přímá úměra
- stejný kov má pro různé teploty různé přímky
- různé kovy mají různé charakteristiky (např. ocel a konstantan)
- lineární závislost mezi napětím a proudem byla po svém objeviteli nazvaná **Ohmův zákon**



Ohmův zákon pro část obvodu

$$I = G \cdot U$$

Proud procházející vodičem je přímo úměrný napětí mezi konci vodiče. Konstanta úměrnosti G představuje tzv. elektrickou vodivost.

elektrická vodivost – G

jednotka: $[G] = A \cdot V^{-1} = S$ (siemens)

- konstanta úměrnosti pro daný materiál vodiče

elektrický odpor (rezistance) – R

jednotka: $[R] = A^{-1} \cdot V = \Omega$ (ohm)

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

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

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

odpor

- vlastnost vodiče

rezistor

- elektronická součástka používaná v elektronických obvodech k nastavení nebo omezení proudu
- využití: elektronika, ochrana proti zkratu, topná tělesa
- slangově se nazývá též odpor
- značení:



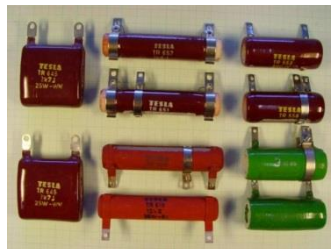
barevné značení



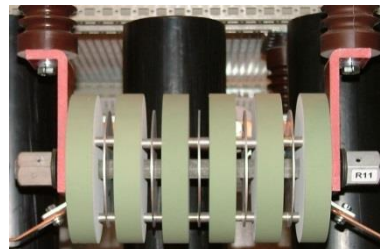
BARVA	1 číslice	2 číslice	násobitel	úchylka
stříbrná	-	-	0,01	±10%
zlatá	-	-	0,1	± 5%
černá	-	0	1	-
hnědá	1	1	10	± 1%
červená	2	2	100	± 2%
oranžová	3	3	1k	-
žlutá	4	4	10k	-
zelená	5	5	100k	±0.5%
modrá	6	6	1M	±0.25%
fialová	7	7	10M	±0.1%
šedá	8	8	100M	-
bílá	9	9	-	-
žádná	-	-	-	±20%



barevné značení

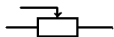


různé typy



výkonový o délce 40 cm

reostat



- rezistor s proměnným odporem
- využití: dříve – ovládání starých tramvají; dnes – laboratorní pomůcka



potenciometr



- rezistor s proměnným odporem
- využití: např. ovládání hlasitosti v audio nebo video zařízeních



termistor



- elektrický odpor je závislý na teplotě (negator – s ↑teplotou R ↓, pozistor – s ↑teplotou R ↑)
- využití: teplotní čidla digitálních teploměrů v rozsahu od – 200 °C do 300 °C



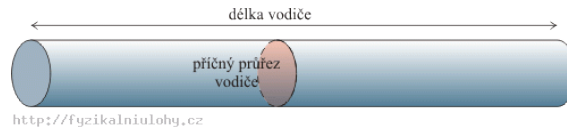
Závislost elektrického odporu na vlastnostech vodiče



1. Změříme odpor stejného vodiče při různé délce a stejném průřezu.
2. Změříme odpor stejného vodiče při různém průřezu a stejné délce.
3. Změříme odpor dvou různých vodičů stejné délky a průřezu.

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

l – délka vodiče (m)
 S – průřez vodiče (m²)



měrný elektrický odpor (rezistivita) – ρ

jednotka: [ρ] = $\Omega \cdot \text{m}$ (ohmmetr)

- materiálová konstanta (MFChT)
- závisí na teplotě vodiče

$$\rho = \frac{\vec{E}}{\vec{j}}$$

\vec{E} – intenzita elektrického pole

\vec{j} – proudová hustota ($J = \frac{I}{S}$)

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

α – teplotní součinitel el. odporu

ΔT – změna teploty: $\Delta T = t - t_0$

ρ_0 – měrný el. odpor při teplotě t_0

Materiál	Měrný el. Odpor $\rho [\mu\Omega \text{ m}]$	Teplotní spoučinitel odporu $\alpha [K^{-1}]$
Zlato	0,0230	0,003700
Měď	0,0178	0,004200
Stříbro	0,0163	0,004000
Hliník	0,0285	0,004000
Rtuť	0,9580	0,000900
Železo	0,1000	0,005500
Chrom	1,1000	0,000250
Konstantan	0,5000	0,000002
Nikelin	0,4000	0,000110
Manganin	0,4300	0,000015
Chromnikl	1,1000	0,000180
Wolfram	0,0530	0,004400

16 Závislost odporu kovového vodiče na teplotě

- při zvýšení teploty vodiče \Rightarrow zvýší se kmity částic v krystalové mřížce \Rightarrow zvýší se počet srážek s e^-
- e^- se v kovu bez el. pole pohybují chaoticky (elektronový plyn) tzv. Fermiho rychlostí $v_F \sim 10^6 \text{ ms}^{-1}$ přičemž vektorový součet všech chaotických rychlostí $= 0$ ($\sum_{e=1}^n v_F = 0$)
- po vložení vodiče do elektrického pole se e^- začnou pohybovat tzv. driftovou rychlostí $v_d \sim 10^{-4}$ až 10^{-7} ms^{-1} proti směru intenzity el. pole E

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

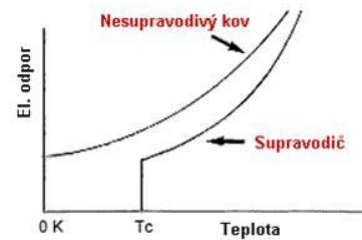
α – teplotní součinitel el. odporu

ΔT – změna teploty: $\Delta T = t - t_0$

R_0 – el. odpor při teplotě t_0

Supravodivost:

- **při teplotě $T \rightarrow 0 \text{ K}$ se elektrický odpor výrazně snižuje $R \rightarrow 0 \Omega$**
- při teplotách $T < 4 \text{ K}$ je hodnota el. odporu neměřitelná
- e^- se pohybují ve dvojicích (Cooperovy páry)
- materiál neklade odpor průchodu el. proudu
- materiál vypuzuje ze svého objemu magnetické siločáry (ideální diamagnetikum) a vytváří kolem sebe silné magnet. pole
- v supravodivém prstenci může teoreticky proud protékat po prvotním vybuzení až několik let
- supravodivost objevil v roce 1911 holandský fyzik H. Kamerlingh-Onnes
- supravodiče: rtuť Hg, olovo Pb, cín Sn, niob Nb
- nesupravodivé kovy: zlato Au, stříbro Ag, měď Cu, železo Fe (nebyla pozorována ani při $40 \mu\text{K}$)
- využití: levitace, vlak MAGLEV, magnetická rezonance mozku, CERN – LHC, armáda



Heike Kamerlingh Onnes (1853 – 1926) – nizozemský fyzik; NC 1913 za výzkum v oblasti nízkých teplot



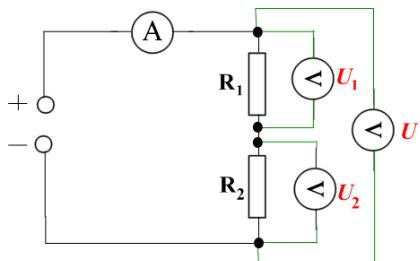
- 1908 jako první zkapalnil hélium \Rightarrow umožnil zchlazování látek na $4,2 \text{ K}$ za normálního tlaku



levitace magnetické kostičky nad supravodičem

17 Spojování rezistorů. Regulace proudu a napětí.

Sériové zapojení rezistorů

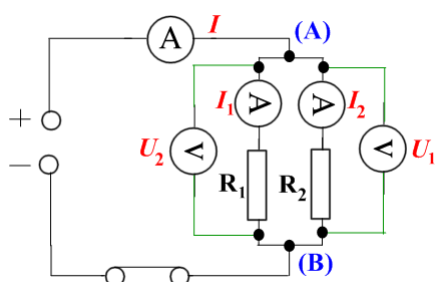


- nerozvětvený obvod \Rightarrow proud protékající oběma rezistory je stejný, tj. $I_1 = I_2 = I$
- součet napětí na jednotlivých rezistorech musí být roven celkovému napětí zdroje, tj. $U_1 + U_2 = U$
- do předchozí rovnice dosadíme z Ohmova zákona $I = \frac{U}{R}$ neboli $U = R \cdot I$ a dostaneme $R_1 I + R_2 I = R I$
- v rovnici zkrátíme proud I a máme výsledek:

$$R = R_1 + R_2$$

- analogicky pro větší počet rezistorů zapojených do série platí: $R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$

Paralelní zapojení rezistorů

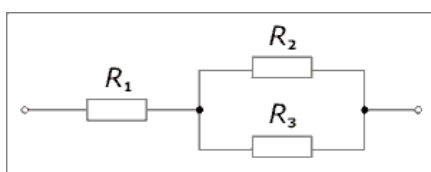


- rozvětvený obvod \Rightarrow podobně jako proud vody v řece obtékající ostrůvek se el. proud I v nerozvětvené části obvodu v uzlu (A) rozdělí na dva proudy I_1 a I_2 , přičemž platí $I_1 + I_2 = I$
- napětí mezi uzly (A) a (B) je pro oba rezistory stejné a je rovno napětí zdroje $\Rightarrow U_1 = U_2 = U$
- do rovnice pro proudy dosadíme z Ohmova zákona $I = \frac{U}{R}$ a získáme $\frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} = \frac{U}{R}$; zkrátíme napětí a máme výsledek

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

- analogicky pro větší počet rezistorů zapojených paralelně platí $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$

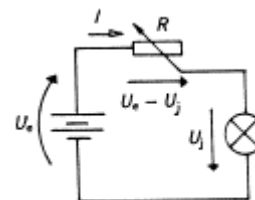
Př. Kombinované sériově-paralelní zapojení rezistorů se počítá postupně



- nejprve vypočítáme výsledný odpor R_{23} rezistorů R_2 a R_3 , které jsou zapojeny paralelně: $\frac{1}{R_{23}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{R_2 + R_3}{R_2 \cdot R_3}$ a upravíme na tvar $R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$
- pak dopočítáme výsledný odpor sériového zapojení pomyslného R_{23} a reálného R_1 : $R = R_1 + R_{23} = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$

Regulace proudu I v obvodu

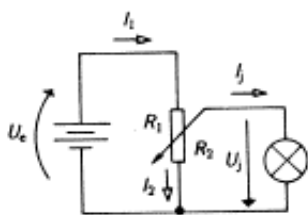
- **DO SÉRIE** se spotřebičem zapojíme např. reostat nebo potenciometr
- změnou odporu reostatu měníme proud I procházející obvodem
- $I_{\min} \Rightarrow R_{\max}$



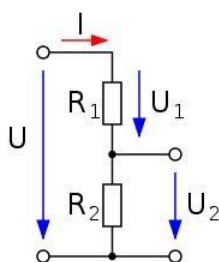
Regulace napětí U v obvodu – dělič napětí

- **PARALELNĚ** se spotřebičem zapojíme reostat nebo potenciometr
- změnou polohy potenciometru měníme poměr mezi R_1 a R_2 a tím i U_1 a U_2

Reálné zapojení:



Princip děliče napětí:



Pro napětí U_1 platí vztah:

$$U_1 = U \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Pro napětí U_2 platí vztah:

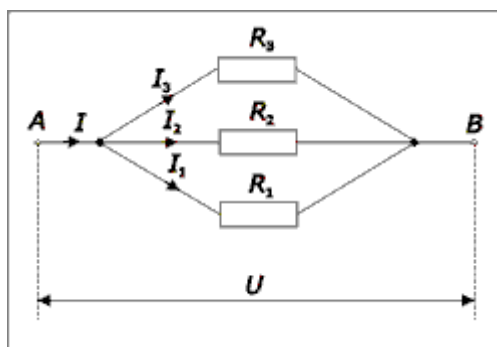
$$U_2 = U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Např. pokud $R_1 = R_2$ pak platí vztah:

$$U_1 = U_2 = \frac{1}{2} \cdot U$$

18 Kirchhoffovy zákony

- několik jednoduchých elektrických obvodů spojených vzájemně mezi sebou vytváří tzv. **elektrické sítě**
- **uzel** – místo vodivého spojení minimálně 3 vodičů \Rightarrow v el. schématech vyznačen plným černým kolečkem

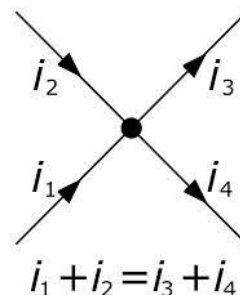


- **Gustav Robert Kirchhoff (1824 – 1887)** – německý fyzik;
 - \Rightarrow 1847 formuloval zákony rozvětvení el. proudu;
 - \Rightarrow rozvinul (společně s R. Bunsenem) metodu spektrální analýzy \Rightarrow metoda se používá pro určování složení hvězd;
 - \Rightarrow spoluobjevil cesium a rubidium



1. Kirchhoffův zákon (1. KIZ)

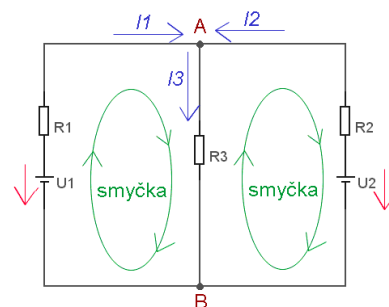
- součet proudů v uzlu je roven nule \Rightarrow velikost proudů do uzlu vstupujících = velikosti proudů z uzlu vystupujících
- proud **VSTUPUJÍCÍ DO UZLU** značíme +
- proud **VYSTUPUJÍCÍ Z UZLU** značíme –



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

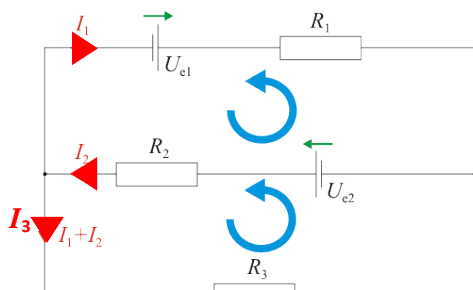
2. Kirchhoffův zákon (2. KIZ)

- součet úbytků napětí na jednotlivých rezistorech je v uzavřené smyčce stejný jako součet elektromotorických napětí všech zdrojů
- rozvětvený el. obvod rozdělíme na jednotlivé **smyčky** (viz obr.) a pro každý uzel a smyčku rozepíšeme dílčí rovnice (viz př.)
- směr oběhu smyčky volíme libovolně \Rightarrow **napětí jdoucí proti směru oběhu má zápornou hodnotu** (na obr. je to U_1)



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

Př. Určete velikosti proudů I_1, I_2, I_3 a napětí U_{AB} mezi body AB (uzly) v následujícím obvodu, je-li $U_{e1} = 6\text{ V}, U_{e2} = 4\text{ V}, R_1 = 2\ \Omega, R_2 = 3\ \Omega, R_3 = 10\ \Omega$



<http://fyzikalniulohy.cz>

- podle 1. KIZ sestavíme první rovnici pro proudy v jednotlivých uzlech (zde stačí např. uzel A vlevo): $I_1 + I_3 = I_2$ resp. $I_1 - I_2 + I_3 = 0$
 \Rightarrow směr proudu určíme podle dohody od + k –
 \Rightarrow šipka proudu míří k zápornému pólu baterie
- určíme smysl obíhání v jednotlivých větvích
- určíme směr elektromotorických napětí v obvodu

- podle 2. KIZ sestavíme další dvě rovnice (pro každou smyčku 1 rovnice) \Rightarrow co jde **proti smyslu obíhání** má **znaménko –**
horní smyčka: $-R_1 I_1 - R_2 I_2 = -U_{e1} - U_{e2}$, resp. $R_1 I_1 + R_2 I_2 = U_{e1} + U_{e2}$
dolní smyčka: $R_2 I_2 + R_3 I_3 = U_{e2}$

- nakonec dosadíme za hodnoty odporů a elektromotorických napětí a získáme tři rovnice o třech neznámých:

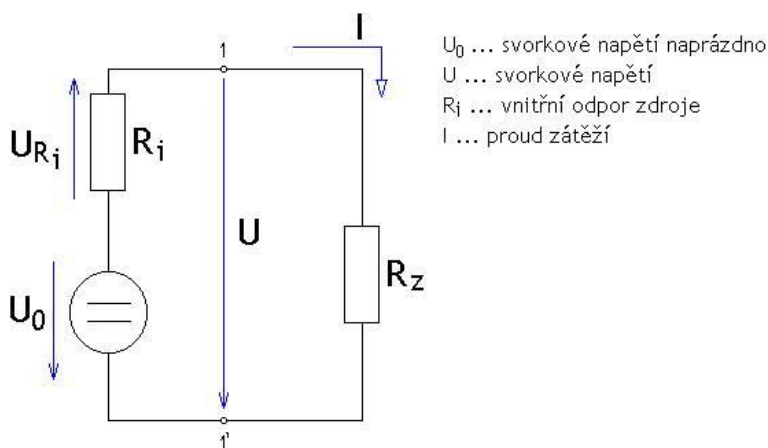
$$\begin{aligned} I_1 - I_2 + I_3 &= 0 \\ 2I_1 + 3I_2 &= 6 + 4 \\ 3I_1 + 10I_3 &= 4 \end{aligned}$$

Soustavu má řešení: $I_1 = \frac{440}{41} \text{ A} \cong 10,732 \text{ A}$, $I_2 = \frac{430}{41} \text{ A} \cong 10,488 \text{ A}$, $I_3 = -\frac{10}{41} \text{ A} \cong -0,244 \text{ A}$

- **záporné znaménko u proudu I_3 znamená, že proud má opačný směr než námi původně určený ve schématu**
- **napětí mezi uzly AB je stejné jako napětí na rezistoru R_3**
 $\Rightarrow U_{AB} = U_3 = R_3 I_3 = 10 \cdot 0,244 \text{ V} = 2,44 \text{ V}$

19 Ohmův zákon pro celý obvod. VA charakteristika zdroje.

vnitřní odpor zdroje – každý zdroj elektrické energie klade průchodu proudu určitý odpor R_i



nezatížený zdroj: $I = 0 \text{ A}$

$$U = U_0 = U_e$$

U – napětí na svorkách zdroje (svorkové napětí)

U_0 – napětí naprázdno

U_e – elektromotorické napětí zdroje

zatížený zdroj: $I \neq 0 \text{ A}$

- $U_e = U + U_i$

svorkové napětí

$$U = U_e - U_i$$

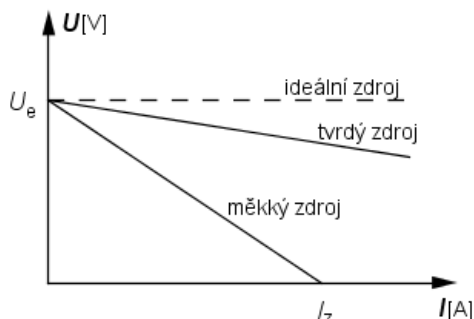
U_i – úbytek napětí na vnitřním odporu R_i

- $RI = U_e - R_i I$, resp. $RI + R_i I = U_e$, resp. $I(R + R_i) = U_e$

elektrický proud dodávaný zdrojem

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

Zatěžovací charakteristika zdroje (VA charakteristika zdroje)



- **závislost velikosti svorkového napětí na proudu procházejícího obvodem**
- **tvrdý zdroj** (kvalitní) ⇒ dochází k nepatrnému poklesu napětí při průchodu velkých proudů ⇒ př. akumulátor
- **měkký zdroj** (nekvalitní) ⇒ rychlý pokles svorkového napětí při zatížení ⇒ př. téměř vybitý monočlánek ⇒ napětí baterie je třeba měřit nikoliv pouze voltmetrem (ten měří pouze napětí naprázdno), ale při zatížení např. žárovkou

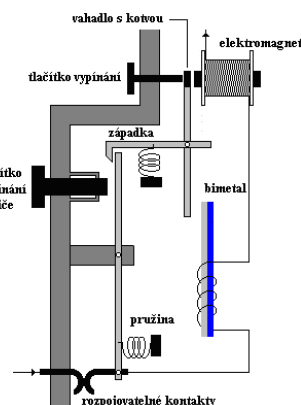
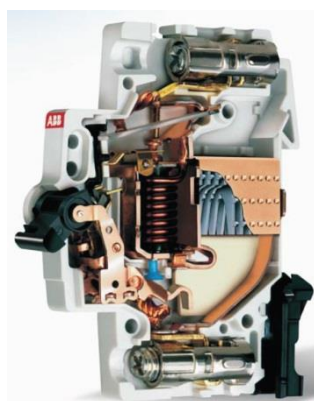
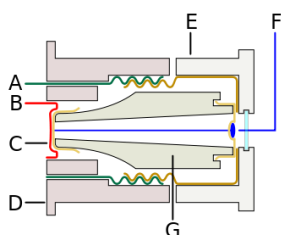
zkratový proud – I_z

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

- při spojení nakrátko (natvrdo spojíme svorky zdroje, takže svorkové napětí $U = 0$ V)
- může dosahovat až několik ampér (v závislosti na typu zapojení)

Ochrana proti velkým proudům

- **pojistky** ⇒ protékající proud roztaví vnitřní drátek; nebezpečí požáru z jiskřiště; nenahrazovat pojistku hřebíkem!!!
- **jističe**
- velký vnitřní odpor u zdrojů vysokého napětí (VN) při experimentech v elektrostatice ⇒ i při napětí řádově několika tisíc kV protékají bezpečné proudy



20 Elektrická práce a výkon v obvodech stejnosměrného proudu

- síly el. pole konají při přemístění náboje určitou práci
- $W_e = Q \cdot U \quad I = \frac{Q}{t} \quad R = \frac{U}{I}$
- vzájemnou kombinací předchozích vzorců získáme různá vyjádření pro elektrickou práci:

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

- při průchodu proudu vodičem dochází k jeho zahřívání \Rightarrow princip el. vařiče \Rightarrow vzniká teplo

Jouleovo teplo – Q_J

jednotka: [Q_J] = 1 J (joule)

$$Q_J = R \cdot I^2 \cdot t$$

R – odpor vodiče

I – proud procházející vodičem

t – doba (čas) průchodu proudu vodičem

- dochází k tzv. **disipaci energie** \Rightarrow nevratná přeměna el. energie na teplo
- v praxi: v případě střídavého proudu se jedná zejména o ztráty při přenosu el. energie \Rightarrow proto se napětí z generátoru transformuje na VVN (velmi vysoké napětí) řádově 10^2 kV (omezí se proud vodičem)
- **James Prescott Joule (1818 – 1889)** – anglický fyzik;
 - \Rightarrow spolupracoval s W. Thompsnem na vývoji termodynamické teplotní stupnice;
 - \Rightarrow kvůli poruše páteře nechodil do školy; otec měl pivovar;
 - \Rightarrow 1840 objevil zákon o přeměně el. energie na teplo
 - \Rightarrow 1846 objevil magnetostriktu (změna délky železné tyče vlivem zmagnetování; dnes využito ve spojení s ultrasonickými zvukovými vlnami)
 - \Rightarrow jeho jménem pojmenována jednotka tepla
 - \Rightarrow zjistil, že teplo není tekutina (čemuž se věřilo), ale je forma energie
 - \Rightarrow formuloval zákon zachování energie, čímž byl položen základ termodynamiky
 - \Rightarrow nikdy se nestal profesorem, zůstal celý život pivovarníkem
 - \Rightarrow vynalezl elektrické svařování nebo výtlačovou pumpu



výkon el. spotřebiče – P

jednotka: [P] = 1 W (watt)

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

R – odpor vodiče

I – proud procházející vodičem

U – napětí na vodiči

účinnost přeměny energie v el. obvodu – η

jednotka: $[\eta] = \text{bez rozměru}$

$$\eta = \frac{R}{R + R_i}$$

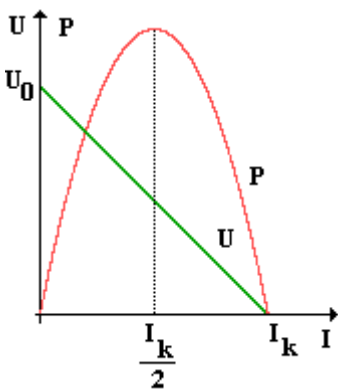
- účinnost je tím větší, čím větší je hodnota odporu R oproti vnitřnímu odporu R_i

??? Za jakých podmínek je výkon maximální?

$$P = UI = (U_e - R_i I) \cdot I = U_e I - R_i I^2 = -R_i I^2 + U_e I$$

- z pohledu funkcí se jedná o kvadratickou funkci závislosti výkonu P na proudu I

Graf výkonu a napětí v závislosti na proudu



- **červená křivka výkonu** – parabola $(ax^2 + bx + c)$ má vrchol $V\left[-\frac{b}{2a}; y_0\right] \Rightarrow$ pro naši funkci výkonu je to konkrétně $V\left[-\frac{U_e}{-2R_i}; y_0\right]$

- podíl $\frac{U_e}{R_i}$ je roven zkratovému proudu I_k ; vrchol tedy na ose x odpovídá hodnotě $\frac{I_k}{2}$

- dosadíme-li do Ohmova zákona pro celý obvod, dostaneme vztah

$$\frac{I_k}{2} = \frac{U_e}{R + R_i}, \text{ resp. po úpravě } \frac{R + R_i}{2} = \frac{U_e}{I_k} = R_i, \text{ resp. } R + R_i = 2R_i, \text{ resp. } R = R_i$$

- tento výsledek dosadíme do vztahu pro účinnost a máme

$$\eta = \frac{R}{R + R_i} = \frac{R}{2R} = \frac{1}{2} = 50\%$$

- **nejvyššího výkonu spotřebiče tedy dosáhneme, je-li jeho odpor roven vnitřnímu odporu zdroje a účinnost pak dosáhne 50 %** \Rightarrow lze dosáhnout i větší účinnosti, ale za cenu menšího výkonu
- v praxi jsou obvody navrženy tak aby bylo dosaženo rozumného kompromisu mezi maximálním výkonem a maximální účinností