

Poznámky z

FYZIKY

pre 3. ročník
gymnází
a stredných škôl



Autor: Martin Šlota

Zdroj: <http://www.zones.sk>

Používanie materiálov zo ZONES.SK je povolené bez obmedzení iba na osobné účely a akékoľvek verejné publikovanie je bez predchádzajúceho súhlasu zakázané.

MAGNETICKÉ POLE

- magnetické polia delíme na:
 - **stacionárne** – hodnoty magnetického poľa sa s časom nemenia
 - **nestacionárne** – hodnoty magnetického poľa sa s časom menia

STACIONÁRNE MAGNETICKÉ POLE

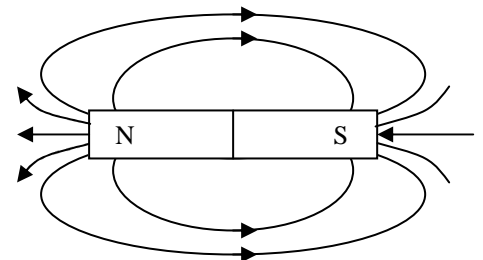
- nachádza sa najčastejšie v okolí permanentného (trvalého) magnetu, alebo v okolí vodiča, cez ktorý prechádza konštantný (stály) prúd

Vzájomné silové pôsobenie vodičov s prúdom a magnetov

- prechádzaním **elektrického prúdu** cez:
 - **tvrdú oceľ** získame **trvalý magnet**
 - **mäkkú oceľ** získame **dočasný magnet** (po vypnutí prúdu stráca magnetické vlastnosti)
- prvky, ktoré môžu nadobudnúť magnetické vlastnosti: Fe, Co, Ni (triáda železa), Cd
- jediná ruda s prirodzenými magnetickými vlastnosťami – magnetit ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO}$)
- Heustlerove zliatiny prejavujú oveľa väčšie magnetické vlastnosti než kovy samostatne (Fe + Nd + B – až 100-násobne väčšie vlastnosti)
- r. 1820 Hans Christian Oersted objavil, že aj v okolí vodiča s prúdom je magnetické pole
- silové pôsobenie medzi permanentnými magnetmi a medzi permanentnými magnetmi a vodičmi s prúdom je vzájomné
- magnetické sily pôsobia prostredníctvom magnetického poľa, ktoré existuje v okolí permanentných magnetov a vodičov s prúdom
- magnetické pole pôsobí magnetickými silami na permanentné magnety a na vodiče s prúdom

Magnetické indukčné čiary

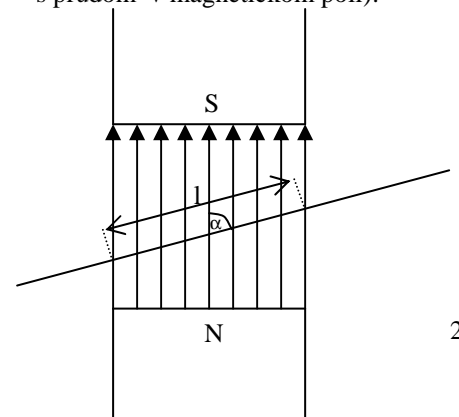
- magnetická indukčná čiara je priestorovo orientovaná krivka, ktorej dotyčnica v danom bode má smer osi veľmi malej magnetky umiestnenej v tomto bode
- orientácia od južného k severnému pólu magnetky určuje smer indukčnej čiary
- na rozdiel od elektrických siločiar **nie je možné oddeliť severný a južný pól magnetu**
- homogénnosť magnetického poľa:
 - magnetické pole, ktorého indukčné čiary sú rovnobežné priamky, nazývame homogénne magnetické pole
 - každé reálne magnetické pole je nehomogénne, ale polia, ktoré sa od homogénnych líšia iba nepatrne, v praxi nazývame homogénne (napr. magnetické pole strednej časti valcovej cievky)
- **najväčšie magnetické vlastnosti sú na póloch a najmenšie v strede magnetu** (neúčinné pásmo)
- **Ampérovho pravidla pravej ruky:**
 - Naznačíme uchopenie vodiča do pravej ruky tak, aby palec ukazoval dohodnutý smer prúdu vo vodiči; potom prsty ukazujú orientáciu magnetických indukčných čiar
 - Naznačíme uchopenie cievky do pravej ruky tak, aby prsty ukazovali dohodnutý smer prúdu vo vodiči; potom palec ukazuje severný pól cievky



Magnetická indukcia

- **fyzikálna veličina** – \vec{B} [1 T – tesla]
- na vodič, cez ktorý prechádza prúd, nachádzajúci sa v magnetickom poli pôsobí sila o veľkosti $F_m = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha$
- $B = \frac{F_m}{I \cdot l \cdot \sin \alpha}$ [1 T = N · A⁻¹ · m⁻¹]
- $\Delta F_m = B \cdot \Delta I \cdot \Delta l \cdot \sin \alpha$
- **magnetické pole má indukciu 1 T vtedy, keď na vodič s aktívnou dĺžkou 1 m, ktorým prechádza prúd 1 A pôsobí silou 1 N**
- **Flemingovo pravidlo ľavej ruky** určuje smer sily, ktorou bude vodič vychýľovaný v magnetickom poli: Položíme otvorenú ľavú ruku na priamy vodič tak, aby prsty ukazovali smer prúdu a indukčné čiary vstupovali do

obr. (magnetická indukcia – vodič s prúdom v magnetickom poli):

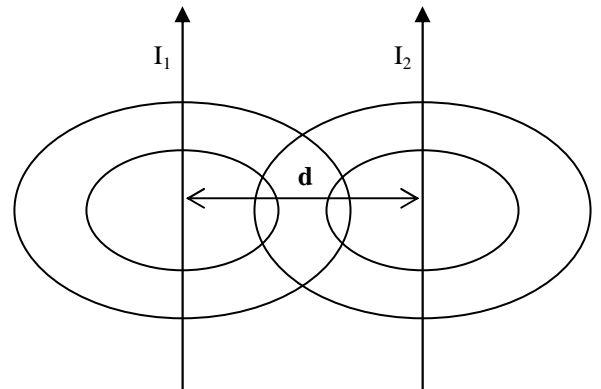


dlane; natiahnutý palec ukazuje smer sily, ktorou pôsobí magnetické pole na vodič s prúdom

Vzájomné silové pôsobenie dvoch priamych rovnobežných vodičov s prúdom

- **Ampérov zákon:** magnetická sila $F_m = k \frac{I_1 \cdot I_2 \cdot l}{d}$
- $k = \frac{\mu}{2\pi}$
- μ (permeabilita prostredia) $= \mu_0 \cdot \mu_r$
- μ_r (relatívna permeabilita) – pre vákuum a vzduch $= 1$
- μ_0 (permeabilita vákuua) $= 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{A}^{-2}$
- **ak je smer prúdu vo vodičoch zhodný, sila je príťažlivá, ak je opačný, sila je odpudivá**
- magnetická sila, ktorou na seba pôsobia 2 vodiče s prechádzajúcim elektrickým prúdom, je priamo úmerná súčinu prúdov prechádzajúcich vodičmi a ich aktívnej dĺžke a nepriamo úmerná ich vzdialenosti
- **jeden ampér je prúd, ktorý prechádza dvoma nekonečne dlhými vodičmi zanedbateľného kruhového prierezu, umiestnenými vo vákuu, vzdialenými od seba 1 m a vzájomne na seba pôsobiace silou $2 \cdot 10^{-7} \text{ N}$ na každý meter dĺžky**

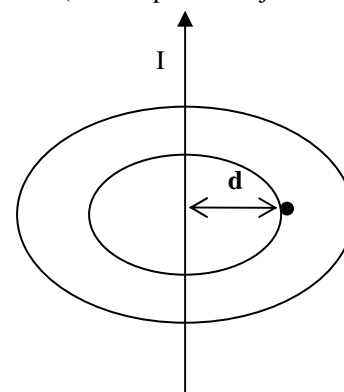
obr. (dva vodiče s prúdom a ich magnetické polia):



Magnetické pole cievky

- magnetická indukcia vodiča s prúdom: $B = k \cdot \frac{I}{d}$
- magnetická indukcia cievky: $B = \mu \cdot \frac{N \cdot I}{l} = \mu \cdot \frac{N \cdot I}{N \cdot d} = \mu \cdot \frac{I}{d}$
- d je vzdialenosť navinutých drôtov (ak je cievka husto vinutá, je to prierez drôtu), l je dĺžka cievky, N je počet navinutých drôtov, $\frac{N}{l}$ je hustota drôtu na cievke
- husto vinutá cievka – **solenoid**:
 - homogénne magnetické pole
 - jej dĺžka musí byť aspoň 2-krát jej výška
- **Helmholtzove cievky**:
 - takmer homogénne, ale slabé magnetické pole
 - dve rovnaké úzke kruhové cievky so spoločnou osou, ktorých vzájomná vzdialenosť sa rovná ich polomeru
 - obe cievky sú sériovo spojené tak, aby nimi prúd prechádzal súhlasným smerom
 - využívaná oblasť magnetického poľa je medzi cievkami a siaha do vzdialenosti približne 0,5 r od osi
 - používajú sa na sledovanie častíc v elektrickom poli – v ich magnetickom poli sa žeraví katóda a elektróny, ktoré emituje, opisujú kruhovú dráhu v sklenenej guli
- **prstencová cievka**:
 - vzniká navinutím vodiča na jadro tvaru prstenca
 - magnetické pole prstencovej cievky, ktorej závitý sú tesne vedľa seba, je sústredené takmer iba v jadre a jeho indukčné čiary sú kružnice so stredmi na osi prstenca
 - ak má prstenec kruhový prierez, volá sa cievka toroidná

obr. (vodič s prúdom a jeho magnetické pole):



Častice s nábojom v magnetickom poli

- $F_m = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha$
- do vzťahu potrebujeme dostať elektrický náboj: $I = \frac{Q}{t}, l = s = v \cdot t \Rightarrow F_m = B \cdot \frac{Q}{t} \cdot v \cdot t = B \cdot Q \cdot v = B \cdot e \cdot v$ ($\sin \alpha$ počítame rovný $1 \Rightarrow$ častica musí do poľa vletieť kolmo)
- keď sa častica s nábojom pohybuje zároveň v elektrickom aj magnetickom poli (napr. v obrazovke), pôsobí na ňu Lorentzova sila: $\vec{F}_L = \vec{F}_m + \vec{F}_e = \vec{B} \cdot \vec{Q} \cdot \vec{v} + \vec{E} \cdot \vec{Q}$

- častica s nábojom v homogénnom magnetickom poli opisuje kruhovú dráhu $\Rightarrow F_m = F_d \Rightarrow B \cdot Q \cdot v = \frac{m \cdot v^2}{r} \Rightarrow r = \frac{m \cdot v}{\underline{\underline{B \cdot Q}}} \Rightarrow$
 \Rightarrow čím má častica väčšiu rýchlosť, tým väčší je polomer dráhy, ktorú opisuje (toto sa využíva v urýchľovačoch častíc)

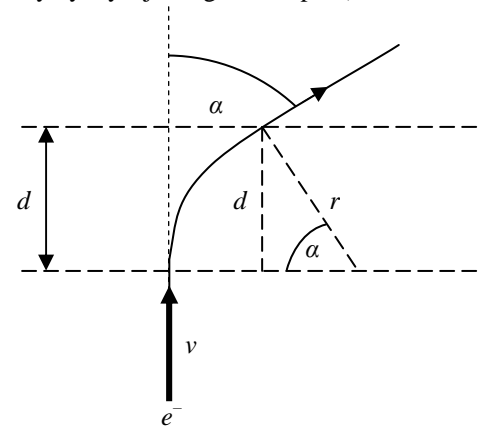
• vzorce z Cvičenia 2:

- $\sin \alpha$, o ktorý sa elektrón s nábojom e , hmotnosťou m a rýchlosťou v môže vychýliť v magnetickom poli s dĺžkou d , intenzitou B : $\sin \alpha = \frac{d}{r} = \frac{d}{\frac{mv}{eB}} = \frac{deB}{mv}$ (r je polomer krivky, po

ktorej sa elektrón vychýľuje)

- z predchádzajúceho vzorca vyjadríme B : $B = \frac{mv \sin \alpha}{ed}$
- elektrón získa počas urýchlenia v elektrickom poli kinetickú energiu, pre ktorú platí:
- $E_k = W \Rightarrow \frac{1}{2}mv^2 = eU$
- po dosadení v z predchádzajúceho vzťahu: $B = \frac{\sin \alpha}{d} \sqrt{\frac{2mU}{e}}$

obr. (elektrón urýchlený elektrickým poľom, ktorý vychýľuje magnetické pole):



• **Wehneltova trubica:**

- používa sa ako bočná trubica obrazovky
- nachádza sa v magnetickom poli Helmholtzových cievok

• **obrazovka:**

- elektróny, ktoré emituje nažeravená katóda, prechádzajú 2 sústavami cievok, ktoré ich vychýľujú
- má 625 riadkov
- elektrónový lúč najprv vykresľuje nepárne riadky, potom párne
- intenzita elektrónového lúča určuje odtieň farby na obrazovke

Hallov jav

- vodivú platňu z kovu alebo polovodiča, ktorou prechádza v smere najdlhšej hrany prúd, umiestnime do magnetického poľa tak, aby vektor magnetickej indukcie bol na platňu kolmý
- voltmetrom zistíme, že medzi bočnými stenami platne je malé napätie U_H , ktoré sa podľa objaviteľa Halla (1879) nazýva **Hallov napätie**
- príčinou vzniku Hallovho napätia je magnetická sila F_m pôsobiaca na voľné nosiče náboja v platni, ktoré sa premiestňujú k jednej bočnej stene a tým spôsobujú nadbytok nosičov náboja na jednej strane a ich nedostatok na druhej
- $U_H = k \cdot B \Rightarrow$ využíva sa v teslametroch

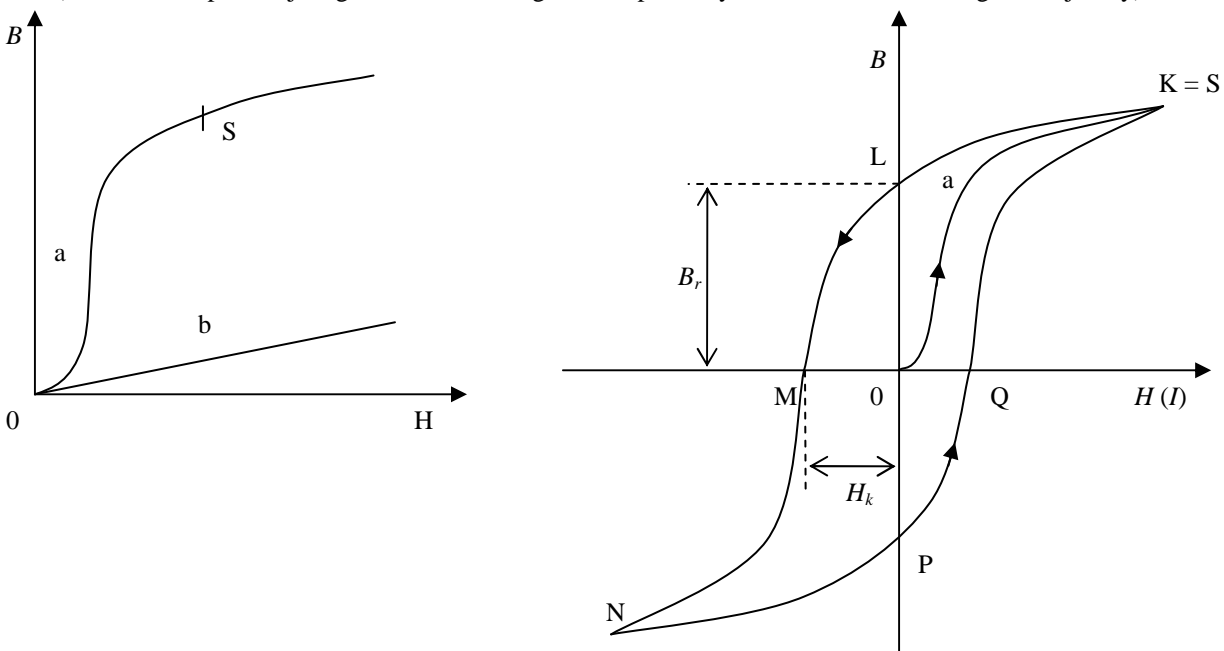
Látky v magnetickom poli

- **látky, ktoré výrazne reagujú na priblíženie magnetu, nazývame feromagnetické, ostatné nazývame neferomagnetické; žiadnu látku nemožno označiť ako nemagnetickú**
- rozdielne magnetické vlastnosti látok sú dané nerovnakými magnetickými vlastnosťami atómov, ich rozmiestnením v látke a charakterom ich vzájomného pôsobenia
- magnetický moment atómu je daný vektorovým súčtom orbitálnych a spinových magnetických momentov elektrónov: $\vec{m} = \vec{m}_o + \vec{m}_s$
- atómy s nulovým výsledným magnetickým momentom sa nazývajú diamagnetické a tvoria diamagnetické látky, ktoré nepatrne zoslabujú magnetické pole (ich relatívna permeabilita je o málo menšia než 1) – napr. zlato, meď, ortuť, ...
- atómy s nenulovým výsledným magnetickým momentom sa nazývajú paramagnetické a tvoria paramagnetické látky, ktoré nepatrne zosilňujú magnetické pole (ich relatívna permeabilita je o málo väčšia než 1) – napr. platina, hliník, mangán, kyslík, ...
- feromagnetické látky:
 - skladajú sa z paramagnetických atómov
 - ich relatívna permeabilita je oveľa väčšia než 1 ($10^2 - 10^6$)
 - magnetické domény:
 - medzi najbližšími susednými atómami pôsobí osobitný druh síl (výmenné sily), ktoré spôsobujú paralelné usporiadanie týchto atómov
 - smer, v ktorom sa magnetické momenty atómov usporiadajú nie je rovnaký pre celú vzorku feromagnetickéj látky, ale atómy, ktorých magnetické momenty sú usporiadané rovnakým smerom tvoria magnetickú doménu \Rightarrow magnetické domény sú magneticky nasýtené oblasti feromagnetickéj látky

- keďže nasýtenie domény nastáva samovoľne – spontánne (t.j. bez pôsobenia vonkajšieho magnetického poľa), nazýva sa tento jav spontánna magnetizácia
- keď sa zväčšuje veľkosť magnetickej indukcie vonkajšieho magnetického poľa, do ktorého sme vložili feromagnetickú látku, menia sa objemy domén a ich magnetické momenty sa postupne stáčajú do smeru vektora magnetickej indukcie magnetického poľa v látke – tieto magnetizačné deje nazývame magnetizovanie
- feromagnetizmus vzniká iba v pevných látkach a aj tie, keď prekročia určitú teplotu, ktorá sa nazýva Curieho, sa stávajú paramagnetickými
- patria sem aj feromagnetické látky alebo ferity:
 - majú veľmi silné magnetické vlastnosti (používajú sa ako jadrá cievok a ako trvalé magnety)
 - relatívna permeabilita feritov je $10^2 - 10^3$ a majú oveľa väčší merný elektrický odpor než kovové feromagnetiká
 - napr. ferit manganatý $\text{MnO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, ferit barnatý $\text{BaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, ferit horečnatý $\text{MgO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$

Magnetická hysterézia

- veľkosť magnetickej indukcie pre cievku: $\vec{B} = \mu \cdot \frac{N \cdot I}{l}$
 - zlomok $\frac{N \cdot \vec{I}}{l} = \vec{H} [A \cdot m^{-1}]$ = intenzita magnetického poľa $\Rightarrow \vec{B} = \mu \cdot \vec{H}$
 - **krivka prvotnej magnetizácie:**
 - keď budeme v zvolenej cievke z nulovej hodnoty zväčšovať prúd, bude sa magnetická indukcia v jadre zväčšovať v závislosti od zväčšujúcej sa intenzity magnetického poľa a grafom tejto závislosti bude krivka prvotnej magnetizácie
 - v bode S na tejto krivke získava látka magneticky nasýtený stav, t.j. magnetické momenty všetkých domén sú paralelne usporiadané
 - za bodom S je už krivka rovnobežná s krivkou b (krivka cievky bez jadra), čiže magnetická indukcia už nezávisí na jadre cievky, ale zvyšuje sa iba v závislosti od magnetického poľa cievky
 - **hysterézná slučka feromagnetической látky:**
 - keď dosiahneme stav nasýtenia nejakej látky a následne začneme znižovať intenzitu magnetického poľa (elektrický prúd), znižuje sa veľkosť magnetickej indukcie podľa inej krivky (K \rightarrow L)
 - pri nulovej intenzite poľa ostáva magnetická indukcia látky na určitej nenulovej hodnote – **remanentnej magnetickej indukcii** (B_r), ktorá určuje, akým silným magnetom môže látka byť (aký silný magnet sme vyrobili)
 - keď potom zmeníme smer vektora intenzity magnetického poľa na opačný (obrátením smeru prúdu v cievke) a začneme ju zväčšovať, magnetická indukcia látky sa začne znižovať (L \rightarrow M) a nulovú hodnotu dosiahne pri intenzite poľa H_k – **koercitívnej intenzite**, ktorá určuje, ako je magnet odolný proti náhodnému odmagnetovaniu
 - pri ďalšom zväčšovaní intenzity magnetického poľa sa vzorka zmagnetizuje opačne až do nasýtenia (bod N)
 - potom začneme intenzitu poľa znižovať, po dosiahnutí jej nulovej hodnoty zmeníme opäť smer prúdu v cievke, až dôjdeme k bodu K (časť krivky NPQK) a tým je magnetizačný cyklus uzavretý
 - jav, ktorý tu bol opísaný sa nazýva magnetická hysterézia a krivka KLNPQK sa volá hysterézná slučka
 - materiály so širokou hysteréznou slučkou sa volajú magneticky tvrdé a materiály s úzkou hysteréznou slučkou a strmou krivkou prvotnej magnetizácie magneticky mäkké (napr. zliatina niklu, železa, molybdénu a mangánu s názvom permalloy, ktorý sa používa ako materiál na jadrá cievok a v záznamových hlavách magnetofónov)
 - magnetické mäkké materiály sú vhodné ako jadrá transformátorov
- obr. (vľavo krivka prvotnej magnetizácie feromagnetika, vpravo hysterézná slučka feromagnetической látky):



Využitie magnetických materiálov

- magneticky tvrdé látky sa využívajú na výrobu permanentných magnetov
- magneticky mäkké materiály sa využívajú na zosilnenie magnetických polí cievok (jadrá) a permanentných magnetov (pólové nástavce)
- **elektromagnetické relé:**
 - elektromagnet, ktorého časti sú: cievka, jadro z mäkkej ocele, rameno a pohyblivá kotva tiež z mäkkej ocele
 - po zapnutí prúdu do cievky sa kotva pritiahne k jadru a súčasne zapne pružné kontakty, ktoré sú súčasťou spínacieho obvodu
 - používa sa v rozličných automatických regulačných a riadiacich zariadeniach, v telefónnych centrálach a pod.
- **merací prístroj s otočnou cievkou:**
 - zdrojom magnetického poľa je magnet
 - medzi pólovými nástavcami z mäkkej ocele je umiestnený valec rovnako z mäkkej ocele
 - v medzere medzi nástavcami a valcom je otočná cievka, s ktorou je pevne spojená rúčka prístroja
 - keď cievkou prechádza prúd, pôsobí na ňu magnetické pole v medzere dvojice síl a veľkosť momentu tejto dvojice síl je priamo úmerná veľkosti prúdu v cievke
 - do polohy v pokoji sa cievku usilujú vrátiť špirálové pružiny, ktoré na ňu pôsobia opačne ako dvojica síl (moment ich síl má veľkosť priamo úmernú uhlovej výchylke cievky s rúčkou)
 - ustálená výchylka rúčky meradla zodpovedá rovnosti veľkostí oboch momentov a je priamo úmerná prúdu v cievke ⇒ stupnica meradla je rovnomerná
 - tieto prístroje nazývame aj **magnetoelektrické** alebo **deprézske** (podľa objaviteľa)
 - **deprézske meracie prístroje** sú síce citlivejšie, ale nemôžeme s nimi merať striedavé napätie a prúd
 - **elektromagnetické meracie prístroje** sú síce menej citlivé, ale môžeme s nimi merať aj striedavé napätia a prúdy
- na záznam zvuku, vo výpočtovej technike, ...

NESTACIONÁRNE MAGNETICKÉ POLE

- jeho hodnoty sú závislé od času
- jeho zdrojom môže byť:
 - a) vodič s premenlivým prúdom
 - b) pohybujúci sa vodič s prúdom (či už stálym alebo premenlivým)
 - c) pohybujúci sa permanentný magnet alebo elektromagnet

Magnetický indukčný tok

- tretia veličina charakterizujúca magnetické pole
- v homogénnom magnetickom poli uvažujeme o rovinnnej ploche (napr. o ploche kruhového závitú) s obsahom S , ktorá je kolmá na indukčné čiary, a tým aj na vektor magnetickej indukcie B ; skalárna veličina $\phi = BS$ sa volá **magnetický indukčný tok** a jeho jednotkou je **weber** ($Wb = T \cdot m^2$)
- keď uvažovaná plocha nie je kolmá na vektor magnetickej indukcie, je magnetický indukčný tok daný vzťahom $\phi = BS \cos \alpha$, kde α je uhol, ktorý zvierá normála plochy s vektorom magnetickej indukcie B
- pre valcovú cievku s N závitmi a prierezom S , ktorej os zvierá s indukčnými čiarami homogénneho poľa uhol α , je magnetický indukčný tok daný vzťahom $\phi = NBS \cos \alpha$

Elektromagnetická indukcia

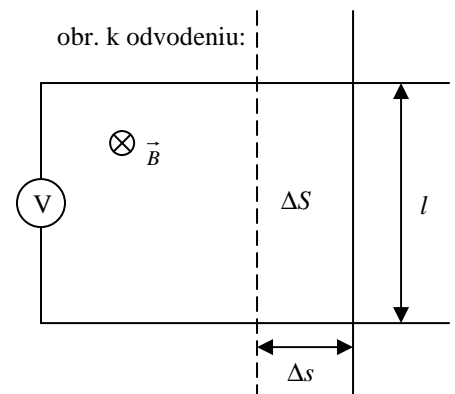
- jav
- indukovať – vyvolať, vynútiť stav bez dotyku
- pokus 1:
 - cievku napojíme na voltmeter s nulou uprostred
 - keď priblížime trvalý magnet, ukáže voltmeter výchylku, keď ho oddialime, ukáže výchylku na druhú stranu
 - pri rýchlejších pohyboch sú výchylky väčšie
 - rovnaký výsledok dostaneme, keď je magnet v pokoji a pohybujeme cievkou
- z pokusu 1 vyplýva, že pri vzájomnom pohybe magnetu a cievky vzniká v cievke elektrické napätie; prúd, ktorý pritom v obvode vzniká sa nazýva indukovaný prúd
- pokus 2:

- primárnu cievku napojíme na zdroj a reostat a jadrom ju spojíme so sekundárnou cievkou, ktorá je napojená na voltmeter
- po zapnutí prúdu sa v sekundárnej cievke indukuje napätie, čo ukazuje voltmeter
- pri zmenšení alebo vypnutí prúdu sa v sekundárnej cievke indukuje opačné napätie a indukovaný prúd má opačný smer ako pri zapnutí alebo zväčšení prúdu
- z pokusu 2 vyplýva, že v sekundárnej cievke sa indukuje napätie pri akejkoľvek zmene prúdu v primárnej cievke
- jav sledovaný v pokusoch sa nazýva **elektromagnetická indukcia**
- elektromagnetickú indukciu podmieňuje zmena magnetického indukčného toku
- elektromagnetická indukcia vzniká v týchto prípadoch:
 - vo vodiči, ktorý sa pohybuje v časovo nepremennom magnetickom poli → jav je spôsobený magnetickou silou
 - v nepohybujúcom sa vodiči, ktorý je v časovo premennom magnetickom poli → jav je spôsobený elektrickou silou
 - vo vodiči, ktorý sa pohybuje v časovo premennom magnetickom poli → jav je spôsobený magnetickou i elektrickou silou
- elektromagnetickú indukciu objavil r. 1831 M. Faraday

Faradayov zákon elektromagnetickej indukcie

- **Faradayov zákon** elektromagnetickej indukcie hovorí, že **indukované elektromotorické napätie sa rovná zápornej časovej zmene magnetického indukčného toku**
- $$U_i = - \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$
- odvodenie zákona:
 - v homogénnom magnetickom poli sa nachádzajú dva nepohybujúce sa vodiče, ktoré sú napojené na voltmeter
 - po týchto vodičoch sa pohybuje ďalší vodič
 - nastáva rovnováha síl:

$$F_m = F_e \Rightarrow BQv = EQ = \frac{U_i}{l} Q \Rightarrow U_i = Bvl = B \frac{\Delta s}{\Delta t} l = B \frac{\Delta S}{\Delta t} \Rightarrow U_i = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$
 - zvyčajne sa indukované elektromotorické napätie berie ako kladné, ak je $\Delta\phi$ záporná a naopak $\Rightarrow U_i = - \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$
- v cievke sa indukuje elektromotorické napätie 1 V pri rovnomernej zmene magnetického indukčného toku 1 Wb za 1 s
- s deriváciami: $U_i = - \frac{d\phi}{dt}$



Lenzov zákon

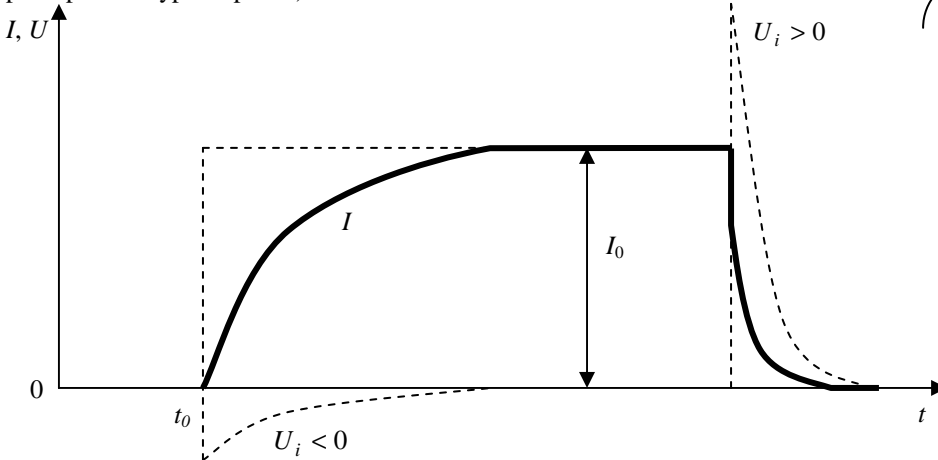
- **indukovaný prúd má vždy taký smer, že pôsobí proti zmene, ktorá ho vyvolala** (snaží sa udržať predchádzajúci stav)
- pokus:
 - cievku s jadrom, na ktorom je navlečený medený krúžok napojíme na zdroj
 - **pri zapnutí alebo zväčšení prúdu** v cievke sa na krúžku indukuje prúd opačného smeru \Rightarrow **krúžok sa od cievky odpudzuje**
 - **pri vypnutí alebo zmenšení prúdu** v cievke sa na krúžku indukuje prúd rovnakého smeru \Rightarrow **krúžok sa k cievke priťahuje**
- **Foucaultove (vírivé) prúdy:**
 - Lenzov zákon platí aj pre prúdy indukované v plných (masívnych) vodičoch v tvare plechov, platní, hranolov atď.
 - **majú brzdivé účinky** na materiály v magnetickom poli
 - v plnom materiáli sa môžu vírivé prúdy lepšie rozvinúť než v hrebeňovitom \Rightarrow plný materiál zabrzdí skôr
 - **vyžitie v elektromeroch**

Vlastná indukcia

- **jav vznikajúci v samotnej cievke** – keď cievkou prechádza časovo premenlivý prúd, mení sa s časom aj magnetický indukčný tok, ktorý cievka v sebe tvorí a v cievke sa indukuje elektromotorické napätie
- **L je vlastná indukčnosť** cievky a závisí od tvaru, vinutia, počtu závitov, ... cievky
- **L charakterizuje cievku**

- $\phi = L \cdot I$; $\Delta\phi = L \cdot \Delta I$
- $U_i = -\frac{L \cdot \Delta I}{\Delta t} \Rightarrow L = \frac{U_i \cdot \Delta t}{\Delta I}$
- Ohmov zákon pre obvod s cievkou: $I = \frac{U_e + U_i}{R} = \frac{U_e - L \frac{\Delta I}{\Delta t}}{R}$
- **jednotkou vlastnej indukčnosti cievky je 1 henry: $1H = \frac{1V \cdot 1s}{1A}$**
- cievka má indukčnosť 1 H práve vtedy, keď sa v nej zmenou prúdu o 1 A za 1 s indukuje napätie 1 V
- priebeh napätia a prúdu v obvode s cievkou, vypínačom, zdrojom a odporom:
 - pri zapnutí vypínača:
 - prúd v obvode sa zväčšuje ($\Delta I > 0 A$) a v cievke sa indukuje záporné elektromotorické napätie ($U_i < 0$)
 - prúd v obvode je daný vzťahom $I = \frac{U_e - L \frac{\Delta I}{\Delta t}}{R}$
 - v okamihu zapnutia vypínača ($t = t_0$) je $I = 0 A$ a zo vzťahu pre prúd vyplýva $U_i = -U_e$
 - po zapnutí vypínača sa prúd zväčšuje stále pomalšie a súčasne sa znižuje veľkosť záporného indukovaného elektromotorického napätia U_i a po čase prúd dosiahne ustálenú veľkosť $I = \frac{U_e}{R}$ a indukované elektromotorické napätie sa zmenší na nulovú hodnotu
 - pri vypnutí vypínača – prúd začne prudko klesať ($\Delta I < 0 A$) a v cievke sa indukuje kladné elektromotorické napätie, ktoré môže pri vhodne zvolených hodnotách R a L mnohonásobne prevýšiť elektromotorické napätie zdroja
- tlmivka – cievka s jadrom s veľkým odporom – zabezpečuje postupné zapaľovanie sa žiarovky

obr. (vplyv vlastnej indukcie na časový priebeh prúdu a napätia v cievke pri zapnutí a vypnutí prúdu):



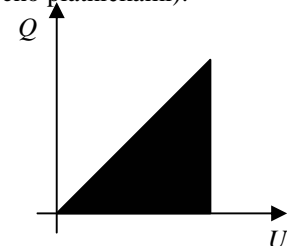
obr. (značka cievky a tlejivky):



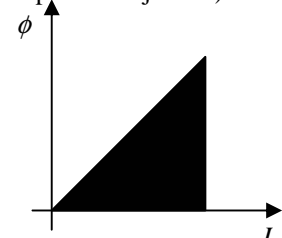
Energia magnetického poľa cievky

- kondenzátor:
 - $C = \frac{Q}{U}$
 - energia elektrického poľa kondenzátora $= W = E_e = \frac{1}{2} U \cdot Q = \frac{1}{2} C \cdot U^2$
- cievka:

obr. (závislosť náboja naneseného na kondenzátor od napätia medzi jeho platničkami):



obr. (závislosť magnetického indukčného toku cievky od prúdu ňou prechádzajúceho):



- celková energia magnetického poľa cievky = $E_m = \frac{1}{2} \phi \cdot I = \frac{1}{2} \underline{\underline{L \cdot I^2}}$
- zmena energie magnetického poľa cievky = $\Delta E_m = W = U \cdot Q = U \cdot I \cdot \Delta t = L \frac{\Delta I}{\Delta t} I \cdot \Delta t = L \cdot \Delta I \cdot I = \underline{\underline{\Delta \phi \cdot I}}$

KMITANIE A VLNIENIE

- kmitanie a vlnenie sú nestacionárne deje
- pri kmitaní sledujeme len jeden hmotný bod, ale pri vlnení sledujeme celý rad hmotných bodov

VLASTNÉ KMITANIE OSCILÁTORA

Kmitavý pohyb

- každé zariadenie, ktoré môže voľne (bez vonkajšieho pôsobenia) kmitať, nazývame **oscilátor**
- kmitanie je **periodický dej** – výchylky sa po čase opakujú
- kmitanie delíme na:
 - harmonické – jeho priebeh môžeme zaznačiť sínusoidou (napr. oscilogram napätia elektrovodnej siete)
 - neharmonické – jeho priebeh nemôžeme zaznačiť sínusoidou (napr. zemetrasenie, srdcová činnosť, ...)
- **amplitúda** – najväčšia výchylka
- **kmit** – periodicky sa opakujúca časť kmitavého pohybu
- **doba kmitu** (T [s]) – doba, za ktorú sa kmitavý pohyb dostane z jednej amplitúdy do druhej a späť (resp. z rovnovážneho stavu do jednej amplitúdy, do druhej amplitúdy a späť do rovnovážneho stavu)
- **doba kyvu** (T' [s]; $T = 2 T'$) – doba, za ktorú sa kmitavý pohyb dostane z jednej amplitúdy do druhej
- **frekvencia (kmitočet):** $f = \frac{1}{T} [s^{-1} = Hz]$
- kinematika pohybu popisuje a dynamika sa zaoberá príčinami pohybu
- charakterizuje ho rýchlosť, zrýchlenie a výchylka

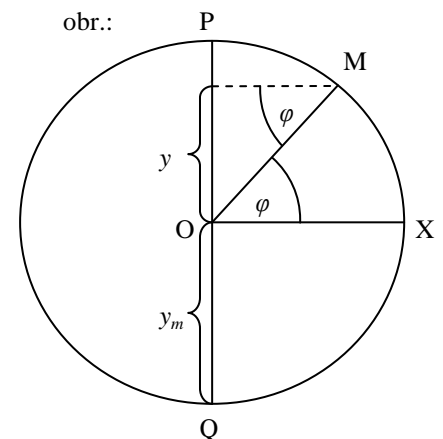
Kinematika kmitavého pohybu

- **výchylka** = y (všeobecne sa okamžitá výchylka nazýva elongácia)
- **amplitúda** = **výkmit** = y_m
- na obrázku je znázornená trajektória tvaru kružnice hmotného bodu M, ktorý sa pohybuje stálou uhlovou rýchlosťou ω
- kolmým priemetom okamžitých polôh bodu M do priemeru trajektórie na osi y (úsečka PQ) nájdeme okamžité polohy kmitajúceho bodu
- obr. – analógia rovnomerného pohybu po kružnici s kmitavým pohybom
- platí:

1. z obr.: $\sin \varphi = \frac{y}{y_m} \Rightarrow y = y_m \cdot \sin \varphi$
2. $\omega = \frac{\varphi}{t} \Rightarrow \varphi = \omega \cdot t$
3. $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$

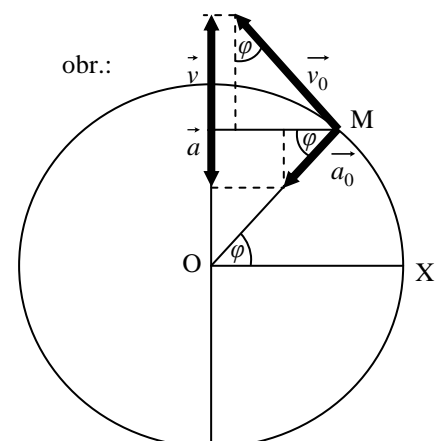
$$y = y_m \cdot \sin \omega t$$

základná rovnica kmitavého pohybu



Rýchlosť a zrýchlenie kmitavého pohybu

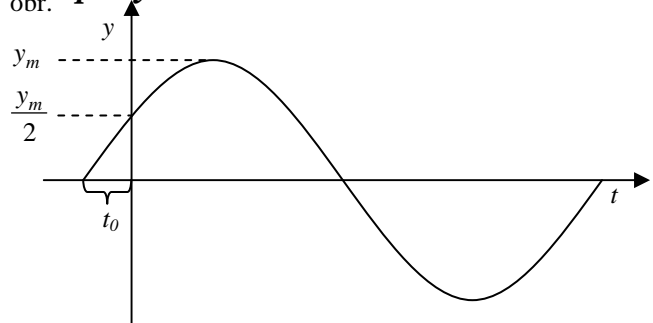
- rovnomerný pohyb hmotného bodu po kružnici:
 - okamžitá rýchlosť = $v_0 = r \cdot \omega = y_m \cdot \omega$
 - dostredivé zrýchlenie = $a_0 = r \cdot \omega^2 = y_m \cdot \omega^2$
- kmitavý pohyb hmotného bodu:
 - okamžitá rýchlosť:
 - $\cos \varphi = \frac{v}{v_0} \Rightarrow v = v_0 \cdot \cos \varphi = y_m \cdot \omega \cdot \cos \omega t$
 - je najväčšia v okamihu preletu hmotného bodu cez rovnovážny stav
 - je nulová, keď sa hmotný bod nachádza v amplitúde
 - zrýchlenie:
 - $\sin \varphi = \frac{a}{a_0} \Rightarrow a = a_0 \cdot \sin \varphi = -\omega^2 \cdot y_m \cdot \sin \omega t = -\omega^2 y$



- jeho vektor smeruje vždy do rovnovážnej polohy (znamienko mínus vo vzťahu len signalizuje jeho smer)
- je najväčšie, keď sa hmotný bod nachádza v amplitúde
- je nulové v okamihu preletu hmotného bodu cez rovnovážny stav

Fáza kmitavého pohybu

- na obr. je časový diagram kmitavého pohybu, ktorého okamžitá výchylka v čase $t = 0 \text{ s}$ je $y = \frac{1}{2} y_m$, čo znamená, že oscilátor prešiel rovnovážnou polohou pred týmto okamihom, teda o čas t_0 skôr



- rovnica okamžitej výchylky teda bude:
 $y = y_m \cdot \sin \omega(t + t_0) = y_m \cdot \sin(\omega t + \omega t_0)$

- ωt_0 označíme φ a rovnica nadobudne tvar:

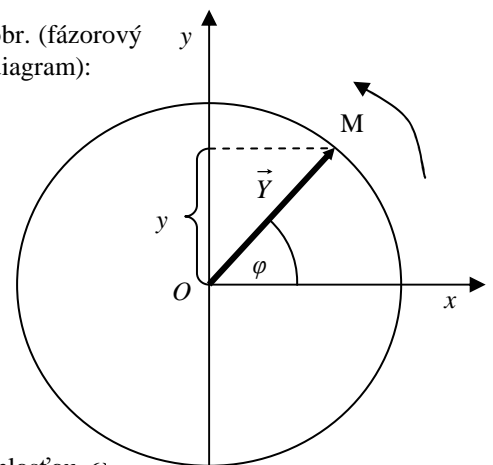
$$y = y_m \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

- veličina φ je **začiatočná fáza kmitavého pohybu**:

- určuje hodnotu veličiny harmonického kmitania v začiatočnom okamihu ($t = 0 \text{ s}$)
- môže mať kladnú aj zápornú hodnotu
- meria sa zvyčajne v radiánoch
- je dôležitá najmä pri posudzovaní vzájomných vzťahov fyzikálnych veličín kmitavého pohybu:
 - zvyčajne vyjadrujeme **fázový rozdiel** týchto veličín, čo je pri veličinách, ktoré majú rovnakú frekvenciu rozdiel ich začiatočných fáz
 - keď je medzi dvoma veličinami harmonického pohybu s rovnakou frekvenciou fázový rozdiel $2k\pi \text{ rad}$ ($k \in N_0$), majú veličiny **rovnakú fázu**
 - keď je medzi dvoma veličinami harmonického pohybu s rovnakou frekvenciou fázový rozdiel $(2k + 1)\pi \text{ rad}$ ($k \in N_0$), majú veličiny **opačnú fázu**

Fázorový diagram

obr. (fázorový diagram):

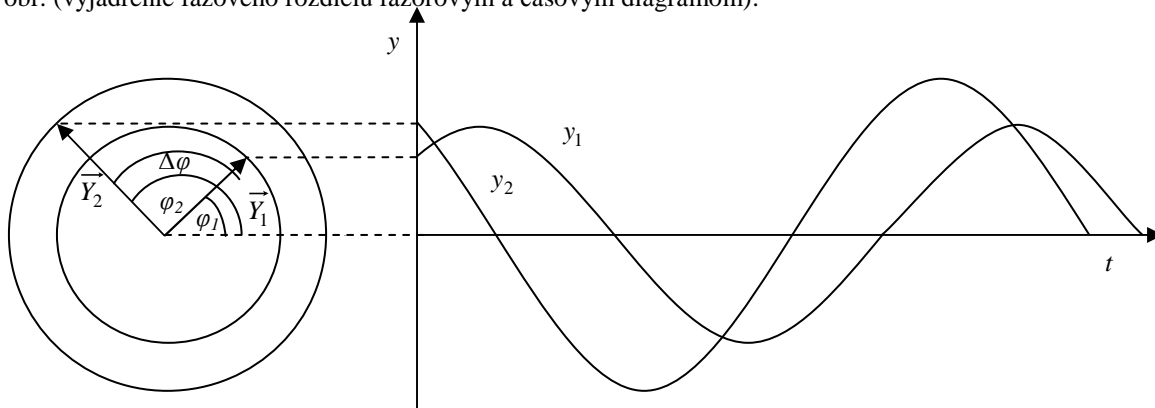


- **časový diagram** vyjadruje istú veličinu deja ako funkciu času (používali sme ho doteraz stále)

- **fázorový diagram**:

- využíva sa v ňom súvislosť harmonického kmitania s rovnomerným pohybom po kružnici
- veličina harmonického deja (napr. okamžitá výchylka, rýchlosť, zrýchlenie) je znázornená ako vektor \vec{Y} , ktorého veľkosť zodpovedá amplitúde veličiny y_m
- vektor je umiestnený v sústave súradníc (O, x, y) tak, že začiatok vektora leží v začiatku O sústavy súradníc a vektor zvierá s kladným smerom osi x uhol rovnajúci sa začiatočnej fáze φ
- predstavujeme si, že vektor \vec{Y} rotuje v kladnom zmysle s uhlovou rýchlosťou ω
- pravouhlý priemet vektora \vec{Y} do zvislej osi v každom okamihu určuje okamžitú hodnotu veličiny harmonického deja
- keďže rotujúci vektor nepredstavuje skutočnú veličinu kmitavého deja, ale je iba jej symbolickým znázornením, označujú sa tieto myslené rotujúce vektory **fázory**
- je vhodný najmä na vyjadrenie fázových rozdielov dvoch a viac veličín harmonického deja, ktoré majú rovnakú uhlovú frekvenciu (na časovom diagrame je určenie fázových rozdielov dosť ťažké – pozri obr.)

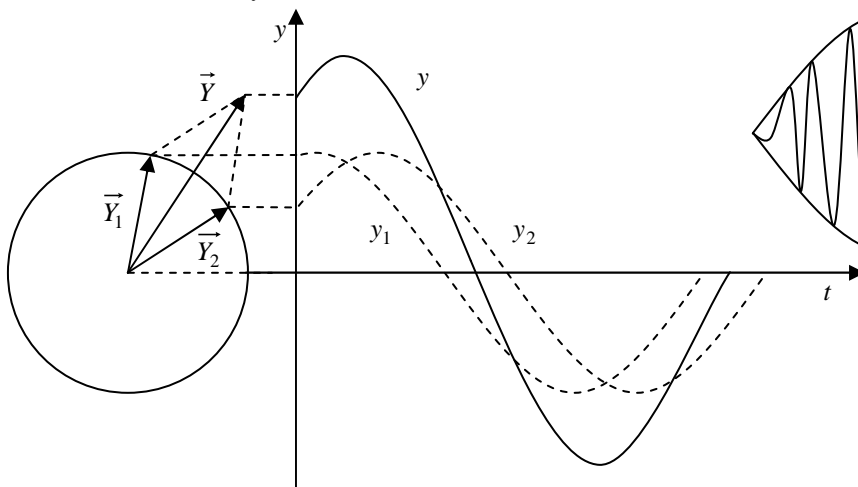
obr. (vyjadrenie fázového rozdielu fázorovým a časovým diagramom):



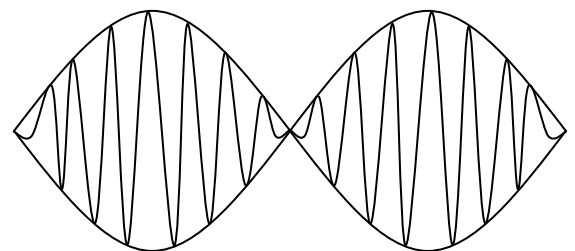
Zložené kmitanie

- vzniká, keď skladáme dve alebo viac kmitavých pohybov
- keď hmotný bod koná súčasne niekoľko harmonických pohybov rovnakého smeru s okamžitými výchylkami y_1, y_2, \dots, y_k ($k \in N$), je okamžitá výchylka y výsledného kmitania $y = y_1 + y_2 + \dots + y_k$ a nezáleží na poradí sčítania jednotlivých výchyliek (**princíp superpozície**)
- okamžité výchylky y_1, y_2, \dots, y_k môžu mať kladnú aj zápornú hodnotu, a preto sa pri superpozícii sčítajú alebo odčítajú
- superpozíciou vzniká **zložené kmitanie**
- pre okamžité výchylky platia vzťahy: $y_1 = y_{m1} \cdot \sin(\omega t + \varphi_1)$, $y_2 = y_{m2} \cdot \sin(\omega t + \varphi_2)$, ...
- **izochrónne kmitanie** – dve kmitania s rovnakými uhlovými frekvenciami (ω)
- keď sú začiatočné fázy pri izochrónnom kmitaní rovnaké ($\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = 0$ rad), okamžitá výchylka je najväčšia a platí pre ňu vzťah: $y_m = y_{m1} + y_{m2}$
- keď sú začiatočné fázy pri izochrónnom kmitaní opačné ($\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = \pi$ rad), okamžitá výchylka je najmenšia a platí pre ňu vzťah: $y_m = y_{m1} - y_{m2}$
- keď skladáme dva harmonické pohyby s podobnými frekvenciami, vznikajú **rázy**, ktorých **obalová vlna** má frekvenciu $f = f_1 - f_2$

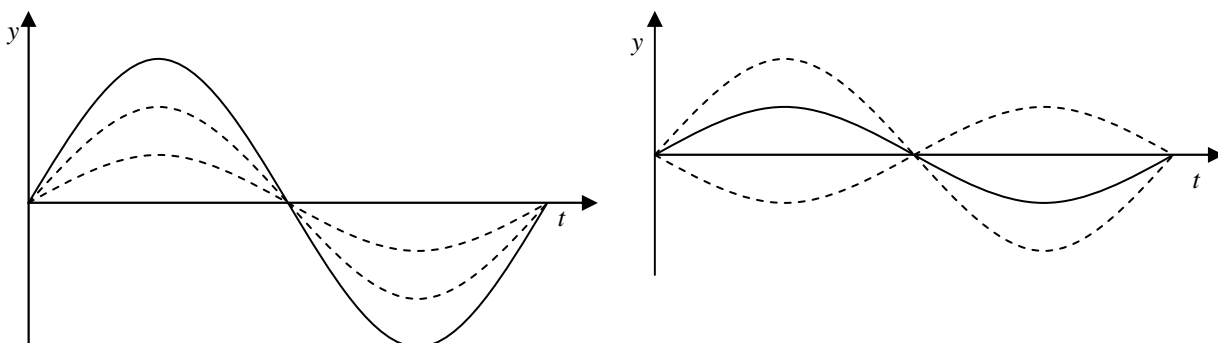
obr. (skladanie izochrónnych kmitaní):



obr. (ráz a jeho obalová vlna):



obr. (zložené kmitanie s rovnakou (vľavo) a opačnou (vpravo) základnou fázou):



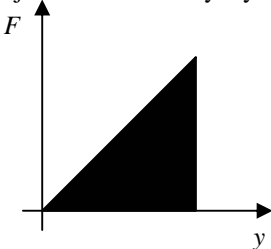
Dynamika kmitavého pohybu

- zaoberá sa príčinami kmitavého pohybu (silami, ktoré ho spôsobujú)
- platí:
 1. $y = y_m \cdot \sin \omega t$
 2. $v = y_m \cdot \omega \cdot \cos \omega t$
 3. $a = -\omega^2 \cdot y_m \cdot \sin \omega t = -\omega^2 y$
- keď je pružina so závažím v kľude, platí: $F_g = F_p \Rightarrow k \cdot \Delta l = mg$
- keď túto rovnováhu porušíme, závažie začne kmitať a získavame kmitavý pohyb
- pri okamžitej výchylke y pôsobí na oscilátor celková sila $F = F_g - F_p = mg - k \cdot (\Delta l + y) \Rightarrow F = -ky$ (znamienko mínus značí, že táto sila vždy pôsobí proti smeru pohybu oscilátora, čiže do rovnovážneho stavu)
- idealizácia – neuvažujeme energetické straty
- **harmonický pohyb mechanického oscilátora je spôsobený silou F , ktorá stále smeruje do rovnovážnej polohy a je priamo úmerná okamžitej výchylke**
- pre zrýchlenie mechanického oscilátora platí: $F = a \cdot m \Rightarrow a = \frac{F}{m} \Rightarrow a = -\frac{k}{m} y \Rightarrow \omega^2 = \frac{k}{m} \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$
- pre pružinu so závažím vykonávajúcu kmitavý pohyb platí:
 - $\omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega} \Rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$
 - $\omega = 2\pi f \Rightarrow f = \frac{\omega}{2\pi} \Rightarrow f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$
- vzorec na výpočet periódy kmitavého pohybu závažia na nitke: $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ (l je dĺžka nitky a g je gravitačná konštanta)

Premeny energie mechanického oscilátora

- v mechanickom oscilátore prebieha pri kmitavom pohybe neustála premena kinetickej a potenciálnej energie
- kinetická energia mechanického oscilátora je najmenšia v amplitúde ($v=0$) najväčšia v rovnovážnej polohe ($v = \max$)
- **potenciálna (polohová) energia mechanického oscilátora** je najväčšia v amplitúde a najmenšia v rovnovážnej polohe
- potenciálna energia oscilátora sa rovná práci, ktorú treba vykonať, aby sme oscilátor uviedli do kmitavého pohybu (a teda ho vychýlili z rovnovážnej polohy)
- túto prácu môžeme odvodiť z grafu závislosti sily F potrebnej na dosiahnutie výchylky y :

$$W = E_p = \frac{1}{2} Fy = \frac{1}{2} ky^2 = \frac{1}{2} k y_m^2 \sin^2 \omega t$$


- **kinetická (pohybová) energia mechanického oscilátora:**

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} m\omega^2 y_m^2 \cos^2 \omega t$$
- celková energia oscilátora:

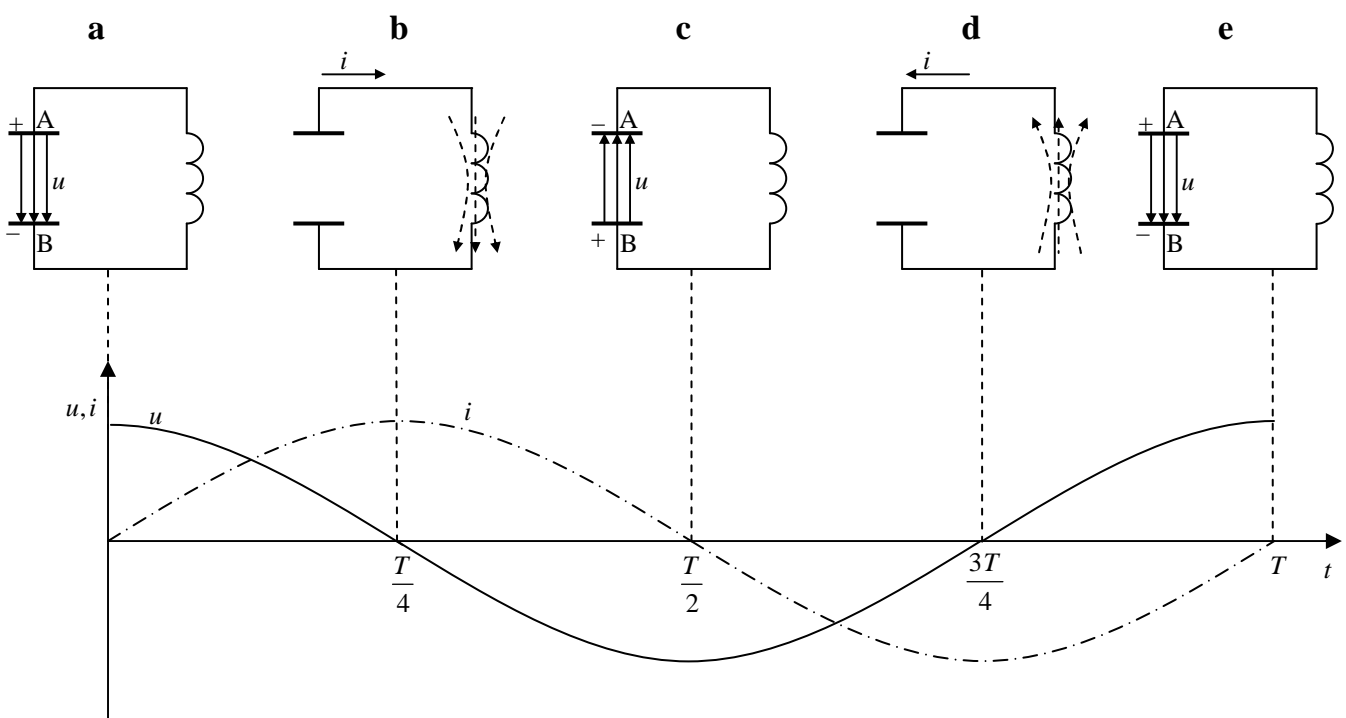
$$\begin{aligned} E &= E_p + E_k = \frac{1}{2} k y_m^2 \sin^2 \omega t + \frac{1}{2} m\omega^2 y_m^2 \cos^2 \omega t = \frac{1}{2} k y_m^2 \sin^2 \omega t + \frac{1}{2} m \frac{k}{m} y_m^2 \cos^2 \omega t = \frac{1}{2} k y_m^2 (\sin^2 \omega t + \cos^2 \omega t) = \\ &= \frac{1}{2} k y_m^2 \end{aligned}$$
- keďže sú kmity oscilátora určené len jeho parametrami (nič o nepoháňa), nazýva sa kmitanie vlastné
- na vlastné kmitanie v skutočnosti vždy pôsobia rozličné sily, ktoré spôsobujú znižovanie amplitúdy výchylky kmitania a teda jeho postupný zánik \Rightarrow vlastné kmitanie je vždy **tlmené**

Elektromagnetický oscilátor

- v **elektromagnetickom oscilátore sa neustále mení elektrická energia na magnetickú a naspäť**
- LC obvod – kondenzátor a cievka – prebieha v ňom neustála premena foriem elektromagnetickej energie (podobne ako sa v mechanickom oscilátore neustále premieňajú formy mechanickej energie)

- priebeh:
 1. začíname zo stavu, v ktorom je kondenzátor nabitý a medzi jeho platničkami je napätie u (**a**)
 2. elektróny sa začínajú premiestňovať cez obvod na druhú stranu, napätie u sa znižuje a zväčšuje sa prúd v obvode, v okolí cievky sa vytvára magnetické pole (**b**)
 3. elektróny sa dostanú späť na platničku kondenzátora, ale kondenzátor je nabitý opačne (**c**)
 4. elektróny zase putujú opačným smerom v obvode (**d**)
 5. sme vo východnom stave (**e**)
- v skutočnosti sú tieto kmity tlmené
- okamžité hodnoty prúdu, napätia a náboja na platničkách kondenzátora môžeme vypočítať podľa vzťahov: $i = I_m \sin \omega t$, $u = U_m \cos \omega t$, $q = Q_m \cos \omega t$
- Thompsonov vzťah: $T = 2\pi\sqrt{LC}$ alebo tiež $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$
- uhlová frekvencia vlastného kmitania oscilačného obvodu $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$
- elektrická energia elektromagnetického oscilátora $E_e = \frac{1}{2}uq = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C}$ zodpovedá potenciálnej energii mechanického oscilátora $E_p = \frac{1}{2}Fy = \frac{1}{2}ky^2$
- magnetická energia elektromagnetického oscilátora $E_m = \frac{1}{2}Li^2$ zodpovedá kinetickej energii mechanického oscilátora $E_k = \frac{1}{2}mv^2$

obr. (k vysvetleniu dejov v oscilačnom obvode):



NÚTENÉ KMITANIE OSCILÁTORA

Netlmené kmitanie oscilátora

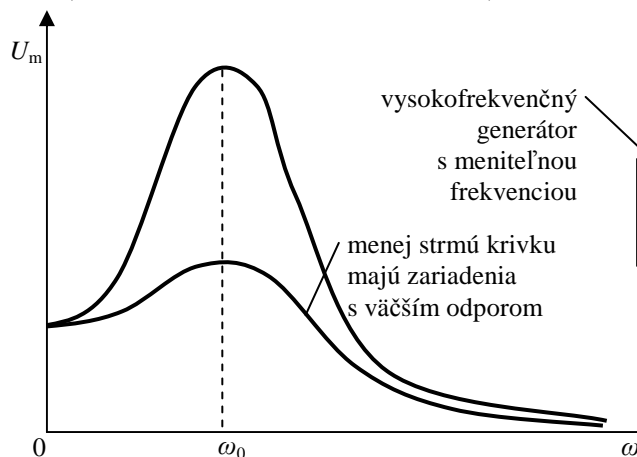
- kmitanie oscilátora môže byť:
 - a) **tlmené (vlastné)** – jeho amplitúda sa s časom zväčšuje a je dané iba parametrami oscilátora
 - b) **netlmené (nútené)** – jeho amplitúda sa s časom nemení, oscilátoru musíme dodávať energiu
- pre prax má väčší význam netlmené kmitanie

- do oscilátora sa energia zvonka privádza **väzbou**
- nútené kmitanie vzniká pôsobením sily alebo napätia na oscilátor alebo na objekty, ktoré nemajú vlastnosti oscilátora a jeho frekvencia závisí od frekvencie pôsobiacej sily, prípadne napätia, a nezávisí od vlastností kmitajúceho objektu

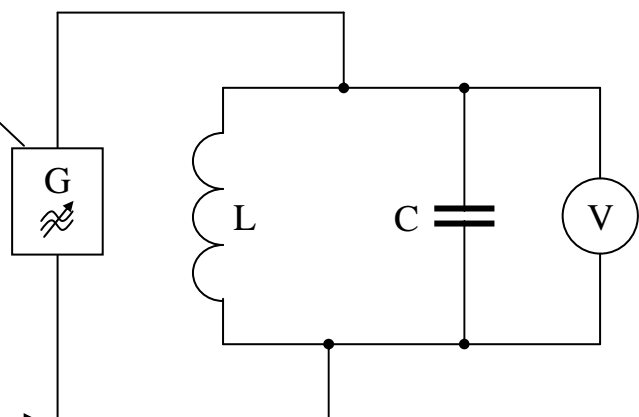
Rezonancia oscilátora

- amplitúda napätia nútených kmitov elektromagnetického oscilátora je najväčšia v okamihu, keď frekvencia nútených kmitov dosiahne vlastnú frekvenciu oscilátora ($\omega = \omega_0$)
- v tomto okamihu nastáva **rezonancia oscilátora**
- graf zobrazujúci závislosť amplitúdy napätia a uhlovej frekvencie nazývame **rezonančná krivka** oscilátora
- rezonanciu môžeme považovať za vzájomné pôsobenie dvoch oscilátorov – jeden je zdrojom núteného kmitania (**oscilátor**) a druhý sa pôsobením zdroja núteno rozkmitá (**rezonátor**)
- jednoduchým príkladom sústavy oscilátora a rezonátora sú spriahnuté kyvadlá – sú to dve rovnaké kyvadlá spojené pružinou alebo vláknom so závažím Z; tým sa utvára medzi kyvadlami väzba, ktorá umožňuje prenos energie medzi oscilátorom (O) a rezonátorom (R) a naopak
- keď väzbou vzniká iba malé vzájomné pôsobenie, prechádza energia z oscilátora do rezonátora pozvoľne, **väzba je voľná**
- keď väzbou vzniká silné vzájomné pôsobenie, nastáva výmena energie rýchlejšie, **väzba je tesná**
- rezonanciu kyvadiel a ich voľnú väzbu môžeme demonštrovať aj pomocou niekoľkých kyvadiel rôznej dĺžky na spoločnom vlákne – s jedným kyvadlom sa najvýraznejšie rozkmitá aj druhé kyvadlo s najbližšou dĺžkou, ostatné kmitajú iba nepatrne ($A \Rightarrow D$; $B \Rightarrow E$)
- voľnou väzbou možno dosiahnuť výrazný prenos energie medzi oscilátormi, t.j. utvoriť nútené kmitanie iba pri rezonančnej frekvencii

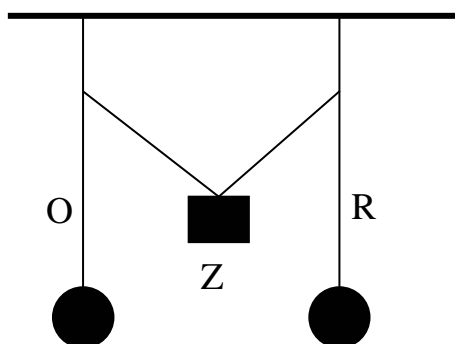
obr. (rezonančná krivka oscilačného obvodu):



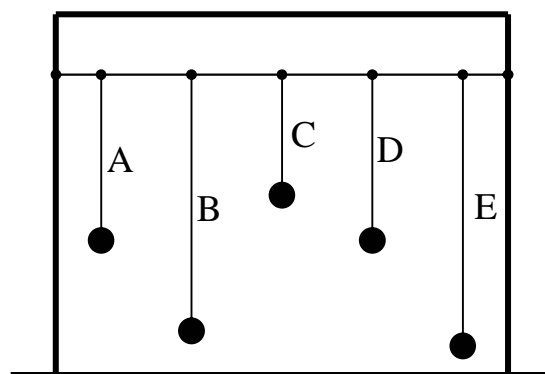
obr. (nútené kmitanie oscilačného obvodu):



obr. (spriahnuté kyvadlá):



obr. (demonštrácia rezonancie kyvadiel):



Rezonančné javy v praxi

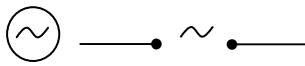
- rezonancia sa používa:
 - na zosilnenie zvuku hudobných nástrojov

- v rozhlasových prijímačoch (kvalita sa určuje podľa strmosti rezonančnej krivky – čím je strmšia, tým menej sa zlievajú prijímané signály z blízkych frekvencií, „frekvenčné rozlíšenie“ je väčšie)
- na meranie frekvencie (jazýčkový kmitočtometer)
- v rotore parnej turbíny
- rezonančné javy sú v mnohých prípadoch nežiadúce (napr. vojsko nemôže ísť po moste rovnakým krokom, lebo hrozí nebezpečenie, že sa zrúti; loď sa nesmie kolísať rovnako ako vlny, lebo by sa ľahko prevrátila, ...)
- na potlačenie rezonančných javov sa používajú tieto spôsoby:
 - a) zmena vlastnej frekvencie mechanizmu
 - b) doplnenie mechanizmu tlmičom kmitania
 - c) zväčšenie trenia mechanizmu

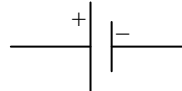
STRIEDAVÝ PRÚD

- striedavý prúd: i , striedavé napätie: u
- striedavý elektrický prúd je prúd, ktorého veľkosť sa s časom sínusoidne mení
- zdrojmi jednosmerného prúdu sú napríklad monočlánky, zdrojmi striedavého prúdu sú generátory (stator, rotor) a dynamá, ktoré pracujú na princípe elektromagnetickej indukcie

obr. (označenia zdrojov prúdov):



zdroj striedavého prúdu



zdroj jednosmerného prúdu



zdroj striedavého prúdu s vysokou frekvenciou



zdroj striedavého prúdu s meniteľnou frekvenciou

Obvod striedavého prúdu s odporom

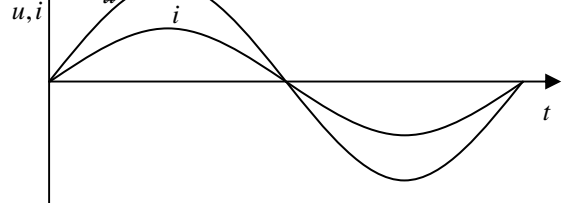
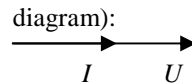
- fázový posun medzi u a i je nulový

$$u = U_m \sin \omega t, \quad i = I_m \sin \omega t$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{U_m}{I_m} = \frac{u}{i}$$

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m}{R} \sin \omega t$$

- odpor R rezistora v obvode striedavého prúdu je rovnaký ako v obvode jednosmerného prúdu; nazýva sa tiež **rezistencia**
- rezistencia nemá vplyv na fázový rozdiel alebo fázový posun striedavého napätia a prúdu



Obvod striedavého prúdu s cievkou

- indukčnosť cievky L v obvode striedavého prúdu spôsobuje fázový posun prúdu za napätím (napätia pred prúdom)

o uhol $\varphi = -\frac{\pi}{2} \text{ rad} \left(\varphi = \frac{\pi}{2} \text{ rad} \right)$

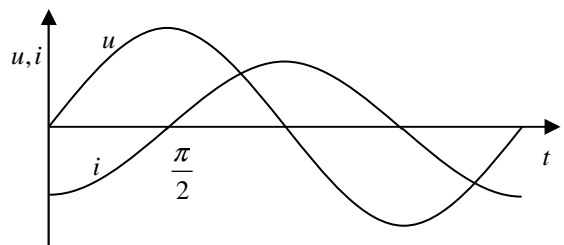
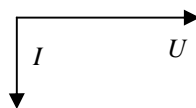
$$i = I_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) = -I_m \cos \omega t$$

- keď je v obvode veľký odpor, znamená to, že nastávajú veľké tepelné straty
- u cievky nemôžeme hovoriť o odpore, pretože nedochádza k tepelným stratám, hovoríme teda o **induktancii** cievky, ktorá je spôsobená neustálym vznikáním a zaníkaním magnetického poľa cievky
- jednotkou indukcie je ohm

$$\text{induktancia} = X_L = \frac{U_m}{I_m} = \frac{u}{i} [\Omega]$$

- z pokusov vyplýva, že $X_L = \omega L$

obr. (fázorový a časový diagram):



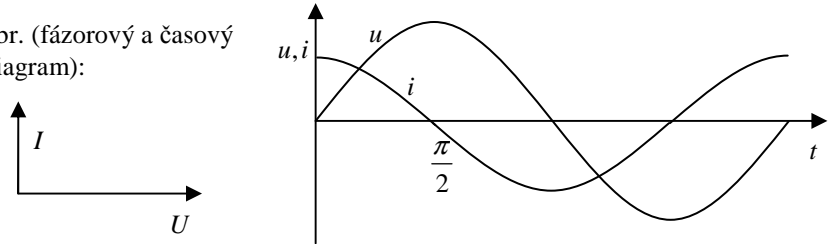
Obvod striedavého prúdu s kondenzátorom

- kapacita cievky C v obvode striedavého prúdu spôsobuje fázový posun prúdu pred napätím (napätia za prúdom) o uhol

$$\varphi = \frac{\pi}{2} \text{ rad} \left(\varphi = -\frac{\pi}{2} \text{ rad} \right)$$

- $i = I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = I_m \cos \omega t$
- kondenzátorom kvôli dielektriku jednosmerný prúd neprechádza, ale striedavý prúd ním prechádza, pretože dielektrikum sa polarizuje a ešte iné veci – je to zložité, proste ním prechádza, nie je to klasický vodivý prúd, ale posuvný prúd (bohvie čo to znamená)
- straty sú spôsobené vznikom a zánikom elektrického poľa, hovoríme teda o **kapacitancii** kondenzátora
- kapacitancia = $X_C = \frac{U_m}{I_m} = \frac{u}{i} [\Omega]$
- z pokusov vyplýva, že $X_C = \frac{1}{\omega C}$

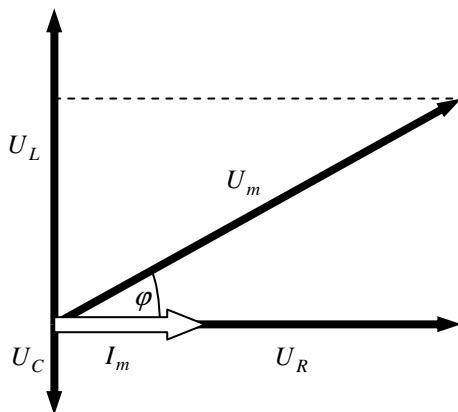
obr. (fázorový a časový diagram):



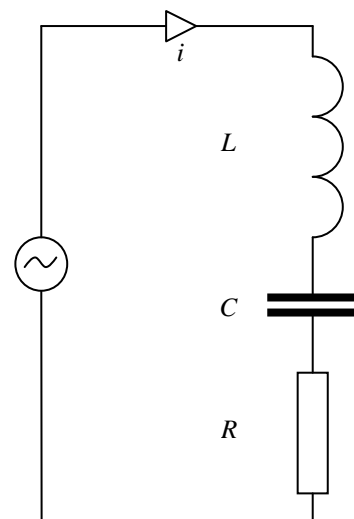
Zložený obvod striedavého prúdu

- je to obvod s cievkou (indukčnosťou), kondenzátorom (kapacitou) i odporom
- vo fázorovom diagrame s RLC v sérii má fázor prúdu I_m má súhlasný smer s fázorom napätia U_R na odpore, avšak fázor napätia U_L na cievke s fázorom prúdu zvierá uhol $\frac{\pi}{2}$ rad a a fázor napätia U_C na kondenzátore zvierá uhol $-\frac{\pi}{2}$ rad; fázor výsledného napätia U_m nájdeme ako geometrický súčet jednotlivých fázorov napätí vo fázorovom diagrame (pozri obr.)
- veľkosť fázora U_m vypočítame z Pytagorovej vety: $U_m^2 = U_R^2 + (U_L - U_C)^2 = I_m^2 \left[R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2 \right]$
- impedancia – odpor, ktorý kladie zložený obvod: $Z = \frac{U_m}{I_m} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2} = \sqrt{R^2 + X^2}$
- R – ohmický odpor (tepelné straty)
- X – reaktancia – odpor, ktorý vyjadruje straty súvisiace so vznikom elektrického a magnetického poľa
- fázový posun φ napätia a prúdu: $\text{tg } \varphi = \frac{U_L - U_C}{U_R} = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$ (φ leží v intervale $\left\langle -\frac{\pi}{2} \text{ rad}, \frac{\pi}{2} \text{ rad} \right\rangle$, hraničné prípady nastávajú pri $R = 0$)
- rezonancia: $X_L = X_C \Rightarrow \omega L = \frac{1}{\omega C} \Rightarrow \omega^2 = \frac{1}{LC} \Rightarrow f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$
- pre LC obvod (bez odporu): $Z = \frac{U_m}{I_m} = \omega L - \frac{1}{\omega C}$

obr. (fázorový diagram v obvode s RLC v sérii):



obr. (obvod s RLC v sérii):

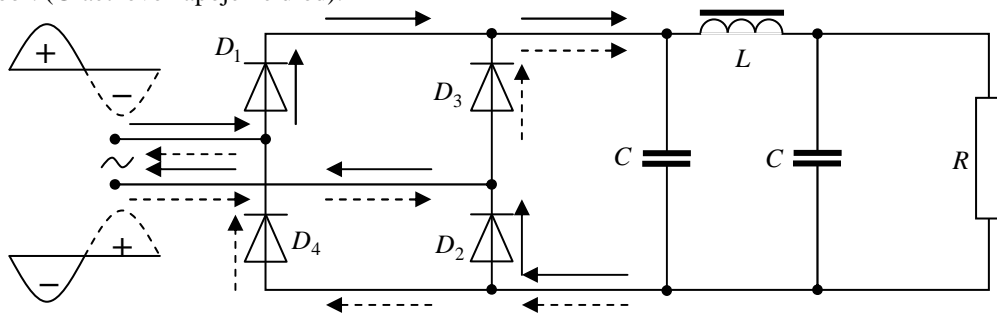


Usmerňovač

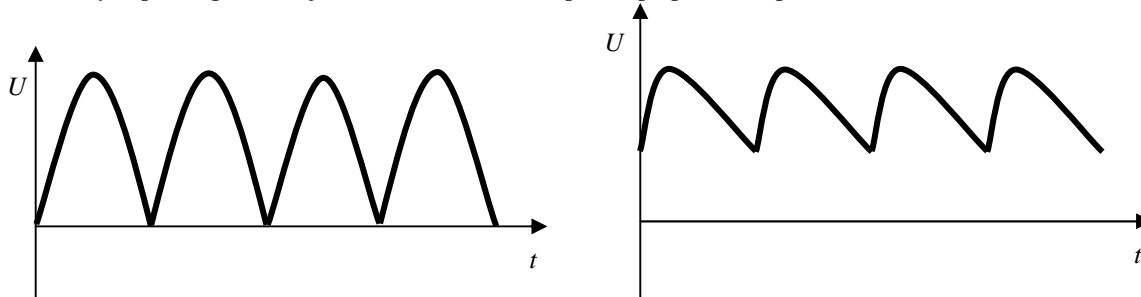
- polovodičová dióda:

- keď zapojíme do obvodu so striedavým prúdom polovodičovú diódu, pracuje ako elektrický ventil – prechádza ňou prúd iba v kladných polperiódach vstupného striedavého napätia, kým v záporných polperiódach napätia obvodom prúd neprechádza
- výstupné napätie na rezistore bude jednosmerné a pulzujúce (pozri obr.)
- keď chceme pulzáciu napätia znížiť, aby vzniklo ustálené jednosmerné napätie, paralelne pripojíme k rezistoru kondenzátor (v kladných polperiódach sa kondenzátor nabíja a v záporných polperiódach sa vybíja, čím sa pulzácia jednosmerného napätia čiastočne vyhladí)
- vyhladenie pulzácie je tým účinnejšie, čím väčšia je kapacita kondenzátora a odpor rezistora
- polovodičová dióda je jednocestný usmerňovač, pri takomto usmerňovaní striedavého prúdu sú veľké straty
- Graetzovo zapojenie diód:
 - záporná polperióda je preklopená do kladnej časti, frekvencia sa zdvojnásobuje
 - na vyhladzovanie sa používajú namiesto kondenzátora zložité filtre tvorené kondenzátormi s veľkou kapacitou a rezistormi
 - prúd ide tak, ako je naznačené na tom geniálnom neprehľadnom obrázku šípkami
 - dvojcestný usmerňovač, veľmi efektívny, často sa používa

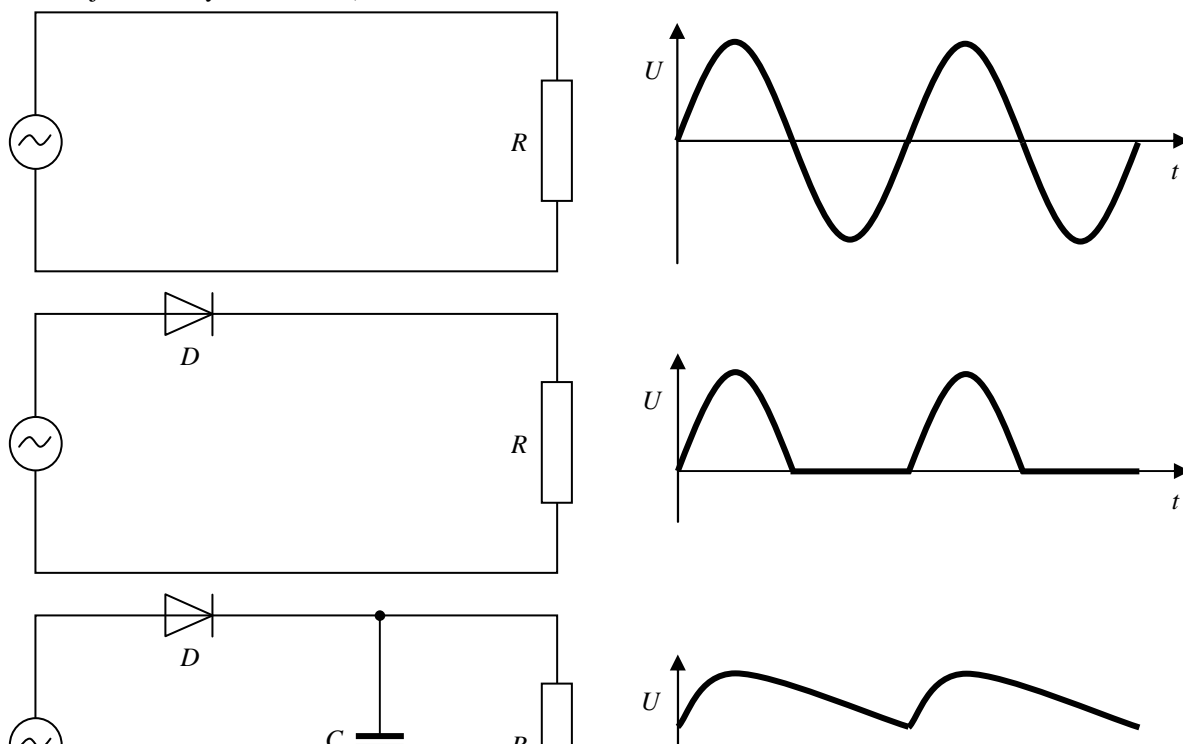
obr. (Graetzovo zapojenie diód):



obr. (výstupné napätie dvojcestného usmerňovača pred a po prechode prúdu cez filter):



obr. (jednocestný usmerňovač):



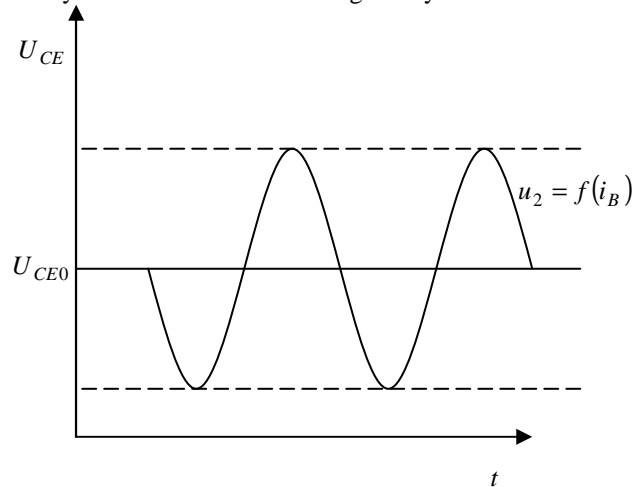
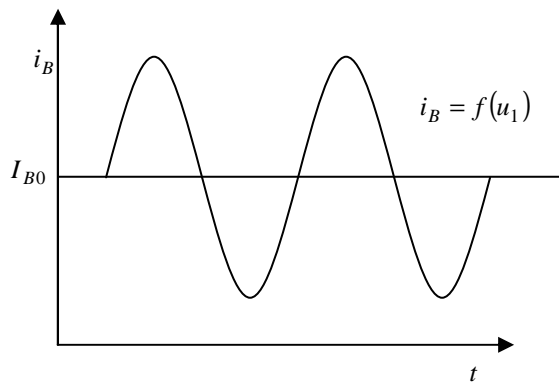
Tranzistorový zosilňovač

- tranzistorový zosilňovač napojíme na vstupné napätie u_1 a získavame z neho výstupné napätie u_2 s omnoho väčšou amplitúdou
- veličina zosilnenie $= A = \frac{u_2}{u_1}$
- základnou súčiastkou zosilňovača je tranzistor:
 - polovodičová súčiastka s dvoma PN prechodmi
 - jednotlivé časti tranzistora nazývame kolektor (C), báza (B) a emitor (E), pričom báza je vždy v strede a je veľmi tenká
 - ak ho pripojíme na nejaký vstupný signál a tiež na ďalší obvod s napájacím zdrojom tak, aby tieto dva obvody mali spoločný:
 - 1) emitor, bude tranzistor zosilňovať napätie vstupného signálu (najčastejšie zapojenie)
 - 2) bázu, bude tranzistor zosilňovať výkon vstupného signálu
 - 3) kolektor, bude tranzistor zosilňovať prúd vstupného signálu (najzriedkavejšie zapojenie)
 - značka tranzistora NPN je taká, aká je použitá v obrázku zosilňovača, značka tranzistora PNP je rovnaká, lenže šípka smeruje nie od bázy, ale k báze
- v zosilňovači sa musia nachádzať aj iné súčiastky:
 - a) vstupný odpor – je malý (100 – 1000 Ω), pretože tranzistor je vo vstupnom obvode zapojený v priepustnom smere
 - b) výstupný odpor – je veľký (až $10^5 \Omega$), pretože musí byť porovnateľný s odporom na PN prechode zapojenom v závernom smere
 - c) R_C – kolektorový odpor:
 - kolektor tranzistora je pripojený ku kladnému pólu napájacieho zdroja cez tento odpor
 - tranzistor a rezistor R_C sú sériovo zapojené, odpor tranzistora sa mení podľa prúdu bázy
 - keď sa vplyvom vstupného napätia zväčší prúd bázy, zmenší sa odpor tranzistora a na kolektore je menšie napätie, keď sa vstupné napätie zmenší, napätie na kolektore sa naopak zväčší
 - tento odpor je tu tiež preto, aby chránil tranzistor pred príliš veľkým prúdom
 - d) R_B – bázový odpor:
 - báza tranzistora je spojená cez rezistor s odporom R_B s kladným pólom napájacieho zdroja, čiže vstupným obvodom prechádza istý jednosmerný prúd, ktorý predstavuje pokojový prúd bázy I_{B0}
 - keď pripojíme vstupné striedavé napätie, mení sa prúd bázy periodicky okolo hodnoty I_{B0} (obr.)
 - e) vstup a výstup zosilňovača je oddelený od ďalších častí obvodu kondenzátormi, ktoré pre zosilňované striedavé napätie predstavujú malú impedanciu, ale pre napájacie jednosmerné napätie je obvod nimi prerušený (čiže sa nám nemieša napájací jednosmerný prúd so vstupným a výstupným signálom)
 - odpory R_B a R_C sú vlastne stabilizátormi napätia v obvode
- funkcia:
 - na vstup sa privedie vstupné napätie u_1 , ktoré bude ovplyvňovať prúd v báze tranzistora i_B
 - elektróny sú z bázového obvodu priťahované kladným potenciálom napájacieho zdroja do kolektorového obvodu injekciou cez tenkú bázovú bariéru a podieľajú sa na prechode prúdu vo výstupnom obvode
 - malým bázovým prúdom i_B teda ovládame veľký kolektorový prúd i_C ; prúd i_B je funkciou vstupného napätia a výstupné napätie je funkciou prúdu i_B
 - vstupné a výstupné napätie majú opačnú fázu

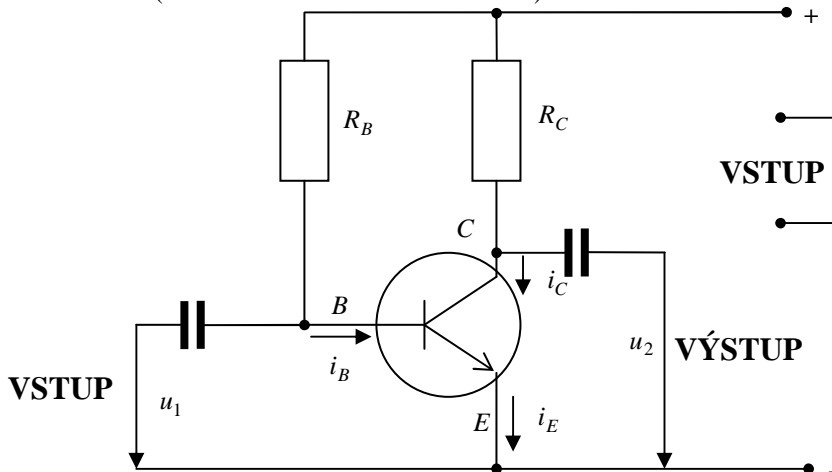
obr. (tranzistor):

C	B	E
N	P	N

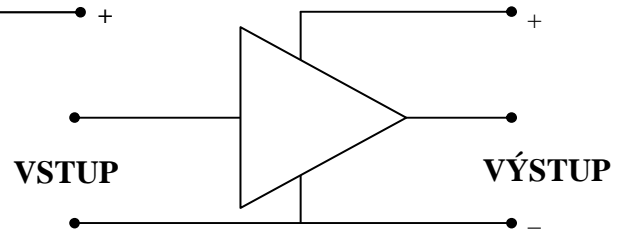
- obrázok obvodu tranzistorového zosilňovača je jeden stupeň zosilňovača – aby sa dosiahlo väčšie zosilnenie, spájajú sa jednotlivé stupne do viacstupňových zosilňovačov, pričom výstupné napätie jedného je vstupným napätím nasledujúceho stupňa
- pokrok polovodičovej techniky umožní konštruovať celé sústavy zosilňovačov v tvare integrovaných obvodov
- využite – meracie prístroje, počítače, mikrofón, ...



obr. (schéma tranzistorového zosilovača):



obr. (schéma zosilňovača s integrovaným obvodom):



Výkon striedavého prúdu v obvode s odporom

- výkon jednosmerného prúdu: $P = UI = RI^2$
- okamžitá hodnota výkonu v obvode striedavého prúdu $p = ui = Ri^2 = RI_m^2 \sin^2 \omega t$ sa mení s dvojnásobnou frekvenciou ako prúd a dosahuje amplitúdu $P_m = RI_m^2$
- práca W sa rovná ploche pod grafom výkonu pričom keď popreklápame horné časti dole, dostaneme celý obdĺžnik s jednou stranou úmernou perióde a druhou stranou úmernou polovici amplitúdy výkonu: $W = \frac{1}{2} P_m T = \frac{RI_m^2}{2} T$

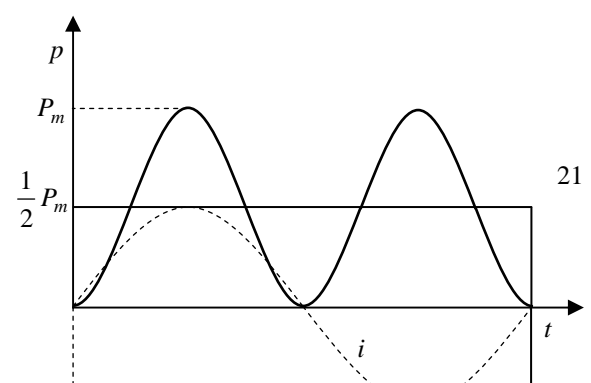
- hodnota stredného výkonu $P = \frac{W}{T} = \frac{RI_m^2}{2T} T = \frac{RI_m^2}{2} = \frac{1}{2} P_m$

- stroje sú tak upravené, aby hodnota ich výkonu nekolísala, ale aby sa držala na strednom výkone
- striedavý prúd s amplitúdou I_m má rovnaký stredný výkon ako ustálený jednosmerný prúd s takou veľkosťou I , že

platí: $I^2 R = \frac{1}{2} I_m^2 R \Rightarrow I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 I_m$

- obdobne: $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,707 U_m$

obr. (výkon striedavého prúdu):

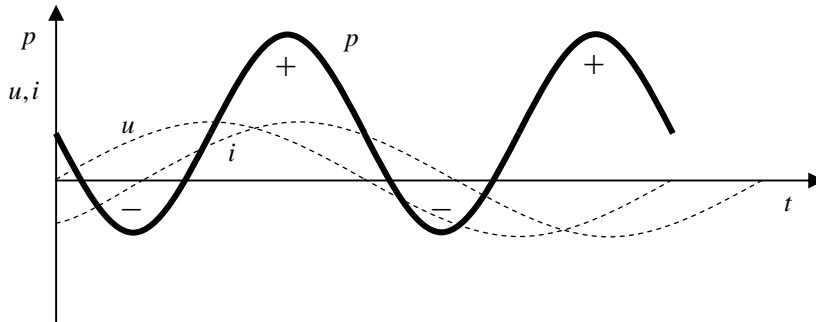


- tieto hodnoty prúdu a napätia nazývame **efektívna hodnota prúdu** a **efektívna hodnota napätia**
- **efektívne hodnoty striedavého prúdu sú hodnoty jednosmerného prúdu, ktorý má v obvode s odporom rovnaký výkon ako daný striedavý prúd** (efektívne hodnoty ukazujú aj meracie prístroje)
- rozlišujeme tri hodnoty pre prúd a napätie v obvode so striedavým prúdom:
 - a) u, i – okamžitá hodnota napätia, prúdu
 - b) U_m, I_m – amplitúda napätia, prúdu
 - c) U, I – efektívna hodnota napätia, prúdu
- výkon striedavého prúdu môžeme vypočítať podobne ako výkon jednosmerného prúdu z efektívnych hodnôt striedavého prúdu: $P = UI$

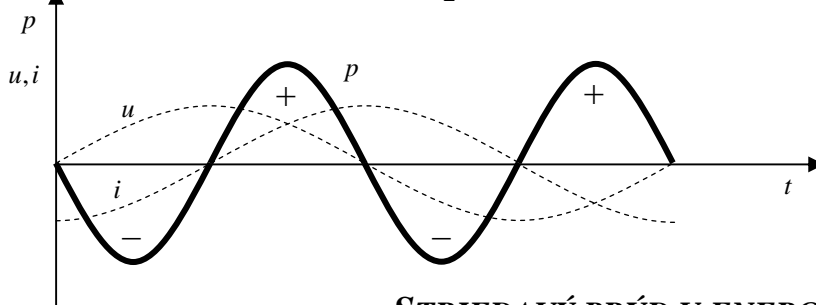
Výkon striedavého prúdu v obvode s impedanciou

$$\left. \begin{aligned} Z = \frac{U_m}{I_m} \Rightarrow I_m = \frac{U_m}{Z} \\ \cos \varphi = \frac{U_R}{U_m} = \frac{I_m R}{I_m Z} = \frac{R}{Z} \end{aligned} \right\} P = \frac{1}{2} P_m = \frac{1}{2} R I_m^2 = \frac{1}{2} I_m \frac{U_m}{Z} R = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{U_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{R}{Z} = I \cdot U \cdot \frac{R}{Z} = \underline{\underline{I \cdot U \cdot \cos \varphi}}$$

- $\cos \varphi$ – účinník – určuje, aké efektívne je využitie elektrickej energie v prístroji
 - $P = I \cdot U \cdot \cos \varphi$ – činný výkon
 - $P_z = I \cdot U [V \cdot A]$ – maximálny výkon (zdanlivý výkon) – je iba teoretický (preto sa udáva v $V \cdot A$)
 - $P = I \cdot U \cdot \sin \varphi$ – jalový výkon
 - keď je medzi napätím a prúdom v obvode veľký fázový rozdiel, má účinník malú hodnotu, čo znamená, že sa účinne využíva len malá časť energie zdroja striedavého prúdu (ostatná energia sa bez využitia periodicky prenáša od zdroja k spotrebiču a späť a časť z nej sa vo vodičoch mení na teplo \Rightarrow straty)
 - činný výkon je úmerný rozdielu obsahov plôch nad a pod časovou osou
 - keď $\varphi = \frac{\pi}{2}$, sú tieto plochy rovnaké a celková práca vykonaná striedavým prúdom je nulová (obvod beží naprázdno)
- obr. (výkon striedavého prúdu pri $0 < \varphi < \frac{\pi}{2}$):



obr. (výkon striedavého prúdu pri $\varphi = \frac{\pi}{2}$):



STRIEDAVÝ PRÚD V ENERGETIKE

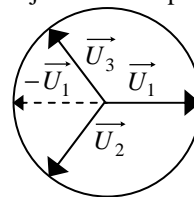
- zdrojom striedavého prúdu sú generátory – alternátory a dynamá
- princíp jednoduchého generátora:

- cievka alebo vodivá slučka tvorí jeho **rotor**
- permanentné magnety alebo elektromagnety tvoria jeho **stator**
- rotor sa otáča (rotuje) v homogénnom magnetickom poli s magnetickou indukciou B vytvorenom statorom uhlovou rýchlosťou ω a mení sa magnetický indukčný tok plochou S slučky
- magnetický indukčný tok je určený vzťahom $\phi = BS \cos \alpha$, kde α je uhol normály slučky a indukčných čiar magnetického poľa, teda platí $\alpha = \omega t$.
- z Faradayovho zákona platí, že okamžité napätie sa rovná zápornej derivácii magnetického indukčného toku podľa času $\Rightarrow u = -\frac{d\phi}{dt} = -BS\omega(-\sin \omega t) = BS\omega \sin \omega t$
- $u = U_m \sin \omega t \Rightarrow U_m = BS\omega$
- keď sa v homogénnom magnetickom poli otáča cievka s N závitmi, napätia jednotlivých závitov sa sčítajú a platí $U_m = NBS\omega$
- pri činnosti generátora nie je dôležité, či sa otáča cievka v magnetickom poli, alebo naopak rotuje elektromagnet a cievka je v pokoji, častejšie sa využíva druhý spôsob, lebo je pri ňom jednoduchšie odoberanie prúdu a sú menšie straty

Trojfázová sústava striedavých napätí

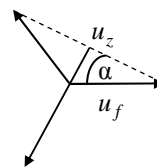
- trojfázový alternátor:
 - jeho stator tvoria 3 cievky, ktorých osi zvierajú navzájom uhly 120°
 - uprostred medzi cievkami sa otáča magnet (rotor)
 - indukované napätia v jednotlivých cievkach sú fázovo posunuté o tretinu periódy a platia pre ne rovnice:
 - $u_1 = U_1 \sin \omega t$
 - $u_2 = U_2 \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right)$
 - $u_3 = U_3 \sin\left(\omega t - \frac{4}{3}\pi\right)$
 - z fázorového diagramu: $u_1 + u_2 + u_3 = 0V$

obr. (fázorový diagram trojfázového napätia):



- napätie z trojfázového alternátora rozvádzame tak, že:
 - jeden koniec cievok statora spojíme do spoločného uzla a spojíme s ním nulovací vodič N
 - fázové vodiče L_1, L_2, L_3 pripojíme na druhé konce cievok
- medzi každým fázovým a nulovacím vodičom je **fázové napätie** u_f , ktoré v našej spotrebiteľskej sieti dosahuje hodnotu $220V$.
- medzi dvoma fázovými vodičmi je **združené napätie** u_z :

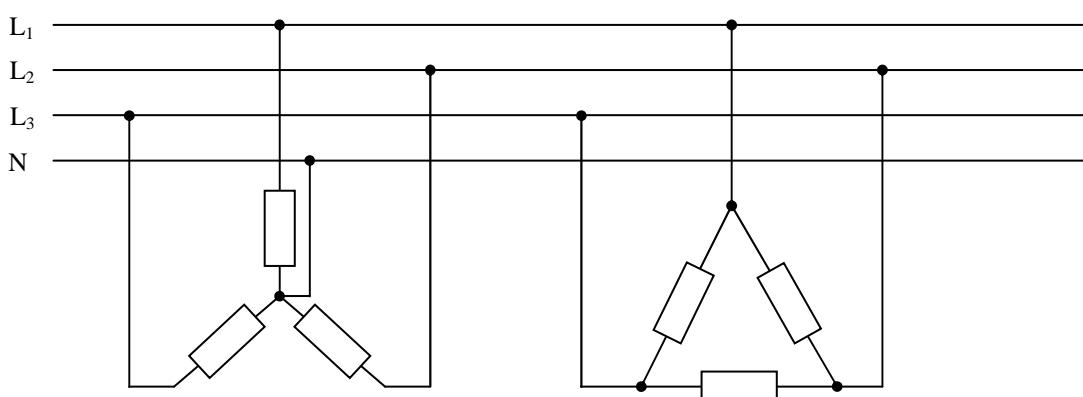
obr. (k združenému napätiu):



- $\cos 30^\circ = \frac{u_z}{2 \cdot u_f} \Rightarrow u_z = 2 \cdot u_f \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} \cdot u_f$
- v našej spotrebiteľskej sieti teda platí $u_z = 380V$

- elektrické spotrebiče pripájame najčastejšie k fázovému a nulovaciemu vodiču
- nulovacím vodičom prechádza obyčajne malý prúd (tento prúd je nulový, keď spotrebiče pripojené k fázovým vodičom majú rovnaký odpor)
- niektoré spotrebiče (elektromotory, transformátory, ...) sú konštruované tak, že jednotlivé fázy rozvodnej siete sú rovnomerne zaťažované
- elektrický obvod týchto spotrebičov má tri rovnaké časti zapojené
 - a) do hviezdy (pozri obr. vľavo) \Rightarrow jednotlivé časti spotrebiča sú pripojené k fázovému napätiu
 - b) do trojuholníka (pozri obr. vľavo) \Rightarrow jednotlivé časti spotrebiča sú pripojené k združenému napätiu a výkon spotrebiča je väčší

obr. (spojenie do hviezdy a do trojuholníka):



Elektromotor na trojfázový prúd

- mení elektrickú energiu na mechanickú
- jeho stator je rovnaký ako pri trojfázovom alternátore
- jeho rotor pozostáva z oceľových plechov s drážkami, v ktorých sú uložené silné vodiče z hliníka alebo z medi spojené v čelách rotora prstencami, takže vinutie má tvar kliečky
- prierez vodičov v rotore závisí od výkonu, na aký je motor skonštruovaný
- keďže sú vodiče navzájom spojené, nazýva sa tento druh motora **motor s kotvou nakrátko**
- cievky v statore pripojíme k trojfázovému napätiu z iného zdroja a ony budú produkovať **točivé magnetické pole** s neustále sa meniacim vektorom magnetickej indukcie
- točivé magnetické pole indukuje vo vinutí kotvy (rotor) veľké prúdy, čo má za následok vznik síl, ktoré kotvu roztočia v smere rotácie točivého poľa
- kotva sa však nikdy nemôže otáčať rovnakou frekvenciou, ako sa otáčal magnet (synchronne s magnetickým poľom), pretože pri takomto otáčaní by vinutie kotvy bolo vzhľadom na indukčné čiary relatívne v pokoji, prúd by sa v ňom neindukoval a príčina otáčania by zanikla
- rotor sa preto vždy otáča s menšou frekvenciou (asynchrónne) a tieto motory potom nazývame **trojfázové asynchrónne motory**
- rozdiel frekvencie f_p otáčania točivého poľa a frekvencie f_r otáčania kotvy sa vyjadruje v percentách a volá sa **sklz**:

$$s = \frac{f_p - f_r}{f_p} \quad (\text{býva v rozpätí } 2 - 5 \%)$$

- asynchrónne motory majú jednoduchú konštrukciu aj obsluhu, dlhú životnosť, neznečisťujú životné prostredie
- používajú sa najviac tam, kde netreba meniť frekvenciu otáčania (pri pohone strojov, čerpadiel)

Transformátor

- je to zariadenie, ktoré premieňa (transformuje) striedavé prúdy a napätia na iné hodnoty napätia a prúdu s rovnakou frekvenciou
- účinnosť transformátorov $\eta = \frac{P_2}{P_1}$ je veľmi veľká (malé: 90 – 95 %, veľké: 98%)
- jednofázový:
 - skladá sa z dvoch cievok so spoločným jadrom
 - straty:
 - odpor cievky
 - spoločné jadro cievok musí mať úzku hysteréznú slučku a musí byť rozdelené na platničky, dávajú sa doňho aj prímiesy kremíka (vtedy sú menšie straty)
 - jadro je nalakované, aby sa zabránilo vzniku Foucaultových (vírivých) prúdov
 - do jednej z cievok privádzame striedavý prúd, ktorý spôsobí vznik magnetického poľa indukujúceho prúd v druhej cievke

$$\text{platí: } \left. \begin{array}{l} U_1 = -N_1 \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \\ U_2 = -N_2 \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = k, \text{ kde } k \text{ je transformačný pomer transformátora, } N_x \text{ je počet závitov na}$$

cievke a U_y je napätie na cievke

- $\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$ je rovnica transformátora
- $N_2 > N_1 \Rightarrow k > 1 \Rightarrow$ výstupné napätie je väčšie než vstupné
- $N_2 < N_1 \Rightarrow k < 1 \Rightarrow$ výstupné napätie je menšie než vstupné

- v súlade so zákonom zachovania energie musí sa príkon transformátora pri zanedbateľných stratách rovnať jeho výkonu: $P_1 = P_2 \Rightarrow U_1 I_1 = U_2 I_2 \Rightarrow \frac{U_2}{U_1} = k = \frac{I_1}{I_2}$
- používa sa tam, kde potrebujeme meniť hodnotu prúdu alebo napätia (rádiá, TV, meracie prístroje)
- trojfázový – podobná konštrukcia ako jednofázový – má tri magnetické vetvy \Rightarrow každá fáza má vlastné primárne a sekundárne vinutie, cievky primárneho (resp. sekundárneho) vinutia sú navzájom spojené do hviezdy alebo do trojuholníka
- transformátory treba počas práce účinne chladiť

Prenos elektrickej energie na diaľku

- v elektrárnach (u nás) sa generuje v alternátoroch elektrické napätie 6,3 – 16,5 kV .
- toto napätie sa hneď transformuje na 400 kV (veľmi vysoké napätie (vvn)) a takto sa prenáša na veľké vzdialenosti
- do veľkých oblastí (miest, ...) sa privádza prúd už pod napätím 22 kV (vysoké napätie (vn))
- do domácností sa prúd privádza pod napätím 380/220 V (nízke napätie (nn))
- pri prechode prúdu elektrickým vedením vznikajú straty súvisiace so zmenou elektrickej energie na teplo:
 - $P = UI = I^2 R$
 - straty sú tým väčšie, čím je väčší prúd a odpor
 - odpor $R = \rho \frac{l}{S}$ nemôžeme zmenšovať, pretože dĺžku vedenia neovplyvníme a vodiče tiež z finančných dôvodov nemôžeme zhotovovať zo vzácnych kovov (majú malý merný odpor ρ) alebo zväčšovať ich prierez
 - preto sa musíme snažiť čo najviac zmenšiť prúd I a to dosiahneme zväčšením napätia U (výkon P je totiž konštantný a keď zväčšíme napätie, musí sa zákonite zmenšiť prúd, aby sa jeho hodnota zachovala)

Bezpečnosť pri práci s elektrickými zariadeniami

- pre človeka je elektrický prúd nebezpečný – prúd o veľkosti 10 mA má smrteľné účinky, pokiaľ prejde srdcom
- z hľadiska bezpečnosti je dôležitá veľkosť napätia, na ktoré je spotrebič napojený:
 - do 12 V – bezpečné napätie vo všetkých prostrediach
 - do 50 V striedavého alebo do 100 V jednosmerného napätia – závisí od prostredia (vlhkosť, prašnosť, ...)
 - sieťové napätie (220 V) – nebezpečné
- zásady, pri práci s elektrickými zariadeniami:
 - elektrické zariadenie udržujeme v čistote a poriadku, čistíme ho, iba keď je odpojené od siete
 - nedotýkame sa vnútorných častí zásuviek, päťic žiaroviek, svoriek motorov, odkrytých častí elektrických zariadení, keď sú pod napätím
 - keď na zariadení zistíme chyby (poškodená izolácia, zápach po spálení, dym, iskrenie, ...), zariadenie ihneď vypojíme
 - pri hasení požiarov najprv vypneme prúd, nikdy nehasíme vodou (obsahuje rozpustné látky a je teda vodivá), hasíme snehovým hasiacim prístrojom alebo pieskom
 - nikdy sa nedotýkame vypínačov a nepripájame elektrické šnúry do zásuviek mokrou rukou
- pri úraze elektrickým prúdom:
 - čo najskôr uvoľníme postihnutého z vodivého obvodu (záchranca sa pritom musí izolovať)
 - poskytneme postihnutému prvú pomoc, zavoláme lekára

MECHANICKÉ VLNIENIE

Postupné mechanické vlnenie

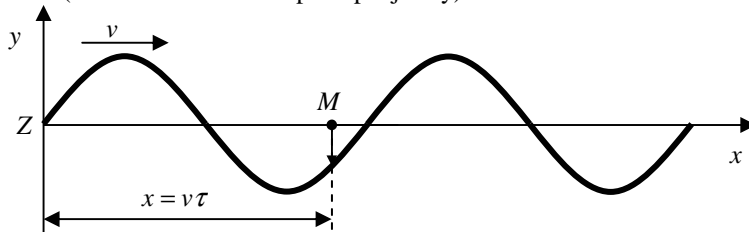
- kmitanie – jeden hmotný bod
- vlnenie – viac hmotných bodov (atómy, molekuly, ...), medzi ktorými existujú väzbové sily šíriace vlnenie (kmitanie jednej častice sa väzbovými silami prenáša na ďalšie častice)
- prostredie, v ktorom prebieha vlnenie nazývame pružné prostredie
- postupné priečne vlnenie:
 - častice kmitajú kolmo na smer, ktorým vlnenie postupuje
 - vzniká v telesách, pružných pri zmene tvaru (pevné telesá, povrch kvapalín)
- postupné pozdĺžne vlnenie:

- častice kmitajú zhodne so smerom, ktorým vlnenie postupuje
- vzniká v telesách pružných pri zmene objemu (pevné, kvapalné aj plynné telesá – vlnenie si v nich môžeme predstaviť ako postupné zhusťovanie a zriedňovanie častíc pružného prostredia)
- vzdialenosť, do ktorej vlnenie dospeje za periódu T kmitania zdroja vlnenia, nazveme **vlnová dĺžka** λ
- vlnová dĺžka je vzdialenosť dvoch najbližších bodov s rovnakou fázou (na sínusoide napr. $\frac{\pi}{3}$ a $\frac{7\pi}{3}$)
- rýchlosť v , ktorou sa vlnenie šíri pružným prostredím, je **fázová rýchlosť vlnenia**
- fázová rýchlosť vlnenia závisí od vlastností pružného prostredia
- platí vzťah: $\lambda = vT = \frac{v}{f}$

Rovnica postupnej vlny

- kmitavý pohyb opisuje rovnica $y = y_m \cdot \sin \omega t$, kde y je okamžitá výchylka hmotného bodu v čase t
- ak sa postupné vlnenie šíri fázovou rýchlosťou v zo zdroja Z , tak sa do bodu M vo vzdialenosti x od zdroja dostane za dobu $\tau = \frac{x}{v}$
- znamená to, že kmitanie bodu M bude mať rovnakú okamžitú výchylku ako zdroj Z o dobu τ neskôr
- okamžitú výchylku bodu M určuje vzťah $y = y_m \cdot \sin \omega(t - \tau) = y_m \cdot \sin \omega\left(t - \frac{x}{v}\right) = y_m \cdot \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$

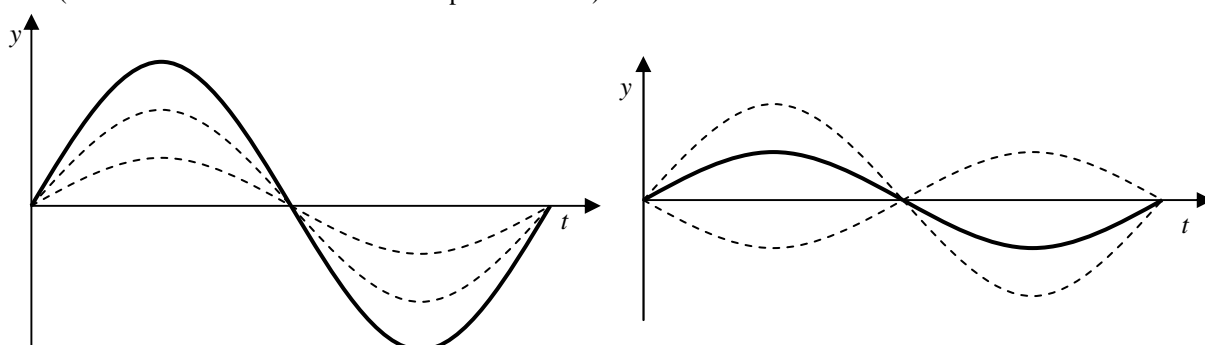
obr. (k odvodeniu rovnice postupnej vlny):



Interferencia vlnenia

- keď sa dve rôzne vlnenia stretnú v jednom bode, skladajú sa (čiže interferujú) podľa princípu superpozície (je jedno v akom poradí ich skladáme): $y = y_1 + y_2 + \dots + y_n$
- každé vlnenie môžeme opísať rovnicou $y = y_m \cdot \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$
- vo vzdialenosti x od zdroja vlnenia bude v čase $t = 0$ fáza vlnenia $\varphi = \frac{2\pi x}{\lambda}$
- pre fázy vlnení, ktoré sa do uvažovaného bodu M dostanú zo zdrojov Z_1 a Z_2 , platí $\varphi_1 = \frac{2\pi x_1}{\lambda}$ a $\varphi_2 = \frac{2\pi x_2}{\lambda}$
- $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ je **fázový rozdiel** vlnení
- $d = x_2 - x_1$ je **dráhový rozdiel** vlnení
- platí: $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = \frac{2\pi}{\lambda}(x_2 - x_1) = \frac{2\pi}{\lambda}d$
- ak je fázový rozdiel dvoch interferujúcich vlnení konštantný, nazývame tieto vlnenia **koherentné**
- ak sa dráhový rozdiel rovná párnemu počtu polvln $\left(d = 2k \frac{\lambda}{2}\right)$, platí $y_m = y_{m1} + y_{m2}$ (pozri obr.)
- ak sa dráhový rozdiel rovná nepárnemu počtu polvln $\left(d = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}\right)$, platí $y_m = y_{m1} - y_{m2}$ (pozri obr.)

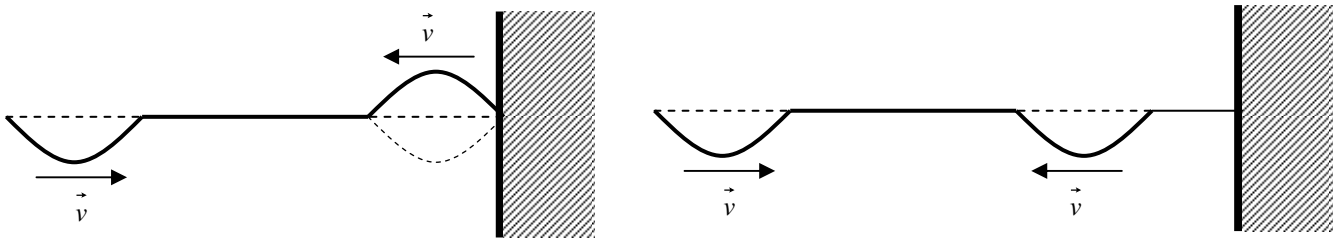
obr. (interferencia vlnenia s rovnakou a opačnou fázou):



Odraz vlnenia v rade bodov

- doteraz sme sa zaoberali len vlnením, ktoré postupovalo neobmedzeným radom hmotných bodov, spojených pružnou väzbou
- v skutočnosti býva tento rad obmedzený a jeho koniec je buď pevný (napr. gumená hadica pripevnená k pevnej prekážke) alebo voľný (napr. gumená hadica pripevnená k pevnej prekážke cez ľahké pružné vlákno)
- na pevnom konci nastáva odraz vlnenia s opačnou fázou
- na voľnom konci nastáva odraz vlnenia s rovnakou fázou

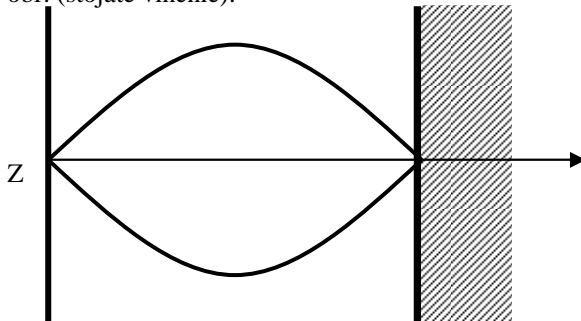
obr. (odraz vlnenia na pevnom a na voľnom konci):



Stojaté vlnenie

- vzniká, keď interferujú 2 proti sebe postupujúce vlnenia (napr. keď sa vlnenie odráža na pevnom konci, vzniká stojaté vlnenie interferenciou priameho a odrazeného vlnenia)
- v bodoch, v ktorých kmitanie dosahuje najväčšiu amplitúdu výchylky, sú **kmitne** stojatého vlnenia
- v bodoch, ktoré sú trvalo v pokoji, sú **uzly** stojatého vlnenia
- vzdialenosť susedných kmitní, príp. susedných uzlov sa rovná polovici vlnovej dĺžky $\left(\frac{\lambda}{2}\right)$
- polohy kmitní a uzlov sú navzájom posunuté o $\frac{\lambda}{4}$
- rozdiely medzi stojatým a postupným vlnením:
 - a) pri postupnom vlnení kmitajú všetky body s rovnakou amplitúdou, ale s rozličnou fázou (každý nasledujúci bod dosahuje rovnakú výchylku ako bod predchádzajúci), kým pri stojatom vlnení kmitajú všetky body medzi dvoma uzlami s rovnakou fázou, ale s rozličnou amplitúdou výchylky závisiacej od polohy hmotného bodu
 - b) postupným vlnením sa prenáša mechanická energia, stojatým vlnením sa energia neprenáša, nastáva len periodická zmena potenciálnej energie pružnosti na kinetickú energiu hmotných bodov a naspäť
- keď je stojaté vlnenie v amplitúde, má maximálnu potenciálnu energiu (a nulovú rýchlosť), keď je v rovnovážnej polohe, má maximálnu kinetickú energiu (a maximálnu rýchlosť)

obr. (stojaté vlnenie):



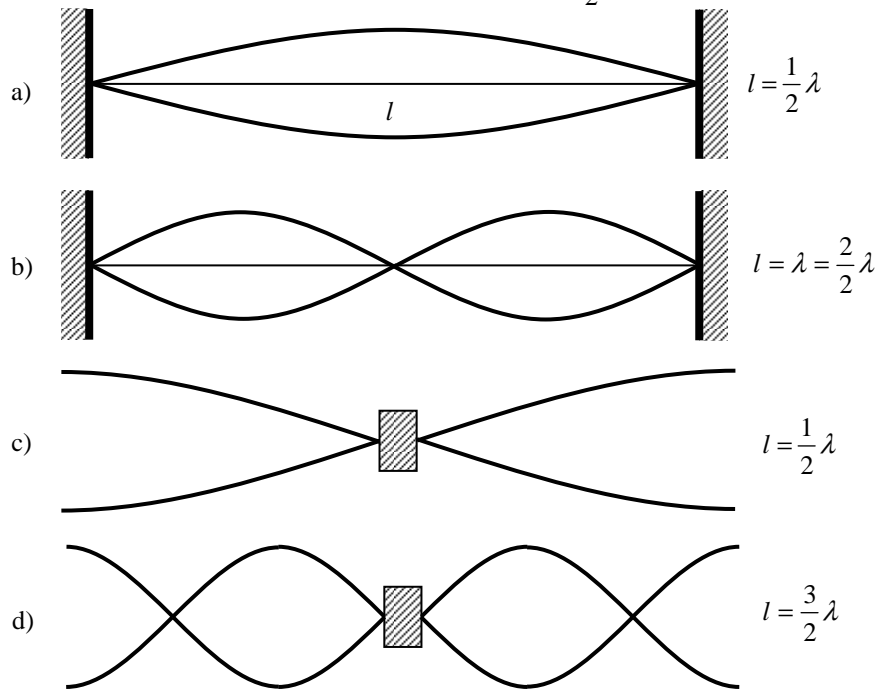
Chvenie mechanických sústav

- pri stojatom vlnení vzniká uzol vždy na pevnom konci a v mieste úchyty, kmitňa vzniká vždy na voľnom konci (pozri obr.)

- ak rozkmitávame pružné vlákno (napr. strunu) dĺžky l upevnené na oboch koncoch, vzniká v ňom stojaté vlnenie (pozri obr. a) a b)), pričom platí $l = k \frac{\lambda}{2}$ ($k \in N$)
- keďže rýchlosť vlnenia v vo vlákne je konštantná, vznikne v ňom stojaté vlnenie pri **základnej frekvencii** $f_z = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{2l}$ alebo pri niektorej z **harmonických frekvencií** $f_k = k \cdot f_z$ ($k \in N - \{1\}$)
- podobné deje vznikajú aj pri rozkmitaní tyčí alebo vzduchových stĺpcov a pod. (pozri obr. c), d))
- stojaté vlnenie vznikajúce v pružných telesách iba s istými frekvenciami, ktoré sú určené rozmermi telesa, rýchlosťou vlnenia v materiáli, z ktorého je teleso vyrobené a spôsobom upevnenia telesa, sa nazýva **chvenie**
- zopakovanie vzťahov pre kinetickú (pohybovú) a potenciálnu (polohovú) energiu: $E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$, $E_p = m \cdot g \cdot h$

obr. (chvenie mechanických sústav):

- na obidvoch koncoch je struna uchytená a rozkmitávame ju na jednom z týchto koncov
- na obidvoch koncoch je struna uchytená a rozkmitávame ju v jej strede
- tyč je uprostred upevnená a rozkmitávame ju v bode úchyty
- tyč je uprostred upevnená a rozkmitávame ju na dvoch miestach, vždy v určitej vzdialenosti od úchyty

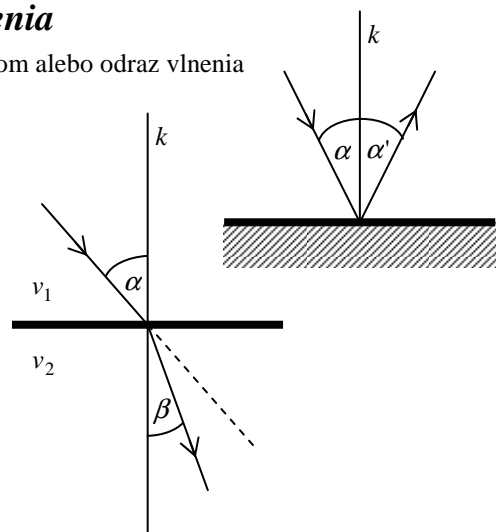


Vlnenie v izotropnom prostredí, Huygensov princíp

- izotropné prostredie je také prostredie, ktoré má vo všetkých smeroch rovnaké fyzikálne vlastnosti, čiže rýchlosť vlnenia v tomto prostredí je všetkými smermi rovnaká
- Huygensov princíp – každý bod prostredia, do ktorého sa dostalo vlnenie, sa stáva ďalším zdrojom elementárneho vlnenia

Odraz a lom vlnenia

- keď dospeje vlnenie k rozhraniu dvoch rôznych prostredí, nastáva lom alebo odraz vlnenia
- odraz vlnenia:
 - bod, v ktorom sa vlnenie odráža, je bod odrazu
 - uhol dopadu (α) a uhol odrazu (α') sú rovnaké ($\alpha = \alpha'$)
 - odrazený lúč zostáva v rovine dopadu
- lom vlnenia:
 - bod, v ktorom sa vlnenie láme, je bod lomu
 - pokiaľ je fázová rýchlosť v prvom prostredí (v_1) väčšia než fázová rýchlosť v druhom prostredí (v_2) ($v_1 > v_2$), tak je aj uhol dopadu (α) väčší než uhol lomu (β) ($\alpha > \beta$) a vlnenie sa láme ku kolmici k
 - $v_1 < v_2 \Rightarrow \alpha < \beta$ a vlnenie sa láme od kolmice k
 - lomený lúč zostáva v rovine dopadu



- Snellov zákon lomu vlnenia: pomer sínusu uhla dopadu k sínusu uhla lomu je pre dve dané prostredia stála veličina a rovná sa pomeru fázových rýchlostí v obidvoch prostrediach, čiže $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_1}{n_2}$, kde $\frac{n_1}{n_2}$ je relatívny index lomu dvoch daných prostredí

Ohyb a tieň vlnenia

- ak je dĺžka prekážky vlnenia porovnateľná s jeho vlnovou dĺžkou, nastáva ohyb vlnenia
- pokiaľ je dĺžka prekážky vlnenia oveľa väčšia než jeho vlnová dĺžka, nastáva tieň vlnenia (zoslabenie vlnenia)

Zvuk a jeho vlastnosti

- zvuk je mechanické vlnenie hmotného prostredia, zachytávame ho ušom
- človek dokáže zachytiť zvuk s frekvenciou v rozsahu 16 – 20 000 Hz, zvuk s frekvenciou vyššou než 20 000 Hz je ultrazvuk, zvuk s frekvenciou nižšou než 16 Hz je infrazvuk
- zvuk sa šíri pružným prostredím, najčastejšie je ním vzduch, ale môže ním byť i voda, tehla, guma, oceľ, ...
- akustika je veda zaoberajúca sa zvukom, delí sa na:
 - a) hudobnú – skúma zvuky z hľadiska potrieb hudby
 - b) fyziologickú – zaoberá sa vznikom zvuku v hlasovom orgáne človeka a vnímaním zvuku ušom
 - c) fyzikálnu – zaoberá sa fyzikálnymi podmienkami pri vzniku zvuku, jeho šírením a pohlcovaním
- zvuky delíme na:
 - a) periodické (harmonické, jednoduché, tóny) – napr. zvuky hudobných nástrojov, samohlásky reči, ...
 - b) neperiodické – napr. šum, prasknutie, ...
- zvuk charakterizuje jeho:
 - a) výška:
 - určuje ju jeho frekvencia
 - pri zvukoch so sinusoidným priebehom (jednoduchý tón) určuje frekvencia absolútnu výšku tónu
 - pri zvukoch s iným priebehom (zložený tón) – obsahujú zložky s rôznymi frekvenciami – určuje výšku zvuku jeho základná (najnižšia) frekvencia
 - absolútnu výšku nedokážeme väčšinou určiť priamo sluchom, a preto výšku tónov zvyčajne navzájom porovnávame a vyjadrujeme relatívnu výšku tónu, čo je pomer frekvencie daného tónu a frekvencie základného tónu
 - b) farba (určuje ju priebeh vlnenia)
 - c) hlasitosť
- v technickej praxi sa ako základný tón používa tón s frekvenciou 1 kHz (referenčný tón)
- hudba:
 - základný tón (a^1) má frekvenciu 440 Hz (444 Hz)
 - základný interval – oktáva – pomer frekvencií je 2:1
 - oktáva je rozdelená na 12 intervalov (poltónov) s relatívnou výškou $\sqrt[12]{2}$
 - relatívne výšky hudobných intervalov zvyčajne vyjadrujeme pomerom celých čísel – napr. kvinta $\frac{3}{2}$, kvarta $\frac{4}{3}$, ...
 - zvuky hudobných nástrojov – vznikli superpozíciou chvení s rôznymi frekvenciami – výsledný zvuk sa skladá zo základného tónu (určuje jeho výšku) a z vyšších harmonických tónov, ktoré majú rozličnú amplitúdu, podstatne menšiu, než je amplitúda základného tónu

Hlasitosť a intenzita zvuku

- hlasitosť – subjektívny pocit
- intenzita zvuku – výkon akustického zdroja na plochu $I = \frac{P}{S} [W \cdot m^{-2}]$
- prah počuteľnosti $\Delta p = 2 \cdot 10^{-5} Pa$ – ak je zmena tlaku na sluchový orgán aspoň takáto, počujeme zvuk
- prah bolesti $\Delta p = 10^2 Pa$ – ak je zmena tlaku na sluchový orgán väčšia, sú zvuky nepríjemné, až bolestivé, môže dôjsť k poškodeniu sluchového orgánu
- hladina intenzity zvuku $L [B]$:
 - pri $I = 10^{-2} W \cdot m^{-2}$ je $L = 0B$

- s každým zdesaťnásobením I sa L zväčší o 1, čiže $L = \log \frac{I}{I_0} [B]$ alebo tiež $L = 10 \log \frac{I}{I_0} [dB]$
- platí: $\frac{I_m}{I_0} = \frac{P_m^2}{p_0^2} \Rightarrow L_m = \log \frac{I_m}{I_0} = \log \frac{P_m^2}{p_0^2} = 2 \cdot \log \frac{P_m}{p_0} = 2 \cdot \log \frac{10^2 Pa}{2 \cdot 10^{-5} Pa} = 13,39794B = 133,974dB$, čiže maximálna počuteľná hladina intenzity zvuku je približne $134dB$.

Rýchlosť zvuku

- rôzna v rôznych látkach
- prostredie ho zoslabuje (zmenšuje sa amplitúda zvukových vln), nastáva pohlcovanie alebo absorpcia zvuku
- v oceli je asi $5000m \cdot s^{-1}$, vo vzduchu je za bežných podmienok asi $340m \cdot s^{-1}$
- rýchlosť zvuku vo vzduchu závisí najmä od teploty, a to takto: $v_t = (331,82 + 0,61 \cdot t)m \cdot s^{-1}$
- aby sme počuli ozvenu, musí byť medzi originálnym a odrazeným zvukom časový interval aspoň 0,1s
- pokiaľ je rozdiel menší, počujeme dozvuk

Ultrazvuk a infrazvuk

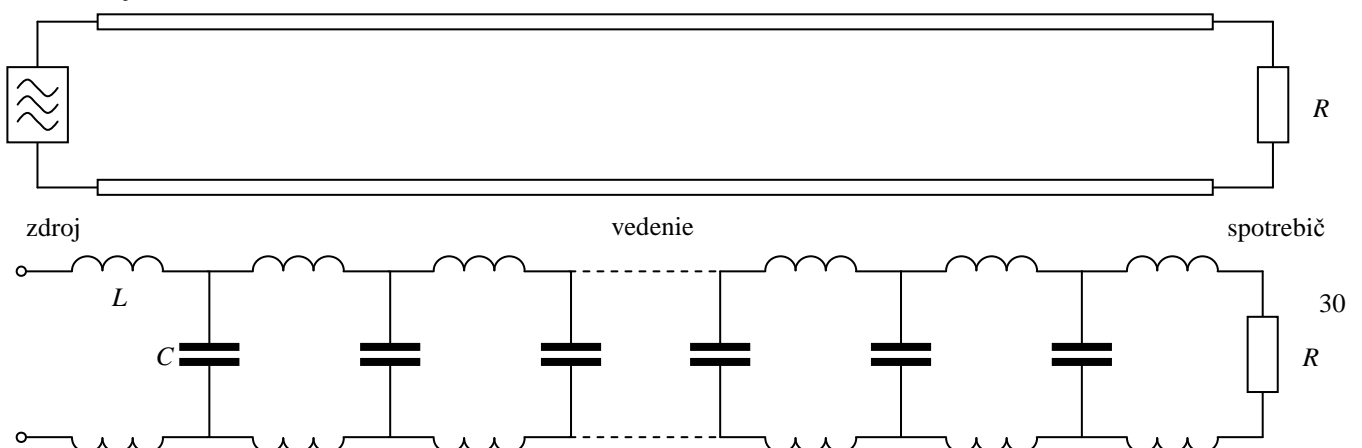
- ultrazvuk:
 - má malú vlnovú dĺžku, platí zákon odrazu, malá absorpcia v kvapalinách a pevných látkach
 - napr. na meranie hĺbky morí, zisťovanie skrytých kazov materiálu, čistenie súčiastok, okuliarov, ...
- infrazvuk:
 - veľmi dobre sa šíri vo vode \Rightarrow predpovedanie vlnobitia
 - na ľudský organizmus pôsobí škodlivo, ak má podobnú frekvenciu ako je frekvencia tlkotu srdca
 - keby sme ho počuli, počuli by sme vlastné srdce (a to by nebolo príliš príjemné)

ELEKTROMAGNETICKÉ VLNIENIE

Vznik elektromagnetického vlnenia

- zdrojom elektromagnetického vlnenia môže byť:
 - a) elektrón v excitovanom stave
 - b) LC obvod (takto sa aj vysielajú rozhlasové a televízne vlny)
- rýchlosť šírenia elektromagnetického vlnenia vo vzduchu a vo vákuu je $c = 3 \cdot 10^8 m \cdot s^{-1}$
- v iných prostrediach je táto rýchlosť menšia (a už ju neoznačujeme c , ale v)
- príkladom zdroja elektromagnetického vlnenia je dvojvodičové vedenie (pozri obr.):
 - spotrebič pripojíme na zdroj napätia s vysokou frekvenciou
 - keďže napätie zdroja sa veľmi rýchlo mení a zmeny napätia sa vedením šíria konečnou rýchlosťou, napätie v jednotlivých bodoch vedenia je nielen funkciou času, ale aj funkciou vzdialenosti od zdroja napätia
 - podobne si môžeme predstaviť vedenie tvorené dvoma vodičmi ako rad oscilačných obvodov spojených väzbou – keď v prvom oscilačnom obvode vynútíme kmitanie, rozkmitajú sa postupne ďalšie elementárne obvody a vedením sa šíri elektromagnetická vlna
- v ľubovoľnom bode vedenia vo vzdialenosti x od zdroja je medzi vodičmi napätie $u = U_m \cdot \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$, kde U_m je amplitúda napätia, T perióda napätia a λ vlnová dĺžka elektromagnetickej vlny
- rovnica $u = U_m \cdot \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$ sa nazýva **rovnica postupnej elektromagnetickej vlny**

obr. (dvojvodičové vedenie):



- pri frekvencii $f = 50\text{Hz}$ je $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{50} \text{m} = 6000\text{km}$, čiže člen $\frac{x}{\lambda}$ je zanedbateľne malý a rovnica postupnej elektromagnetickej vlny prechádza na tvar $u = U_m \cdot \sin \frac{2\pi}{T} t = U_m \cdot \sin \omega t$, čiže na rovnicu harmonického kmitania

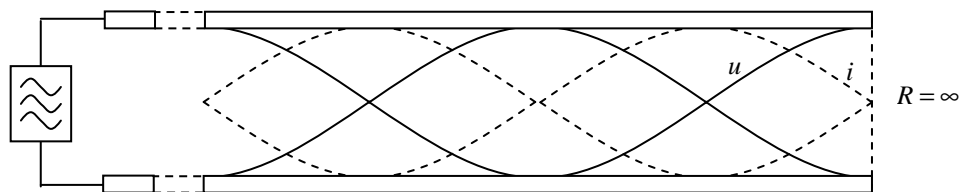
Elektromagnetická vlna

- vektory intenzity elektrického poľa, magnetickej indukcie a rýchlosti sú navzájom kolmé: $\vec{B} \perp \vec{E} \perp \vec{v}$
- $\vec{B} = \frac{\vec{F}_m}{I \cdot l \cdot \sin \alpha}$ a $\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{Q}$
- energia sa pri elektromagnetickom vlnení šíri prostredím medzi dvojvodičovým vedením, a to prostredníctvom magnetickeho a elektrického poľa vznikajúceho okolo vodičov
- ak je na konci spotrebič, napätie a prúd (a tým aj magnetická indukcia a intenzita magnetickeho poľa) sú vo fáze

Stojaté elektromagnetické vlnenie

- keď nie je na konci dvojvodičového vedenia spotrebič, ale nejaké nevodivé prostredie (napr. vzduch), blíži sa odpor R k nekonečnu ($R \rightarrow \infty$)
- takéto vedenie nazývame vedenie naprázdno
- na konci vedenia naprázdno má napätie kmitňu a prúd uzol (obr.), čiže napätie a prúd (a tým aj intenzita elektrického poľa a magnetická indukcia) sú posunuté o $\frac{\pi}{2}$ rad
- keď je napätie maximálne, je prúd a magnetická energia nulová, elektrická energia je maximálna (všetka energia je premenená na elektrickú)
- keď je prúd maximálny, je napätie a elektrická energia nulová, magnetická energia je maximálna (všetka energia je premenená na magnetickejšiu)
- medzi uzlom a kmitňou je vzdialenosť $\frac{\lambda}{4}$, medzi dvoma uzlami alebo dvoma kmitňami je vzdialenosť $\frac{\lambda}{2}$
- $E_e = \frac{1}{2} Q \cdot U = \frac{1}{2} C \cdot U^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{C}$ a $E_m = \frac{1}{2} \phi \cdot I = \frac{1}{2} L \cdot I^2$

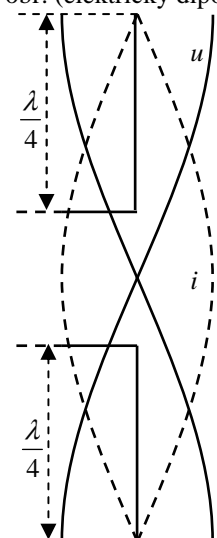
obr. (napätie a prúd vo vedení naprázdno):



Elektromagnetický dipól

- ak chceme vyžarovať elektromagnetické vlnenie do väčšieho priestoru, upravíme koniec vedenia tak, aby sa vodiče dĺžky $\frac{\lambda}{4}$ roztvorili do smeru kolmého na vedenie
- v odchylených častiach vedenia vznikajú prúdy, ktoré majú v každom okamihu súhlasný smer a magnetické pole prúdu môže tak zasahovať do celého okolia
- napätie na koncoch vodičov dosahuje periodicky najvyššie hodnoty a vzniká elektrické pole, ktoré tiež zasahuje do okolia
- takéto zariadenie, ktoré sa používa na vyžarovanie elektromagnetickej energie do voľného priestoru, sa nazýva **elektromagnetický dipól** (pretože sa jeho dĺžka rovná polovici dĺžky vyžarovaného elektromagnetickeho vlnenia, volá sa aj polvlnový dipól)
- termín dipól vystihuje skutočnosť, že sa každá jeho polovica nabíja periodicky kladne a záporne

obr. (elektrický dipól):



- elektromagnetické pole dipólu je najmä v blízkosti dipólu pomerne zložitá
- elektromagnetický dipól je základná súčasť všetkých vysielačov a prijímačov na bezdrôtový prenos správ – **anténu**
- antény majú rôzny tvar, používajú sa nielen na zachytávanie, ale aj na prijímanie signálu
- vlastný dipól D_p dopĺňajú v anténe aj ďalšie prvky v podobe kovových tyčí, ktoré ovplyvňujú smerový účinok antény aj amplitúdu zachyteného vlnenia; sú to direktor D a reflektor R

Vlastnosti elektromagnetického vlnenia

- polarizácia elektromagnetického vlnenia:
 - elektromagnetické vlnenie je priečne postupné vlnenie
 - nepolarizované elektromagnetické vlnenie – častice kmitajú vo všetkých smeroch v rovine kolmej na smer šírenia vlnenia, šíri sa vo všetkých smeroch rovnako
 - nepolarizované elektromagnetické vlnenie sa dá polarizovať, vzniká vlnenie lineárne polarizované, pri ktorom častice kmitajú už len v jednom smere v rovine kolmej na smer šírenia vlnenia
- odraz, ohyb a tieň elektromagnetického vlnenia:
 - plošný vodič je pre elektromagnetické vlnenie prekážkou, od ktorej sa odráža, pričom platí zákon odrazu ($\alpha = \alpha'$)
 - pokiaľ je prekážka rádovo porovnateľná s vlnovou dĺžkou vlnenia, nastáva ohyb vlnenia, inak nastáva tieň vlnenia
- interferencia elektromagnetického vlnenia:
 - v praxi sa často stáva, že vlnenie z vysielača prichádza k dipólu prijímača jednak priamo, jednak po odraze od vodivej prekážky
 - priama a odrazená vlna interferujú, pričom amplitúda výsledného vlnenia závisí od rozdielu dráh Δl oboch vlnení
 - ak $\Delta l = 2k \frac{\lambda}{2}$ ($k \in N_0$), vlnenia sa stretávajú s rovnakou fázou a amplitúda výsledného vlnenia sa zväčší
 - ak $\Delta l = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$ ($k \in N_0$), vlnenia sa stretávajú s opačnou fázou a amplitúda výsledného vlnenia sa zmenší
 - interferencia elektromagnetického vlnenia bola pozorovaná výlučne u odrazeného a priameho vlnenia z jedného zdroja (elektromagnetické vlnenie z rôznych zdrojov neinterferuje)
- vplyv prostredia na rýchlosť šírenia elektromagnetického vlnenia:
 - pre rýchlosť šírenia elektromagnetického vlnenia vo vákuu a vzduchu platí vzťah: $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}}$, kde ϵ_0 je permitivita vákua a μ_0 je permeabilita vákua
 - pre rýchlosť šírenia elektromagnetického vlnenia v iných prostrediach platí vzťah: $v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \cdot \mu_r}}$, kde $\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$ je relatívna permitivita prostredia určujúca pomer zosilnenia elektrickej zložky a $\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$ je relatívna permeabilita prostredia určujúca pomer zosilnenia magnetickej zložky elektromagnetického vlnenia

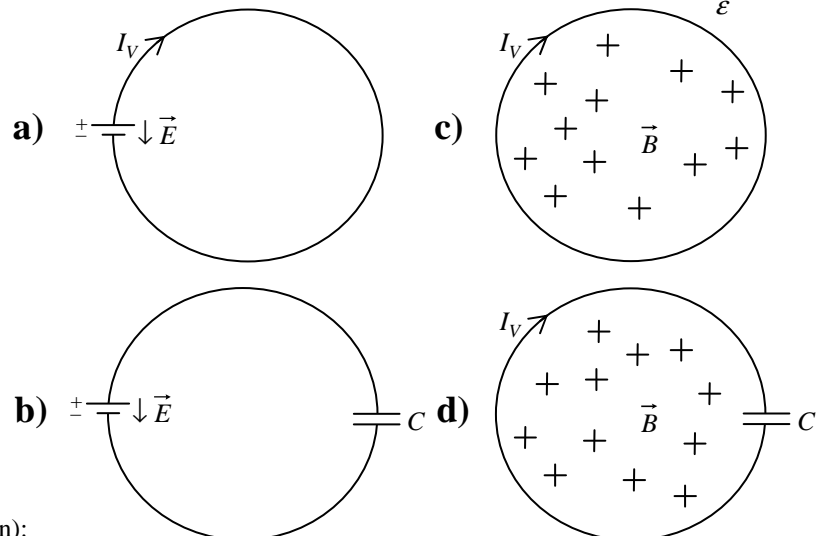
Šírenie elektromagnetického vlnenia

- elektromagnetické vlnenie, ktoré vydáva rádioelektrické zariadenie, môže byť:
 - a) dlhé ($\lambda \approx 10^3 m$)
 - b) stredné ($\lambda \approx 10^2 m$)
 - c) krátke ($\lambda \approx 10 m$)
 - d) veľmi krátke ($\lambda \approx 10^0 m - 10^{-1} m$)
- dlhé, stredné a krátke vlnenie sa ohýbajú spolu so zemským povrchom (odrážajú sa od ionosféry), krátke vlnenie sa využíva na rádiolokáciu
- veľmi krátkym vlnením sa šíria televízne a rádiové vysielačie, VKV sa však neodráža od ionosféry, a preto sú potrebné vysielače ne pokrytie celého územia
- rádiolokátor:
 - jeho základnou časťou je parabolická anténa, ktorá vysiela krátke impulzy elektromagnetického vlnenia
 - zdrojom impulzov je oscilátor, spúšťaný presným generátorom časových impulzov
 - vlnenie impulzov sa šíri v úzkom zväzku do priestoru a po odraze od prekážky sa vracia späť do rádiolokátora

- prijatý signál sa anténovým prepínačom preniesie do citlivého prijímača a mnohonásobne zosilnený pokračuje do indikátora, kde sa zobrazí na tienidle obrazovky
- vzdialenosť objektu l sa určuje meraním času, ktorý uplynul medzi vysielaním a príjmom impulzu elektromagnetického vlnenia, pričom $l = \frac{c \cdot t}{2}$
- používa sa pri navigácii, na vojenské účely, na výskum, ...

Maxwellova teória elektromagnetického poľa

- zmenou magnetického poľa sa vyvolávajú elektrické účinky ($U_i = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$), zmenou elektrického poľa sa zase vyvolávajú magnetické účinky \Rightarrow elektrické a magnetické polia sú symetrické
- obyčajné elektrické pole má neuzavreté silové čiary, ale keď ho indukujeme zmenou magnetického poľa, má uzavreté silové čiary \Rightarrow môže prenikať aj do vákua alebo dielektrika:
 - na obr. a) je elektrický obvod so zdrojom, ktorým prechádza jednosmerný prúd $I_V = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$
 - keď do tohto obvodu vložíme kondenzátor, prúd prestane obvodom prechádzať (obr. b)), pričom napätie na kondenzátore je $U = \frac{Q}{C} = \frac{Q \cdot d}{\epsilon \cdot S}$ a intenzita elektrického poľa je $E = \frac{U}{d} = \frac{Q}{\epsilon \cdot S}$
 - v prípade c) sa Maxwellov prúd $I_M = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$ v elektrickom obvode indukuje premenlivým magnetickým poľom s indukciou \vec{B}
 - keď do takéhoto obvodu pripojíme kondenzátor (obr. d)), prúd bude obvodom naďalej prechádzať, lebo je to indukovaný prúd (\Rightarrow Maxwellov prúd dielektrikom prechádza)
- nová veličina – elektrický intenzitný tok (ekvivalent magnetického indukčného toku $\phi = B \cdot S$): $N = E \cdot S = \frac{Q}{\epsilon}$



- Zákon celkového prúdu (Maxwellov zákon):
 - Celkový prúd ohraničený uzavretou krivkou sa rovná súčtu vodivého prúdu I_V a Maxwellovho prúdu I_M . I_M vzniká len v premenlivom magnetickom poli. Pri každej zmene elektrického poľa vzniká premenlivé magnetické pole, ktorého vektor magnetickej indukcie je kolmý na vektor intenzity elektrického poľa ($\vec{B} \perp \vec{E}$).
 - $\text{rot. } \vec{H} = i + \frac{\delta \vec{D}}{\delta t}$
- Zákon celkového napätia (Faradayov zákon):
 - Celkové napätie pozdĺž uzavretej krivky sa rovná súčtu indukovaného napätia U_i a elektromotorického napätia zdroja. U_i vzniká len v premenlivom magnetickom poli. Pri každej zmene magnetického poľa vzniká premenlivé elektrické pole, ktorého vektor intenzity elektrického poľa je kolmý na vektor magnetickej indukcie ($\vec{E} \perp \vec{B}$).

- $\text{rot. } \vec{E} = \frac{\delta \vec{B}}{\delta t}$
- Veta o elektrickom intenzitnom toku (Gaussova veta):
 - Elektrický intenzitný tok uzavretou plochou je priamo úmerný náboju uzavretému vo vnútri plochy. To znamená, že elektrické siločiarly sú neuzavreté krivky len v poli tvorenom nábojmi.
 - $\text{div. } \vec{D} = \rho^*$
- Veta o magnetickom indukčnom toku:
 - Magnetický indukčný tok, ktorý vystupuje z uzavretej plochy je vždy rovnako veľký ako magnetický indukčný tok, ktorý do uzavretej plochy vstupuje. Celkový magnetický indukčný tok uzavretou plochou je rovný nule.
 - $\text{div. } \vec{B} = 0$

Interakcie

- poznáme štyri druhy interakcií: gravitačné, elektromagnetické, slabé a silné
- gravitačné:
 - sú vždy príťažlivé
 - pôsobia medzi všetkými telesami, avšak sú veľmi slabé, a preto sa prakticky uplatňujú iba pri obrovských objektoch (planéty, hviezdy, ...)
 - gravitačná sila je priamo úmerná hmotnosti oboch objektov a nepriamo úmerná druhej mocnine ich vzdialenosti
 - $F_g = \chi \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$
- elektromagnetické:
 - elektrická sila pôsobí medzi dvoma telesami s nábojom: $F_e = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$ $\left(k = \frac{1}{4\pi\epsilon}\right)$
 - magnetická sila pôsobí medzi dvoma zmagnetizovanými telesami: $F_m = k \cdot \frac{I_1 \cdot I_2 \cdot l}{d}$ $\left(k = \frac{\mu}{2\pi}\right)$
- slabé – prirodzené a umelé – napr. medzi α -, β - a γ -časticami
- silné – jadrové sily, pôsobia iba na maličké vzdialenosti, ale sú proti elektrostatickým obrovské

KONIEC