

III. Stacionární elektrické pole, vedení el. proudu v látkách

- Osnova:
1. Elektrický proud a jeho vlastnosti
 2. Ohmův zákon
 3. Kirchhoffovy zákony
 4. Vedení el. proudu ve vodičích
 5. Vedení el. proudu v polovodičích
 6. Vedení el. proudu v kapalinách
 7. Vedení el. proudu v plynech

1. El. proud a jeho vlastnosti

stacionární pole – veličiny jsou nezávislé na čase, ale náboje mohou být v pohybu

Elektrický proud (jev) – přemísťování el. náboje (uspořádaný pohyb volných částic s nábojem)

Dohoda o směru proudu – směr kladně nabitých částic

Elektrický proud (skalární veličina)

střední hodnota proudu $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$

okamžitá hodnota proudu $i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt}$

Jednotka, značení, měření proudu

1. El. proud a jeho vlastnosti

Třídění proudů

proud – stacionární
– kvazistacionární
– nestacionární

proud – stejnosměrný
– střídavý

proud – volný
– vázaný
– posuvný

2. Ohmův zákon

Ohmův zákon (pro část obvodu) - udává vztah mezi proudem I ve vodiči a napětím U na jeho konci pro některé materiály za určitých podmínek:

pro kov za stálé teploty $I \sim U$

elektrický odpor (rezistance) R : $\frac{U}{I} = \text{konst.} = R, [R] = \Omega$

elektrická vodivost (konduktance) G : $G = \frac{1}{R} = \frac{I}{U}, [G] = S$

Ohmův zákon má potom tvar $I = GU = \frac{U}{R}$

odpor kovového vodiče o délce l a průřezu S je $R = \rho \frac{l}{S}$

rezistivita ρ (měrný elektrický odpor)

konduktivita (měrná elektrická vodivost) $\gamma = \frac{1}{\rho}$

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

2. Ohmův zákon

spojování rezistorů

$$\begin{array}{ll} \text{sériové zapojení} & R_s = R_1 + R_2 + \dots + R_n \\ \text{paralelní zapojení} & \frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \end{array}$$

Elektromotorické a svorkové napětí (obvod se zdrojem a spotřebičem)

mezi póly zdroje vzniká el. pole, **svorkové napětí** – napětí mezi póly zdroje

vnější část obvodu – vlivem pole se nosiče náboje pohybují, pole koná práci $A=UQ$, potenciální energie částic se přeměňuje (tepelná energie)

vnitřní část obvodu – neelektrostatické (chemické) síly konají práci A_z proti směru pole, podíl $U_e=A_z/Q$ se nazývá **elektromotorické napětí** zdroje

před připojením spotřebiče – rovnováha sil a $U=U_e$, tzv. napětí naprázdno

po připojení spotřebiče – práce A_z se částečně spotřebovává ve zdroji, tj. $A < A_z \rightarrow UQ < U_eQ \rightarrow U < U_e$

2. Ohmův zákon

Ohmův zákon pro otevřený obvod

zdroj se chová jako (ideální zdroj + odpor)

pro vnitřní odpor zdroje R_i platí $U_e - U = R_i I$

Ohmův zákon pro jednoduchý uzavřený obvod $I = \frac{U_e}{R + R_i}$

Práce a výkon proudu

práce vykonaná při přenesení náboje Q mezi místy o napětí U je $A = QU$

energie dodaná zdrojem do obvodu se na odporech mění v tepelnou energii

tepelný výkon P uvolněný na odporu R je $P = \frac{dA}{dt} = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R}$

3. Kirhoffovy zákony

síť stacionárních proudů – libovolné propojení rezistorů a zdrojů elmot. napětí

části sítě: **větev, uzel, smyčka**

úkol: při daných odporech spotřebičů, elmot. napětích a vnitřních odporech zdrojů
zjistit proudy ve všech větvích sítě

1. Kirhoffův zákon

platí pro uzel, aplikace rovnice kontinuity, zákon zachování náboje

„Součet stacionárních proudů v uzlu je nulový“ $\sum_{i=1}^n I_n = 0$

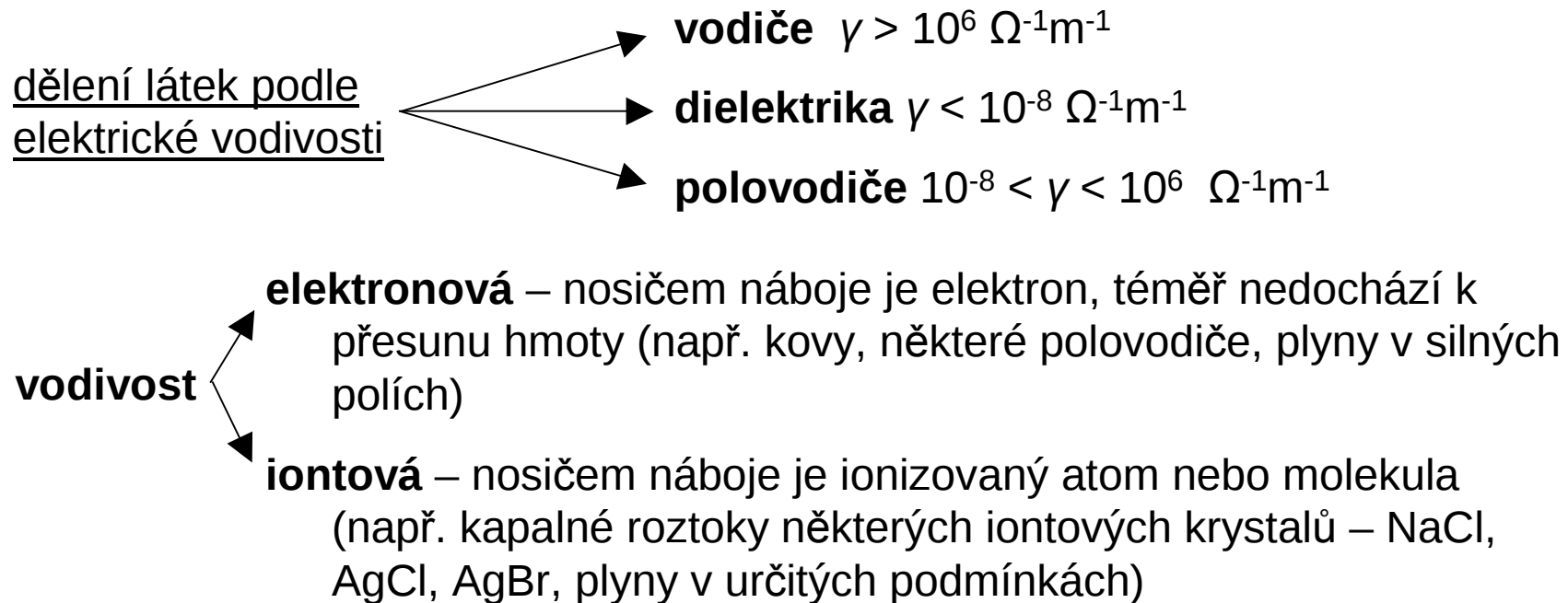
2. Kirhoffův zákon

platí pro smyčku, aplikace Ohmova zákona pro uzavřený obvod

„Součet úbytků napětí na všech odporech ve smyčce je roven součtu elmot. napětí
ve smyčce“

$$\sum_{i=1}^n U_{ei} = \sum_{j=1}^m R_j I_j$$

4. Vedení el. proudu ve vodičích



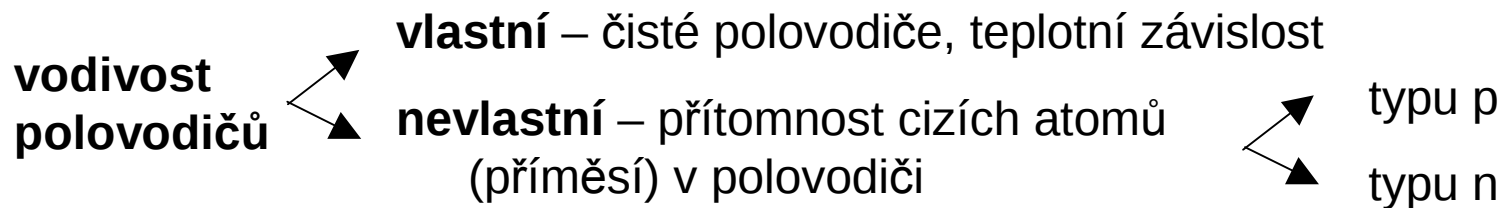
vodivost kovů

- většina kovů a jejich slitin dobře vede elektrický proud
- pro kovy velmi dobře platí Ohmův zákon
- s rostoucí teplotou klesá vodivost kovů a roste odpor, obvykle $\rho_t = \rho_0(1 + \alpha t)$
- lepší vodiče elektrického proudu jsou i lepší vodiče tepla

5. Vedení el. proudu v polovodičích

polovodiče

- úzká skupina látek s výraznými vlastnostmi (velká závislost konduktivity na čistotě látek, osvětlení, teplotě)
- konduktivita s teplotou vzrůstá $\gamma(T) = ce^{\frac{b}{T}}$
- klasičtí představitelé: germanium, křemík



vlastní vodivost

- v čistém polovodiči při nízké teplotě nejsou volní nositelé náboje, nevede el. proud
- při vyšších teplotách se snadno poruší vazby valenčních elektronů – vznik nosičů náboje - **volných elektronů**
- prázdná místa u atomů - **díry**
- elektronová a děrová vodivost

5. Vedení el. proudu v polovodičích

nevlastní (příměsová) vodivost typu n

- v polovodiči přítomny atomy s více valenčními elektrony – **donory** (dárce)
- přebytečné elektrony jsou nosiči el. proudu, jejich náboj je záporný (**negativní**)
- polovodivost **typu n**
- př. v germaniu či křemíku jsou přítomny atomy fosforu, arsenu nebo antimonu

nevlastní (příměsová) vodivost typu p

- v polovodiči přítomny atomy s méně valenčními elektrony – **akceptory** (příjemce)
- v místech chybějících elektronů jsou místa (díry), jejichž náboj je kladný (**pozitivní**) → polovodivost **typu p**
- př. v germaniu či křemíku jsou přítomny atomy boru, hliníku nebo galia

p-n přechod

- rozhraní oddělující polovodič typu p a typu n
- propustný a závěrný směr
- užití v prvcích obvodů, např. dioda, fotodioda, tranzistor

6. Vedení el. proudu v kapalinách

elektrolyt – vodný roztok látky, jejíž molekuly se zde štěpí na kladné a záporné ionty (iontová vodivost, přesun hmoty)

elektrolytická disociace – proces štěpení molekul

elektrolýza – soubor jevů, které nastávají při průchodu el. proudu elektrolytem (chemické změny v roztoku a na elektrodách)

Faradayovy zákony elektrolýzy

– vyjadřují kvantitativní vztah pro množství látky přenesené roztokem k elektrodě při průchodu proudem

1. zákon

„hmotnost přenesené látky je úměrná prošlému náboji“

$$M = AQ$$

M – přenesená hmotnost, Q – prošlý náboj, A – elektrochemický ekvivalent

2. zákon

„projde-li dvěma roztoky různých elektrolytů stejný náboj, bude poměr hmotností vyloučených látek roven poměru jejich elektrochemických ekvivalentů“

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{A_1}{A_2}$$

6. Vedení el. proudu v kapalinách

galvanické články

- každý kov ponořený do vody nebo elektrolytu se více či méně rozpouští
- kationty přecházejí do roztoku, elektroda se nabíjí záporně
- ionty roztoku se zabudovávají do mřížky elektrody, ta se nabíjí kladně
- vše probíhá až do ustáleného stavu s jistými elektrodovými potenciály, dále elektrolýza

primární články

- nevratné, dochází k jejich znehodnocení
- př. suchý článek zinko-uhlíkový (Leclanchéův článek)

sekundární články

- průchodem proudu opačného směru je možné přivést článek do původního stavu (připojení k vnějšímu zdroji)
- př. olověný akumulátor

6. Vedení el. proudu v plynech

- elektrické výboje
- průběh závisí na teplotě, tlaku, druhu plynu, napětí, vlastnostech elektrod
- malá napětí – **nesamostatné výboje** (malé proudy)
- větší napětí – **samostatné výboje** (vyšší proudy + světelné záření)

obecně je třeba docílit vzniku nosičů proudu v plynu (iontů) jeho **ionizací**

- přirozená ionizace: účinkem kosmického záření nebo radioaktivity zemské kůry
- umělá ionizace: ultrafialové, röntgenové, gama záření

voltampérová charakteristika výboje:

Ohmův zákon, nasycený proud, zápalné napětí, ionizace nárazem, samostatný výboj, plazma