

4.1 Elektrický náboj

Elektrování těles třením

- jantar – řecky elektron třený vlnou (vlněnou látkou) přitahuje drobné předměty (např. kousky papíru); všiml si toho už Thales z Milétu
- místo jantaru můžeme použít novodurovou tyč
- podobně můžeme zelektrovat skleněnou tyč, když ji třeme kůží
- v praktickém životě známe zelektrování hřebene, kterým pročísáme suché vlasy
- oblečení s příměsí umělého vlákna se zelektruje při svlékání vlněného svetry

Dva druhy elektrického náboje

Experiment

- zavěsíme-li zelektrovanou novodurovou tyč tak, aby se mohla volně otáčet, vidíme při přiblížení druhé zelektrované tyče, že
 - dvě novodurové tyče se vzájemně odpuzují
 - novodurová a skleněná tyč se přitahují

Závěr

- existují dva druhy elektrického náboje **+** / **-**
- náboje stejného znaménka se vzájemně odpuzují
- náboje opačného znaménka se vzájemně přitahují

Elektrický náboj

Elektrický náboj Q (quantity of charge)

- zjišťujeme elektroskopem, měříme elektrometrem a mnoha jinými způsoby
- $[Q] = C$... coulomb

Coulombův zákon

- popisuje vzájemné silové působení mezi dvěma bodovými náboji nebo nabitými kuličkami
- je podobný Newtonovu gravitačnímu zákonu

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

$$k = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0 \epsilon_r}$$

Elementární elektrický náboj

Elementární náboj e

- nejmenší možný náboj, který mají elementární částice (proton $+e$; elektron $-e$)
- každý existující náboj je celočíselným násobkem elementárního náboje
- $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Elektrické pole

Elektrické pole

- model působení jednoho elektricky nabitého tělesa na druhé „na dálku“
- pole zkoumáme pomocí zkušební částice s nábojem Q , ale pole existuje, i když zkušební částici odstraníme

Popis elektrického pole

- vektorový – pomocí intenzity el. pole a siločar
- skalární – pomocí elektrického potenciálu a ekvipotenciálních ploch

Intenzita elektrického pole

Intenzita E

- má stejný směr jako síla působící na kladně nabitou zkušební částici
- její velikost je dána podílem velikosti působící síly a velikosti zkušební náboje

$$E = \frac{F}{Q}$$

Siločáry

- jsou myšlené čáry vycházející z kladných nábojů a vstupující do záporných nábojů
- intenzita el. pole má vždy směr tečny k siločáře

Potenciál elektrického pole

Potenciál φ

- je skalární veličina (má pouze velikost, nikoliv směr)
- jeho velikost je dána podílem potenciální energie, kterou má zkušební náboj v daném místě pole, a velikosti tohoto zkušební náboje

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

Nulový potenciál

- je v místě, kde je nulová E_p ; místo můžeme zvolit
- jako místo s nulovou E_p volíme obvykle uzemněný vodič, případně polohu v nekonečnu

Elektrické napětí

Elektrické napětí U

- je rovno práci, kterou vykoná el. pole při přemístění elektrického náboje, dělené tímto nábojem
- tato práce je rovna rozdílu potenciálních energií v daných místech el. pole, proto je el. napětí rovno rozdílu el. potenciálů v těchto místech el. pole

$$U = \varphi_2 - \varphi_1$$

Jednotka el. potenciálu a el. napětí

- $[\varphi] = [U] = \text{V} \dots$ volt (podle Alessandra Volty)
- úkol: odvodte rozměr jednotky volt, víte-li, že $C = \text{A} \cdot \text{s}$

4.1p Kondenzátor, kapacita

Deskový kondenzátor

- dvě rovnoběžné rovinné vodivé (kovové) desky, nazývané **elektrody**, mezi nimiž je napětí U
- mezi deskami jsou siločáry rovnoběžné a stejně vzdálené; vycházejí \perp z **+** elektrody a vstupují do **-**
- říkáme, že mezi deskami je **homogenní elektrické pole**

Experimentálně se zjistilo

- že napětí mezi deskami kondenzátoru je přímo úměrné náboji na jeho deskách

$$U = \frac{1}{C} Q$$

Kapacita kondenzátoru

Kondenzátor a náboj

- obráceně by šlo by také říct, že náboj nahromaděný na deskách je přímo úměrný napětí mezi deskami daného kondenzátoru

$$Q = C U$$

Kapacita kondenzátoru C (angl. capacity)

- je hodnota koeficientu této přímé úměrnosti
- zjistíme ji jako poměr mezi nábojem a napětím

$$C = \frac{Q}{U}$$

$$\begin{aligned} [C] &= \frac{[Q]}{[U]} = \frac{C}{V} = \frac{A \cdot s}{\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-1}} = \\ &= \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^4 \cdot \text{A}^2 = \text{F} \quad \dots \quad \text{farad} \end{aligned}$$

Spojení několika kondenzátorů

Paralelní spojení (vedle sebe)

- sčítají se náboje na jednotlivých kondenzátorech při stejném napětí, tedy se sčítají kapacity

$$C = C_1 + C_2$$

Sériové spojení (za sebou)

- sčítají se napětí na kondenzátorech, přičemž náboje na deskách kondenzátorů musí být stejné (**Proč?**)
- pro výslednou kapacitu platí

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad \Leftrightarrow$$

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

Další tvary a typy kondenzátorů

Kondenzátory

- historicky první: Leidenská láhev (město v Holandsku)
- jiného tvaru: válcové, kulové
- s proměnnou kapacitou: otočné deskové, varikapy
- svitkové (elektrody = kovové fólie), elektrolytické

Rozložení náboje na vodiči

- náboj se rozloží vždy na povrchu vodiče tak, že vyruší elektrické pole uvnitř vodiče
- dutý vodič má tedy stínící účinek (stíněné vodiče)
- přitom ve vodiči mohou být i otvory (stačí kovová síť nebo kovová karoserie auta) – Faradayova klec

Typy látek podle elektrické vodivosti

Vodiče

- nosiče náboje se v nich snadno pohybují, přitom se rozmístí vždy na povrchu vodiče (stínící účinek)
- dobrými vodiči jsou kovy, uhlík (grafit = tuha)
voda s příměsí soli, kyseliny nebo hydroxidu, ...

Izolanty (dielektrika)

- izolanty neumožňují volný pohyb nosičů náboje
- v elektrickém poli lze **dielektrikum polarizovat**,
jestliže jeho molekuly tvoří elektrické dipóly
- dobrými izolanty jsou sklo, porcelán, guma, plasty,
suchý vzduch, olej, ...

Polarizace dielektrika a permitivita ϵ_r

Polarizace dielektrika

- dielektrikum umístíme mezi desky kondenzátoru
- na desky přivedeme náboj Q , tím vznikne napětí U mezi deskami a homogenní elektrické pole
- pole natočí molekuly (nebo posune ionty v mřížce) tak, aby se oslabil vliv nábojů na elektrodách
(vnitřní pole v dielektriku působí proti vnějšímu poli, jež ho vyvolalo)
- tím se kapacita kondenzátoru zvýší ... $\epsilon_r > 1$
- tedy relativní permitivita dielektrika je vždy větší než 1 (pokud se polarizuje), nebo rovno 1 (pokud se nepolarizuje), např. vzduch ... $\epsilon_r = 1,000536$

4.2 Elektrický proud

Elektrický proud I

- je uspořádaný pohyb nosičů elektrických nábojů (elektronů, iontů, nebo jiných nabitých částic)
- prochází-li průřezem vodiče tyto nosiče náboje rovnoměrně mluvíme o ustáleném el. proudu

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

$$[I] = \frac{[Q]}{[t]} = \frac{C}{s} = \frac{As}{s} = A \quad \dots \text{ ampér}$$

- ampér je 1 ze 7 základních jednotek soustavy SI
- dohodnutý směr proudu ... od $+$ k $-$ (směr pohybu nosičů kladných nábojů) je opačný než směr pohybu elektronů v kovovém vodiči

Ohmův zákon

Elektrický proud

- procházející vodičem je přímo úměrný napětí mezi konci vodiče ... $I = G U$
- častěji se místo vodivosti G používá její převrácená hodnota R , nazývaná **elektrický odpor**

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

$$[I] = \frac{[U]}{[R]} = \frac{\text{V}}{\Omega} = \text{A}$$

- Ohmův zákon přesnými měřeními objevil a dokázal Georg Simon Ohm v 1. polovině 19. století
- zákon přesně platí pro běžné kovové vodiče
- jinak se chovají např. polovodičové diody

Vodivost, odpor, rezistor

Elektrická vodivost G

- převrácená hodnota odporu $[G] = \text{S} \dots$ siemens

Elektrický odpor R

- lze pro daný vodič vypočítat z Ohmova zákona:

$$R = \frac{U}{I} \quad [R] = \frac{[U]}{[I]} = \frac{\text{V}}{\text{A}} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-1} = \Omega$$

- a pro kovový vodič známých rozměrů a materiálu

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

Rezistor

- elektrotechnická součástka s přesně definovaným R

Spojování rezistorů

Sériové (za sebou)

- všemi rezistory prochází stejný proud a napětí se rozdělí v poměru odporů, pro výsledný odpor platí

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

Paralelní (vedle sebe)

- na všech rezistorech je stejné napětí a proud se rozdělí v poměru vodivosti vodičů, takže platí

$$G = G_1 + G_2 + G_3$$

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

Porovnejte se spojováním kondenzátorů!

Práce a výkon elektrického proudu

Práce el. proudu

- je vykonána přenesením náboje Q přes úsek obvodu o napětí U

$$W = U Q = U I t$$

Výkon elektrického proudu

$$P = \frac{W}{t} = \frac{U I t}{t} = U I$$

- uvedený vztah můžeme upravit dosazením za proud I , nebo za napětí U z Ohmova zákona

Jednotka práce kWh

Práce

- vykonaná domácími elektrickými spotřebiči (ne zcela správně nazývaná spotřebou elektrické energie) se běžně měří v kilowatthodinách ... kWh
- $1 \text{ kWh} = 1000 \text{ Wh} = 3\,600\,000 \text{ Ws} = 3\,600\,000 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ}$

Joulův-Lenzův zákon

- v tepelných spotřebičích (vařič, rychlovarná konvice) se všechna energie elektrického proudu změnila na teplo

$$Q_J = P t = R I^2 t$$

4.2p Zdroje elektrické energie

Ustálený stejnosměrný elektrický proud $I = konst.$

- je možný pouze v obvodu se zdrojem energie, který udržuje stálé napětí mezi konci vodiče
- zdroj si můžeme představit jako „pumpu“, která převádí náboje opačným směrem, než jakým putují ve zbývajících částech uzavřeného elektrického obvodu
- **elektromotorické napětí** (emn) zdroje označujeme U_e , skutečný zdroj má také svůj vnitřní odpor R_i , takže podle Ohmova zákona

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

$$U = RI = U_e \frac{R}{R + R_i}$$

Elektrické články a baterie

Elektrické články

- základní prvky zdrojů ustáleného elektrického proudu
- podle druhu energie, která se mění na elektrickou, je dělíme na
 - galvanické (mění chemickou energii na el.)
 - nevratné (na jedno použití)
 - dobíjecí (angl. rechargeable; akumulátory)
 - termočlánky (mění vnitřní energii na el.)
 - fotočlánky (mění energii světla na el.)

Elektrické baterie

- sériová zapojení několika článků; napětí se sečte

Galvanické zdroje elektřiny

Princip

- dvě elektrody z různých kovů (nebo kovu a uhlíku) jsou ponořeny do vodivého roztoku ... elektrolytu
- na elektrodách probíhají chemické reakce, při nichž se na záporné elektrodě uvolňují a na kladné vážou elektrony, které pak putují obvodem a konají práci

Příklady nevratných článků

- Voltův sloup – články Cu^+ , Zn^- , H_2SO_4
- Suchý článek – C^+ , Zn^- (nádobka), salmiak + škrob

Galvanické akumulátory

Princip

- chemické reakce mohou v dobíjecích člancích probíhat oběma směry (jsou vratné), to umožňuje jejich dobíjení
- dobíjecí články (např. tužkové baterie) musí být označeny slovem **rechargeable**; jiné nedobíjet !!!

Příklady akumulátorů

- autobaterie – dobíjecí články PbO_2^+ , Pb^- , H_2SO_4
- alkalické akumulátory NiFe, NiCd, NiMH
- moderní akumulátory Lion (lithium - iontové)

Termočlánky

Princip a použití termočlánků

- spojíme dráty ze dvou různých kovů na dvou místech a každý spoj držíme při jiné teplotě (plamen; led)
- objevil Thomas Johann Seebeck
- využil Georg Simon Ohm pro svá přesná měření, protože napětí článku se nemění tak jako u galvan. čl.
- napětí pouze řádu μV na $1\text{ }^\circ\text{C}$ rozdílů teplot

Praktické použití

- polárníci používali „ježka“ = baterii termočlánků umístěnou nad cylindrem petrolejové lampy k napájení rozhlasového přijímače

Fotočlánky

Princip a použití fotočlánků

- speciální polovodičové součástky, které při dopadu světla vytváří elektromotorické napětí
- využití nejdříve v kosmické technice k napájení družic, lunárních a planetárních vozítek
- v současnosti běžně k napájení kalkulátorů

Poznámka

- nyní jsme hovořili pouze o zdrojích ustáleného stejnosměrného elektrického proudu
- o výrobě střídavého proudu, který běžně užíváme v domácnosti, budeme mluvit později

Tvrdý a měkký zdroj napětí

Podle chování při zatížení zdroje

- napětí měkkého zdroje se zatížením rychle klesá, protože má relativně velký vnitřní odpor R_i
- napětí tvrdého zdroje se zatížením téměř nemění, protože má velmi malý vnitřní odpor R_i

Pojmenování a značení elektrod

- kladná elektroda se nazývá **anoda** (mnemotechnická pomůcka: kladná odpověď = ano) a značí se delší slabou čárkou
- záporná elektroda se nazývá **katoda** a značí se kratší silnou čárkou

Kirchhoffovy zákony

1. Kirchhoffův zákon – pro uzly

- součet proudů, které do uzlu vstupují, se rovná součtu proudů, které z něho vystupují
- „co přiteče, to taky odteče“

2. Kirchhoffův zákon – pro smyčky

- v uzavřené smyčce se součet napětí na rezistorech rovná součtu elektromotorických napětí zdrojů
- používá se také znaménková konvence, podle které se berou napětí na rezistorech i elektromotorická napětí jako kladná, nebo jako záporná – hodí se při řešení složitých obvodů

4.3 Elektrická vodivost

Odpor kovového drátu R

- je přímo úměrný délce drátu l
- je nepřímo úměrný průřezu drátu S
- závisí na materiálu vodiče - materiálová konstanta rezistivita ... měrný elektrický odpor ρ

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

$$[R] = [\rho] \frac{[l]}{[S]} = \Omega \text{ m} \frac{\text{m}}{\text{m}^2} = \Omega$$

- voltampérová charakteristika kovového drátu tedy bude graf přímé úměrnosti (přímka procházející 0)
- reálný vodič se však zahřívá a jeho odpor se mění

Změna vodivosti kovů s teplotou

Odpor kovového drátu R

- se mění se změnou teploty drátu

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

$$\Delta t = t - t_0$$

- R_0 je odpor vodič při teplotě t_0 , R při teplotě t
- koeficient α je **teplotní součinitel odporu**

Úkol

- z tabulky 6 v učebnici zjistěte, které tři kovy mají nejnižší měrný elektrický odpor (rezistivitu) ρ

Supravodivost

Objev v roce 1911

- Heike Kamerlingh Onnes zjistil, že rtuť při ponoření do kapalného hélia úplně ztratí elektrický odpor
- některé další kovy jsou supravodivé při teplotě kapalného hélia

Pokrok v roce 1986

- „vysokoteplotní“ supravodiče na bázi keramiky byly vyvinuty až 85 let po Onnesově objevu; jsou supravodivé už při teplotě kapalného dusíku
- ideální by bylo vytvořit materiály supravodivé při běžné pokojové teplotě, ale to zatím neumíme

Polovodiče

Látky podle elektrické vodivosti

- vodiče (kovy, uhlík, iontové roztoky, ...)
- izolanty (sklo, porcelán, plasty, oleje, ...)
- polovodiče (**křemík**, germanium, selen, ...)

Polovodiče

- jejich rezistivita ρ je mnohem větší než u kovů
- ale lze ji snížit zahřátím (porovnej se změnou R u kovů), osvětlením (viz fotočlánek), nebo přidáním nepatrného množství příměsi (stačí 0,001 % příměsi k 1000x větší vodivosti)

Polovodiče podle typu příměsi

Rozlišujeme 2 typy

- elektronová vodivost ... typ **N** ... negativní **-**
- děrová vodivost ... typ **P** ... pozitivní **+**
- spojení 2 typů do 1 součástky ... polovodičová **dioda**
přechod PN propouští proud jen v jednom směru
- spojením PNP nebo NPN, přičemž oba přechody jsou tak blízko, aby se ovlivňovaly vznikne **tranzistor**

Polovodiče v současnosti

- mikroprocesory počítačů, polovodičové paměti
(počítače, flash disky, MP3 přehrávače, mobily, paměťové karty, ...)

4.3p Kapaliny a plyny jako vodiče

Kapaliny

- mohou být izolanty i vodiče
- příklad izolantu: olej v silnoprůdém transformátoru
- vodivé kapaliny nazýváme elektrolyty

Elektrolyty

- roztoky nebo taveniny solí, kyselin či zásad
- molekuly solí (př. NaCl) ve vodním \odot disociují, tj. rozkládají se na ionty, př. $\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$
- z těchto volných iontů se mohou stát nosiče el. náboje a vytvářet el. proud

Elektrolyty a elektrolýza

Elektrolýza

- chemický rozklad elektrolytu v důsledku průchodu el. proudu roztokem
- kladné ionty = kationty doputují ke katodě (pozor! k záporné elektrodě!), kde si doplní chybějící e^- a tak se stanou neutrálními atomy, které se mohou usazovat na katodě
 - praktické využití: galvanické pokovování, např. chromované díly luxusních motocyklů
- anionty = záporné ionty doputují na anodu, tj. kladnou elektrodu a zde odevzdají přebytečný e^-

Praktické použití elektrolýzy

Elektrolýzu využíváme

- při galvanickém pokovování
- při výrobě kyslíku a vodíku (elektrolýza vody)
 - Do vody musíme přidat trochu kyseliny.
Proč? Destilovaná = chemicky čistá voda nevede el. proud.
 - Budou automobily jednou jezdit na vodík?
- při výrobě některých kovů (např. Al, Na)

Vedení el. proudu v plynech

Vzduch

- suchý vzduch je za normálních podmínek izolant
 - dráty vedení vysokého napětí (na sloupech) nemají jinou izolaci než vzduch
 - Jak je možné, že vysoké napětí nezabije ptáčka, který se usadil na některém z drátů?
- přesto se nabitý kondenzátor (nebo elektroskop) na vzduchu pomalu vybije
 - i v suchém vzduchu jsou ionty, vznikající účinkem kosmického nebo radioaktivního záření

Ionizace plynu, samostatný výboj

Vzduch

- vybíjení kondenzátoru (elektroskopu) lze urychlit, když zvýšíme koncentraci iontů v místě **výboje**
- mluvíme o ionizaci vzduchu, ionizátorem může být
 - plamen (svíčky, kahanu)
 - záření (UV, RTG)
 - výboj o dostatečné intenzitě (proud elektronů a iontů je tak intenzivní, částice mají takovou energii, že při nárazech vytvářejí další ionty)
- v prvních dvou případech se jedná o **nesamostatný výboj**, v posledním případě o **samostatný výboj**

Typy elektrických výbojů

Za atmosférického tlaku (vzduch)

- obloukový výboj
 - jasný dlouhotrvající výboj mezi uhlíky
 - automatickou regulaci vzdálenosti mezi uhlíky vyřešil český vynálezce František Křižík
 - dříve: veřejné osvětlení, promítačky v kinech
- korónový výboj
 - sršení (oheň sv. Eliáše, vodiče vysokého U, ...)
- jiskrový výboj
 - krátký intenzivní výboj
 - blesk; zapalovací svíčky u zážehových motorů
 - piezoelektrický zapalovač; triboluminescence

Typy el. výbojů – doutnavý výboj

Za nízkého tlaku (netečné plyny)

- doutnavý výboj
 - modravé katodové a růžové anodové světlo
 - využití v reklamních trubicích („neony“)
 - zářivky – světélkující vrstva je buzena UV zářením doutnavého výboje – studené světlo
 - doutnavky – signalizace přítomnosti napětí
- zářivky mají mnohem větší účinnost než žárovky, které mění velkou část dodané energie na teplo
- tzv. „úsporné žárovky“ jsou ve skutečnosti vlastně zářivky upravené zašroubování do běžné objímky pro žárovky

4.4 Elektronika

Vznik elektroniky

- konstrukce vakuových trubic, jimiž se pohybuje svazek elektronů ... nazývají se **elektronky**
- klíčový byl vynález zesilovací elektronky (triody), který umožnil konstrukci prvních zesilovačů
- dodnes používanou elektronkou je **obrazovka**
 - osciloskopická
 - televizní
- barevné televizní obrazovky, nebo počítačové CRT monitory používají aditivní skládání barev RGB
 - R = red, G = green, B = blue

Polovodiče v elektronice, dioda

Dioda

- jednoduchá součástka, sloužící k usměrnění proudu
- nejprve elektronka se dvěma elektrodami (katoda emituje proud elektronů, anoda si je přitáhne; opačným směrem elektrony putovat nemohou!)
- později polovodičová součástka (z **křemíku**, nebo germania), vzniklá spojením oblastí s vodivostí typu **P** a **N**; tento přechod propouští el. proud jen jedním směrem, stejně jako vakuová dioda
- později také speciální diody, např. svítivé (LED)

Polovodiče podle příměsi, tranzistor

Rozlišujeme 2 typy

- elektronová vodivost ... typ **N** ... negativní **-**
- děrová vodivost ... typ **P** ... pozitivní **+**
- spojení 2 typů do 1 součástky ... polovodičová **dioda**
přechod PN propouští proud jen v jednom směru
- spojením PNP nebo NPN, přičemž oba přechody jsou tak blízko, aby se ovlivňovaly vznikne **tranzistor**
- integrací několika tranzistorů na jeden čip (plátek) polovodiče vznikl **integrovaný obvod** (1958)
- integrovanými obvody s obrovskou složitostí jsou např. mikroprocesory počítačů, polovodičové paměti

Použití elektroniky v praxi

Bezdrátové spojení

- bezdrátová telegrafie, hlasové vysílání
- wi-fi počítačové sítě, mobilní telefonní sítě

Záznam a reprodukce zvuku a obrazu

- magnetofon, videorekordér (magnetický záznam)
- CD, DVD, BlueRay (záznam pomocí laseru)

Výpočetní technika

- kapesní kalkulátory, PDA, osobní počítače
- superpočítače

4.5 Magnetické pole

Planeta Země je obrovský magnet

- staří Řekové zjistili, že magnetovec přitahuje železo
- staří Číňané objevili magnetickou strelku ... kompas
- námořníci věřili, že magnetická síla vychází přímo ze severní hvězdy – Polárky
- roku 1600 vydal William Gilbert spis „O magnetu“, v němž popsal své experimenty; velká železná koule mu byla modelem Země, zjistil, že magnetické póly nelze oddělit (rozlomením magnetu vzniknou dva menší magnety s oběma póly), zjistil, že zmagnetovaná železná tyč ztratí svůj magnetismus při žíhání (zahřívání plamenem); ve svém spise se zabývá také elektrickým přitahováním, rozlišuje tyto dvě různé síly, zavádí pojmenování elektrina z řeckého slova elektron (řecky jantar)

Magnetické pole Země

Kam ukazuje magnetická střelka

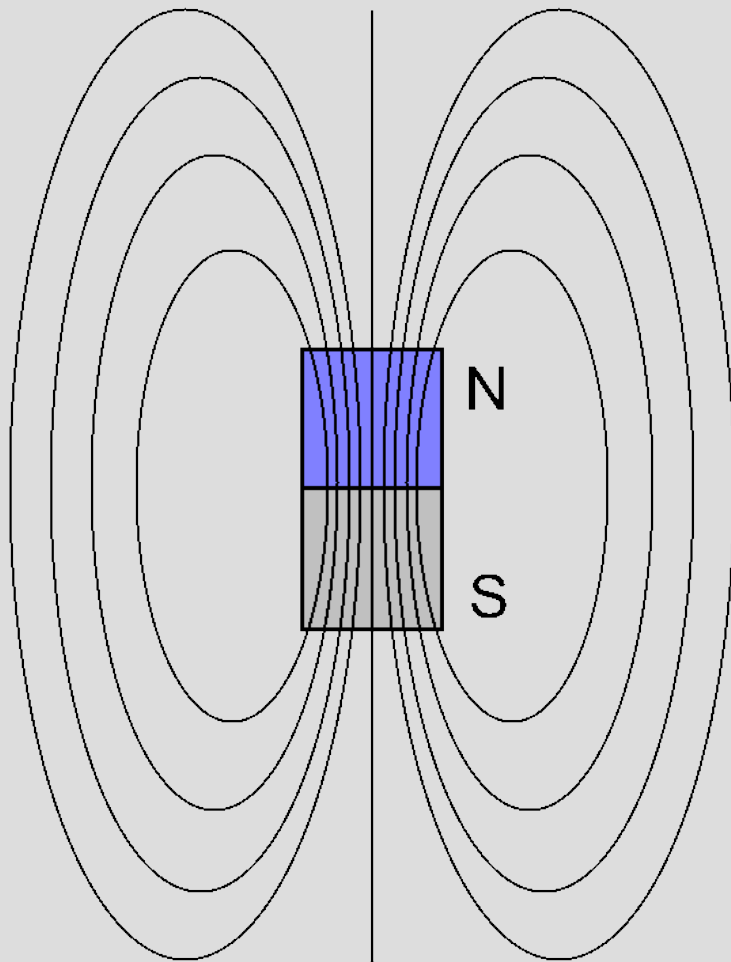
- svým severním pólem ukazuje k severu, kde je
 - severní zeměpisný pól
 - jižní pól zemského magnetu (nestejnomené póly se přitahují), kterému ovšem z praktických důvodů říkáme severní magnetický pól (trochu zmatené, že?)
- zeměpisný pól a magnetický pól se ovšem nekryjí, vzniká úhlová odchylka střelky, které říkáme **magnetická deklinace**
 - Je všude na Zemi stejná? Kde je největší?
- odchylce od vodorovné roviny (střelka se sklání k zemi, říkáme **magnetická inklinace**

Popis magnetického pole

Magnetické indukční čáry

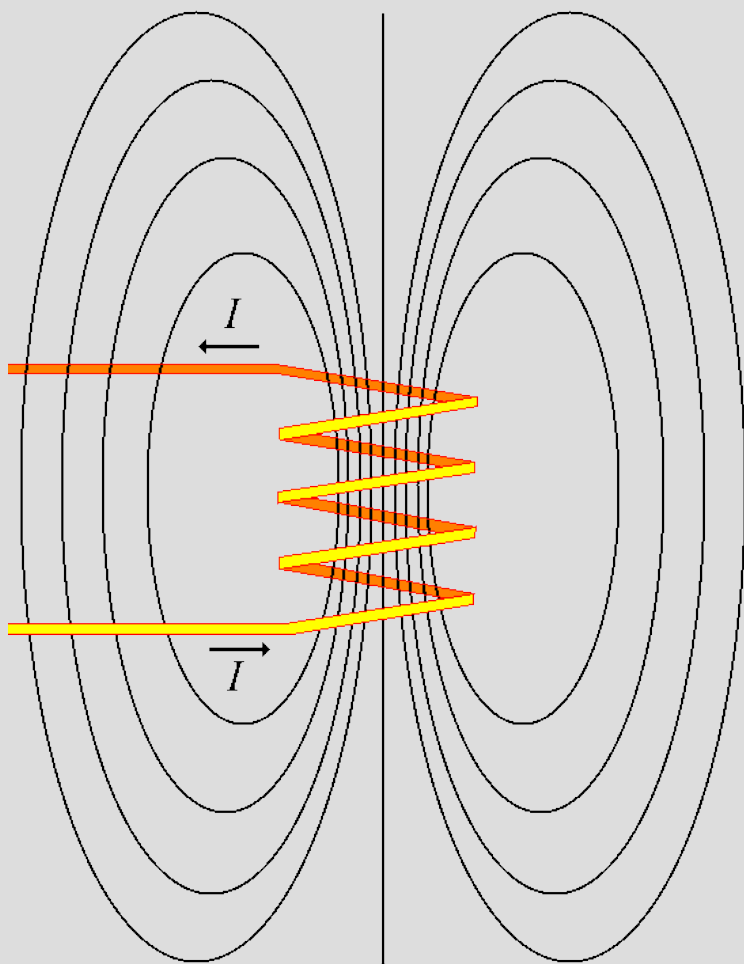
- tak jako elektrické pole popisujeme vektorovou veličinou intenzita el. pole E , popisujeme pole magnetické vektorovou veličinou **magnetická indukce B**
- magnetická indukce má vždy směr tečny k jedné z myšlených křivek, které nazýváme **magnetické indukční čáry**
- zatímco elektrické čáry vždy začínaly v kladně nabitě tělese (částici) a končily v záporném, magnetické čáry nemají začátek ani konec, jsou to vždy uzavřené smyčky

Pole tyčového magnetu



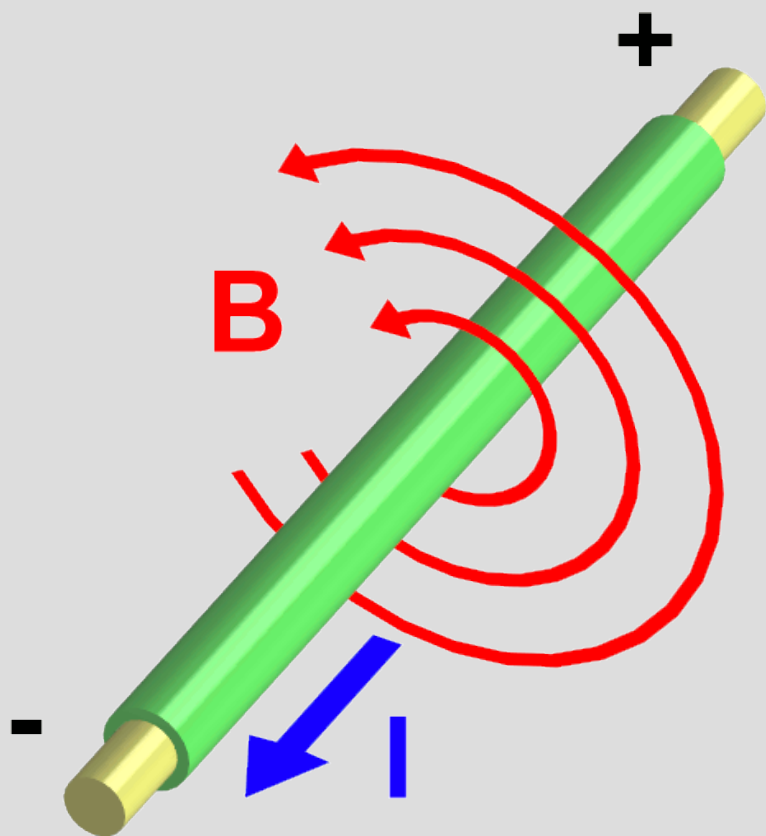
- indukční čáry se uzavírají vnitřkem magnetu
- orientace indukčních čar vně magnetu je taková, aby vystupovaly z N a vstupovali do S
- N ... north (angl. sever)
- S ... south (angl. jih)
- dokreslete do obrázku šipky vyznačující směr indukčních čar

Magnetické pole cívky (solenoidu)



- indukční čáry se uzavírají vnitřkem solenoidu
- pravidlo pravé ruky: zahnuté prsty ukazují směr elektrického proudu cívkou, palec směr indukčních čar
- vyznačte v obrázku šipky určující směr indukčních čar a označte severní a jižní pól solenoidu (písmeny N a S)

Magnetické pole přímého vodiče



- indukční čáry se uzavírají do kružnic okolo vodiče
- pravidlo pravé ruky: palec ukazuje směr proudu vodičem, zahnuté prsty směr indukčních čar
- všimněte si, že díky tvaru indukčních čar (kružnice) se nevytvoří žádné póly
- magnetické pole působí na střelku, což jak první zjistil Hans Ch. Oersted

Síla působící na vodič v mg. poli

- umístíme-li vodič délky l , protékaný proudem I do homogenního mg. pole s mg. indukcí B kolmo k indukčním čarám, bude na něj působit síla F , jejíž velikost je

$$F = B I l$$

- směr síly je dán Flemingovým pravidlem levé ruky (prsty ukazují směr proudu, indukční čáry vstupují do dlaně, směr síly ukazuje odtažený palec)

Látky v magnetickém poli

- umístíme-li těleso do mg. pole (např. jako jádro cívky), pak vnější mg. pole buď
 - zeslabí $\mu_r < 1$... látky **diamagnetické**
 - zesílí $\mu_r > 1$... látky **paramagnetické**
 - výrazně zesílí ... látky **feromagnetické**
 $\mu_r > 1000$ (permanentní magnety, elektromagnety, relé, ...)

relativní permeabilita μ_r

- materiálová konstanta charakterizující magnetické vlastnosti dané látky (najdeme v tabulkách)

4.6 Elektromagnetická indukce

Objev elmg. indukce

- byl výsledkem cílevědomé a pečlivé práce Michaela Faradaye (když se dozvěděl o Oerstedově objevu, stanovil si cíl „proměnit magnetismus na elektrinu“, následovalo několik let práce)
- heslo Michaela Faradaye: „Work, finish, publish!“
- aby se indukoval elektrický proud v cívce (vodivé smyčce, rámečku), nestačí přítomnost mg. pole, ale je nutná **změna mg. indukčního toku** plochou cívky
- změnu je možné vyvolat zasouváním magnetu dovnitř cívky či vysouváním ven, otáčením cívky v mg. poli, nebo změnou intenzity pole v čase, ...

Magnetický indukční tok

Magnetický indukční tok Φ

- prochází smyčkou o ploše S , umístěnou v mg. poli s mg. indukcí velikosti B
- jestliže normála plochy rámečku (kolmice k rovině) a směr indukčních čar svírají úhel α , vypočteme

$$\Phi = B S \cos \alpha$$

- jednotka $[\Phi] = \text{T}\cdot\text{m}^2 = \text{Wb} \dots$ weber
- pro cívku s N závitů upravíme vzorec:

$$\Phi = N B S \cos \alpha$$

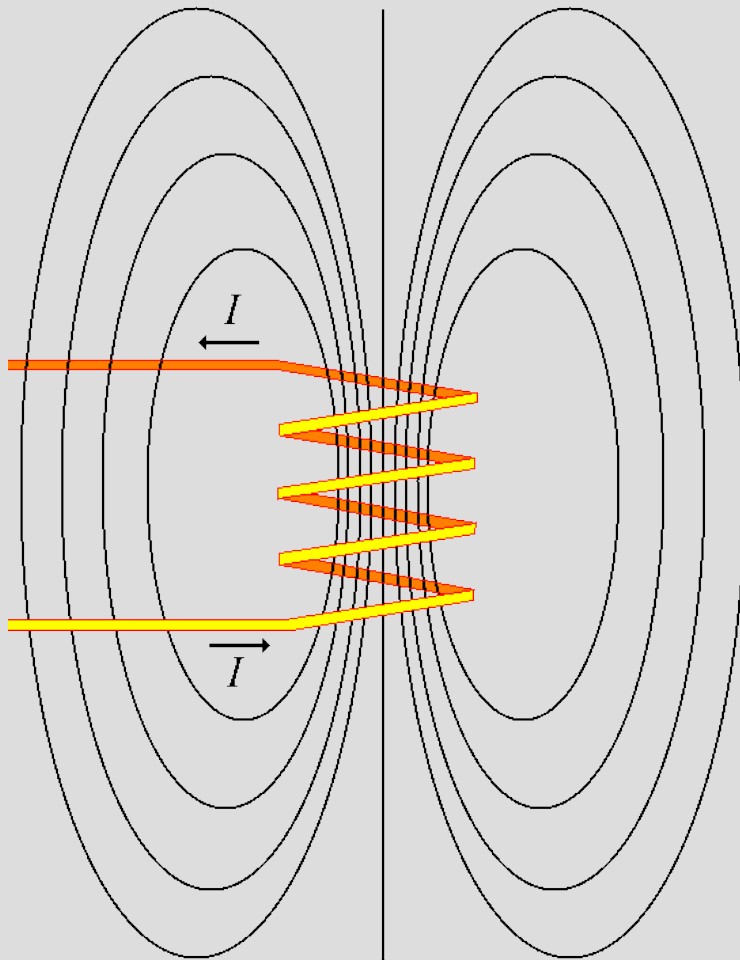
Faradayův zákon elmg. indukce

Při časové změně magnetického indukčního toku plochou ohraničenou smyčkou se ve smyčce indukuje elektromotorické napětí. Změní-li se magnetický indukční tok za dobu Δt o $\Delta \Phi$, bude střední indukované elektromotorické napětí rovno

$$U_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Znaménko mínus vyjadřuje skutečnost, že „Směr indukovaného pole je vždy takový, aby jeho magnetické pole působilo proti změně, která ho vyvolala, aby ji oslabovalo.“ ... **Lenzův zákon**

Indukčnost cívky (solenoidu)



- Vlastní indukčnost cívky L**
- je poměr mezi vlastním mg. indukční tokem cívkou Φ a proudem I , který tento mg. indukční tok vyvolává

$$L = \frac{\Phi}{I}$$

- jednotka $[L] = \text{Wb} \cdot \text{A}^{-1} = \text{H}$
... henry

Elmg. indukce a indukčnost cívky

Neplést!

- elmg. indukce je fyzikální jev, popsáný F. zákonem
- vlastní indukčnost je fyzikální veličina

Elmg. indukce

- probíhající při změně proudu cívkou s indukčností L

$$U_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = - L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Vířivé Foucaltovy proudy

Proměnné mg. pole může indukovat proudy nejen ve smyčce, ale i v kompaktním vodiči (kovové těleso). Tyto proudy tvoří uvnitř vodiče uzavřené víry, projeví se např. magnetickým brzděním.

V technice mohou být úmyslně vyvolány a využívány, nebo mohou být nežádoucí a vést ke ztrátám energie.

4.7 Střídavý proud

Vznik střídavého proudu

- otáčením vodivé smyčky (ploché cívky, vinutí rotoru) v homogenním magnetickém poli
- pro úhel α otočení platí při rovnoměrném kruhovém pohybu $\alpha = \omega t$ a odtud pro mg. indukční tok Φ

$$\Phi = B S \cos \omega t$$

- experimentálně i výpočtem lze zjistit, že pro okamžitou hodnotu indukovaného napětí u platí

$$u = U_m \sin \omega t$$

Střídavé napětí a střídavý proud

Střídavé harmonické napětí u

- mění se dle vzorce $u = U_m \sin \omega t$, kde $\omega = 2\pi f$
- frekvence (kmitočet) f napětí v rozvodné síti je $f = 50 \text{ Hz}$
- vyvolává v uzavřeném obvodu střídavý proud, který může (ale nemusí) být proti časově posunut
- posunutí střídavého proudu vůči stříd. napětí záleží na typu zátěže, na rezistoru je proud ve fázi s napětím, na cívce se proud opožďuje za napětím, zatímco na kondenzátoru proud předbíhá napětí

Efektivní hodnoty napětí a proudu

Efektivní hodnoty střídavého napětí a proudu

- vypočteme pro harmonický (sinusový) průběh z maximálních hodnot

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,707 U_m \qquad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 I_m$$

- jsou takové hodnoty, které, jsou-li ve fázi, dávají stejný výkon jako ustálený elektrický proud stejné velikosti

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

Výkon střídavého proudu a účinník

Účinník $\cos \varphi$

- je kosinus fázového posunu mezi stř. napětím a stř. proudem pro daný spotřebič, který ovlivňuje výkon využitelný ke konání užitečné práce

$$P = U I \cos \varphi$$

- je-li $\varphi \neq 0$, pak $\cos \varphi < 1$ a část energie „přechází“ od zdroje ke spotřebiči a naopak, aniž by ji bylo možné využít
- proto se např. k el. motorům s cívkami připojují kondenzátory, které zlepšují účinník

Trojfázová rozvodná soustava

Trojfázové alternátory

- v elektrárnách mají v mg. poli ne jednu, ale hned 3 cívky, ve kterých se indukují 3 napětí s posunem 120° , každá fáze se vede samostatným vodičem, čtvrtý vodič je nulovací (cívky spojeny do hvězdy)
- konstrukčně je jsou většinou tři cívky umístěny na nepohyblivé části – **statoru**, zatímco otáčivá část - - **rotor** je silný elektromagnet buzený dynamem (tzv. budičem), rotor se otáčí 3000krát za minutu
- je-li v elektrárně spojen alternátor s turbínou hřídelem v soustrojí, nazýváme ho **turbogenerátor**

Trojfázová rozvodná soustava

Trojfázové transformátory

- velkou výhodou stříd. proudu (proti stejnosměrnému) je možnost snadno jej transformovat na různá napětí
- jiné napětí je vhodné pro výrobu elektřiny, jiné pro dálková vedení a jiné pro spotřebiče v domácnosti
- transformátor jsou v podstatě dvě přesně propočítané cívky (vinutí) se společným uzavřeným jádrem
- transformační poměr k je dán poměrem počtu závitů N výstupní - **sekundární** cívky ku počtu závitů vstupní - **primární** cívky, ve stejném poměru se transformuje napětí

$$k = \frac{N_2}{N_1} = \frac{U_2}{U_1}$$

T. A. Edison X Nikola Tesla

Technický spor o rozvod elektřiny

- slavný vynálezce Thomas Alva Edison považoval střídavý proud za nebezpečný, stavěl své elektrárny na stejnosměrné napětí (elektřinu vyráběla dynamo)
- jihoslovanský vynálezce Nikola Tesla propagoval od začátku stříd. proud, vynalezl trojfázový alternátor
- čas dal za pravdu Teslovi, který postavil elektrárnu na Niagarských vodopádech (1896)
- Nikola Tesla mimo jiné studoval v Praze
- z českých průkopníků výroby a využití elektřiny je třeba zmínit Františka Křižíka a Emila Kolbena

4.7p Transformátory, RLC obvody

Hlavní výhoda střídavého rozvodu

- oproti stejnosměrnému rozvodu elektrického proudu
- Spočívá v možnosti transformovat dané napětí
- Na vyšší, či nižší hodnotu podle potřeby:
 - Vysoké napětí je vhodné pro rozvodnou síť (pro dálková vedení se užívá velmi vysoké n.), protože se tím minimalizují ztráty ve vedení.
 - Nízké napětí je vhodné pro rozvod v domech a bytech koncových spotřebitelů, kde vysoké napětí nelze použít! Proč?

Vysoké a nízké střídavé napětí

Vysoké napětí U

- Umožní přenést daný elektrický výkon P s menšími ztrátami P_z , protože stačí menší proud I .
- Ztráty spočítáme podle Ohmova zákona. Při daném odporu vedení R jsou ztráty:

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

- V naší rozvodné síti: 22 kV, 110 kV, 220 kV, ...
- Do 100 kV vysoké, nad 100 kV velmi vysoké napětí.

Vysoké a nízké střídavé napětí

Nízké napětí U

- Na rozdíl od vysokého napětí, ke kterému se nesmí lidé přibližovat na menší než bezpečnou vzdálenost (několik metrů; elektrický náboj si „najde“ cestu vzduchem a v podobě mohutné jiskry, „blesku“, může snadno zabíjet), jej lze používat v domácnosti.
- I nízké napětí může být nebezpečné lidskému životu, ale nehrozí u něj výboj vzduchem. Je ale nebezpečné pouze při přímém dotyku vodiče.
- V naší rozvodné síti: 230 V (1 fáze proti zemi).

Transformátor a transformační poměr

Transformátor

- Je netočivý elektrický stroj, který sestává ze dvou cívek s různým počtem závitů (z vodičů s různým průřezem), navinutých na společném uzavřeném jádře.
- Proud procházející vstupní (primární) cívkou indukuje v uzavřeném magnetickém jádře střídavé magnetické pole.
- Střídavé (měnící se) magnetické pole indukuje ve výstupní (sekundární) cívce elektrické napětí.

Transformátor a transformační poměr

Transformační poměr

- Poměr výstupního (sekundárního) napětí ke vstupnímu (primárnímu) napětí je stejný jako
- poměr počtu závitů sekundárního vinutí (cívky) k počtu závitů primárního vinutí (primární cívky)
- a nazývá se transformační poměr:

$$k = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

Transformace napětí a proudu

Transformace napětí, proudu a výkonu

- Je-li transformátor dobře navržen a vyroben, pak výkon na výstupu se téměř rovná příkonu na vstupu
- $P_2 = P_1$ (výkon se transformuje v poměru 1:1).
- Musí tedy platit $U_2 I_2 = U_1 I_1$ a odtud pro proudy:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

- Můžeme transformovat i proud (např. silný proud pro tavení kovů v indukčních pecích).

RLC obvody střídavého proudu

Obvody střídavého proudu

- Obsahují kromě odporové zátěže R také kapacitní prvky, kondenzátory s kapacitou C a indukční prvky, cívky s indukčností L .
- Kondenzátory, či cívky jednak způsobují fázový posun mezi napětím a proudem (mají svá maxima v různý okamžik; „netáhnou za jeden provaz“), jednak omezují velikost procházejícího proudu podobně jako rezistory.

RLC obvody střídavého proudu

Celková impedance Z

- V obvodu s rezistorem, kondenzátorem a cívkou závisí celková impedance (komplexní odpor, který omezuje proud v obvodu) na frekvenci použitého střídavého napětí. Vypočteme ji:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C} \right)^2}$$

RLC obvody střídavého proudu

Rezonance v RLC obvodu

- Nastává ve chvíli, kdy se ve vzorci pro impedanci vzájemně vyruší člen pro kapacitní a indukční složku:

$$2\pi f_0 L = \frac{1}{2\pi f_0 C}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

Určeno pro prezentaci přednášky Vybrané kapitoly z fyziky pro studenty OVP.

Byly použity materiály z <http://www.musilek.eu/fyzika> , které vycházejí z učebnice

Ivan Štoll: Fyzika pro netechnické obory SOŠ a SOU, Prometheus, Praha 2001