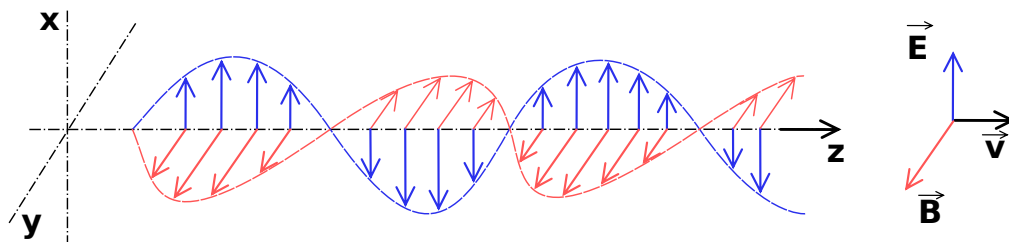


Obsah

22 Elektromagnetické vlnění	1
22.1 Maxwellova teorie	1
22.1.1 První Maxwellova rovnice	1
22.1.2 Druhá Maxwellova rovnice	1
22.1.3 Třetí Maxwellova rovnice	2
22.1.4 Čtvrtá Maxwellova rovnice	2
22.2 Elektromagnetický oscilátor	2
22.2.1 Nejjednodušší oscilátor	2
22.3 Vlastnosti elektrického vlnění	3
22.3.1 Parametry elmag. vlny	4
22.4 Vlastní a nucené kmitání elmag. vln	4
22.4.1 Vlastní kmitání	4
22.4.2 Nucené kmitání	4
22.5 Elektromagnetický dipól	4
22.6 Šíření elektromagnetických vln	5
22.6.1 Typy elektrických vln	5

22 Elektromagnetické vlnění

- šíření elektrického a magnetického pole prostorem
- oscilující elektrické a magnetické pole
- vlnoplocha z bodového zdroje – koule
- emitovány částicemi s nábojem při zrychlení



Obr. 22.1: Šíření elektrického a magnetického pole

22.1 Maxwellova teorie

- definována Jamesem Clerkem Maxwellem
- zkompletoval a doplnil známe rovnice o elektrickém a magnetickém poli
- došel k závěru, že světlo jsou elmag. vlny
- obecné vyjádření elektromagnetického pole – jednoznačné vyjádření z proudu a náboje
- rozšíření informací: https://fykos.cz/_media/rocnik23/ulohy/pdf/serie23_4.pdf

22.1.1 První Maxwellova rovnice

- diferenciální tvar

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

– $\nabla \cdot$ – divergence (skalár vyjadřující tok vektorového pole), kdy

$$\nabla = \left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right) \Rightarrow \nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z}$$

- ρ – hustota náboje
- ε_0 – permitivita vakua
- význam: jestliže se v prostoru nachází náboj ($\rho \neq 0$), potom je přítomno nenulové elektrické pole
- „elektrické pole vzniká v nábojích“

22.1.2 Druhá Maxwellova rovnice

- diferenciální tvar

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

- neexistují magnetické náboje
- magnetické pole nemá na rozdíl od elektrického žádná místa v prostoru, kde by vznikalo nebo zanikalo

22.1.3 Třetí Maxwellova rovnice

- diferenciální tvar

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

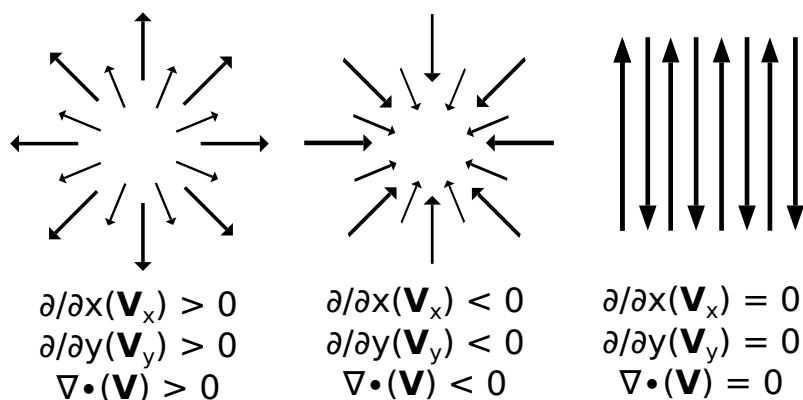
- $\nabla \times$ – rotace
- zákon elektromagnetické indukce
- parafráze Faradayova zákona
- „jestliže se někde mění magnetické pole v čase, vzniká elektrické“

22.1.4 Čtvrtá Maxwellova rovnice

- diferenciální tvar

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{j} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$

- \mathbf{j} – vektor hustoty proudu
- μ_0 – permeabilita vakua
- „pokud někde teče proud nebo se mění magnetické pole, vznikne kolem něj magnetické pole“



Obr. 22.2: Vizualizace divergence

22.2 Elektromagnetický oscilátor

- elektrický obvod generující elektromagnetické vlnění
- přeměna elektrické energie na energii magnetickou a naopak

22.2.1 Nejjednodušší oscilátor

- LC obvod (L – indukčnost – cívka, C – kapacita – kondenzátor)
- dochází k rezonanci na rezonanční frekvenci

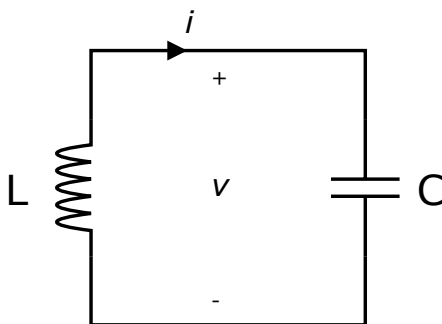
$$X_L = X_C$$

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

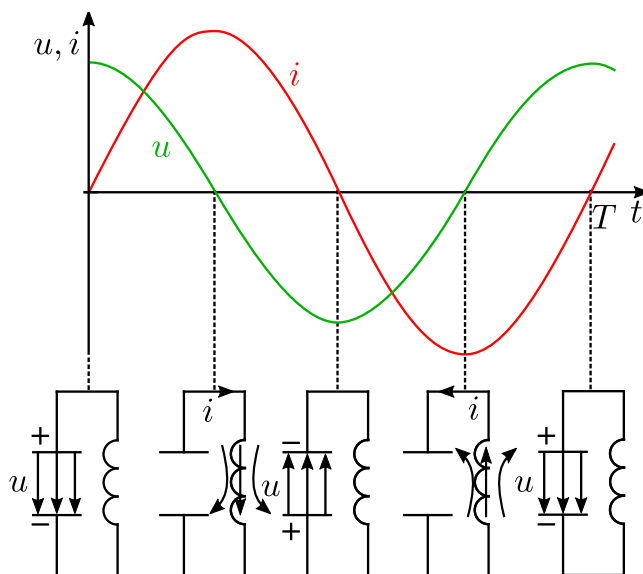
$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

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

- iniciace LC oscilátoru – nabití kondenzátoru
- průběh
 - $t = 0$ – nabitý kondenzátor, začíná se vybíjet
 - zvýšení proudu procházející cívku, tvorba mag. pole – přeměna el. pole na mag. pole
 - $t = T/4$ – kondenzátor vybit, $I = I_{\max}$, všechna energie v mag. poli
 - zmenšování proudu \rightarrow indukování napětí, procházení indukovaného proudu \rightarrow nabíjení kondenzátoru
 - $t = T/2$ – kondenzátor nabit, ovšem s opačnou polaritou
 - opakování popsaného děje v druhé polovině periody s opačnou polaritou



Obr. 22.3: Nákres LC obvodu



Obr. 22.4: Průběh oscilace LC obvodu

22.3 Vlastnosti elektrického vlnění

- neoddělitelné oscilující elektrické a magnetické pole
- elektrické a magnetického pole navzájem kolmé, společně se směrem pohybu
- příčné vlnění
- vlny
 - postupná vlna – souhlasné váze \mathbf{E} a \mathbf{B}
 - stojatá vlna – fáze \mathbf{E} a \mathbf{B} posunuty o $\pi/2$
- platí zákony odrazu a ohybu
 - rozměry překážky $\leq \lambda \rightarrow$ ohyb
 - rozměry překážky $> \lambda \rightarrow$ za překážkou stín
- rychlost šíření
 - ve vakuu – pohyb rychlostí světla $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
 - v prostředí

$$v = \frac{c}{\varepsilon_r \mu_r}$$

* ε_r, μ_r – relativní permitivita a permeabilita prostředí

22.3.1 Parametry elmag. vlny

- vlnová délka $\lambda, [\lambda] = \text{m}$
 - vzdálenost, kterou vlna urazí za jednu periodu / délka jedné periody
- perioda $T, [T] = \text{s}$
 - doba jedné periody
- frekvence $f, [f] = \text{Hz} = \text{s}^{-1}$
 - počet period za jednu sekundu

$$f = \frac{1}{T}$$

- rychlost šíření $v, [v] = \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

- úhlová frekvence $\omega, [\omega] = \text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$
 - rychlost kmitání vlny vyjádřeno jako úhlová rychlost

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

- okamžité elektrické a magnetické pole

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_{\max} \sin \omega t$$

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_{\max} \sin \omega t$$

22.4 Vlastní a nucené kmitání elmag. vln

22.4.1 Vlastní kmitání

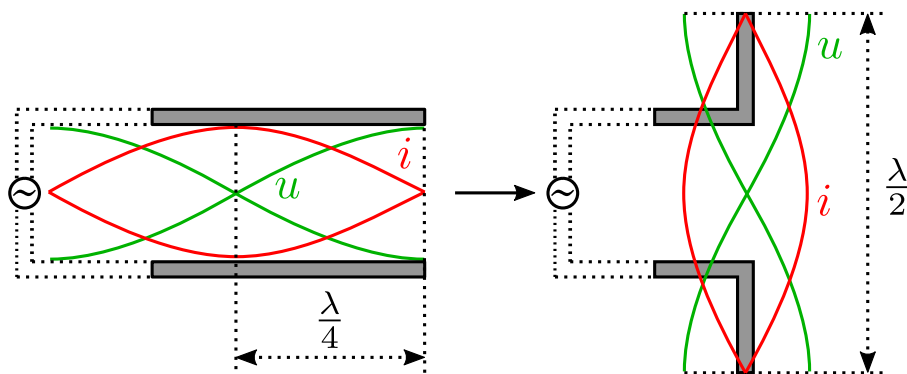
- kmitání soustavy bez vnějšího zásahu
- po prvotním nabití a odpoje LC obvod kmitá vlastním kmitáním
- ztráty energie \rightarrow tlumené
 - soustava po čase kmitat přestane
- oscilace pouze vlastní frekvencí

22.4.2 Nucené kmitání

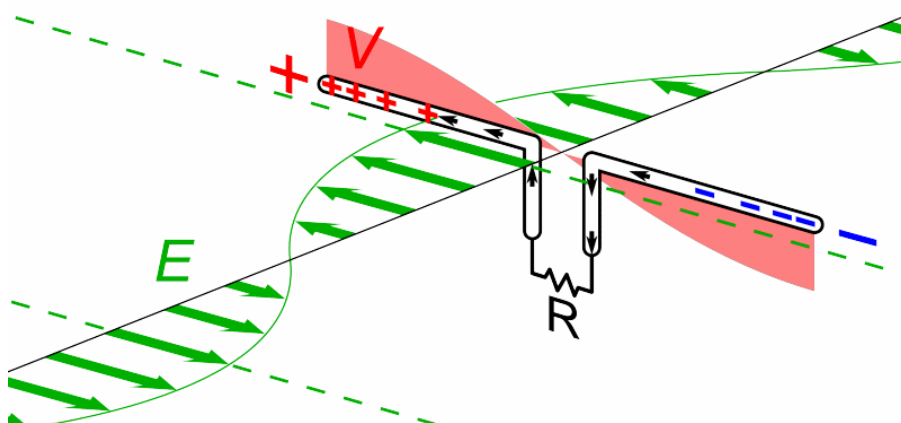
- kmitání soustavy s vnějším zásahem
- dodávání síly/energie do systému
- kompenzace ztrát energie
- netlumené harmonické kmitání
- oscilace s frekvencí vnějšího působení

22.5 Elektromagnetický dipól

- zařízení se dvěma konci, na kterých se nachází opačný náboj o stejné velikosti
- rozevření konců rovnoběžných vodičů o délce $\lambda/4$ do směru kolmého vedení \rightarrow půlvlnový dipól
- periodické dosažení maxima napětí na koncích vodiče \rightarrow vznik elektrického pole
- vytváření elektromagnetického pole
 - elektrické siločáry v rovině dipólu
 - magnetické indukční vlny – soustředné kružnice v rovině kolmé dipólu
- využití – antény
 - vysílač – vyzařování vlnění do okolí, většina energie vyzařována ve směru kolmém k ose energie
 - přijímač – vznik nuceného kmitání, příjem signálu



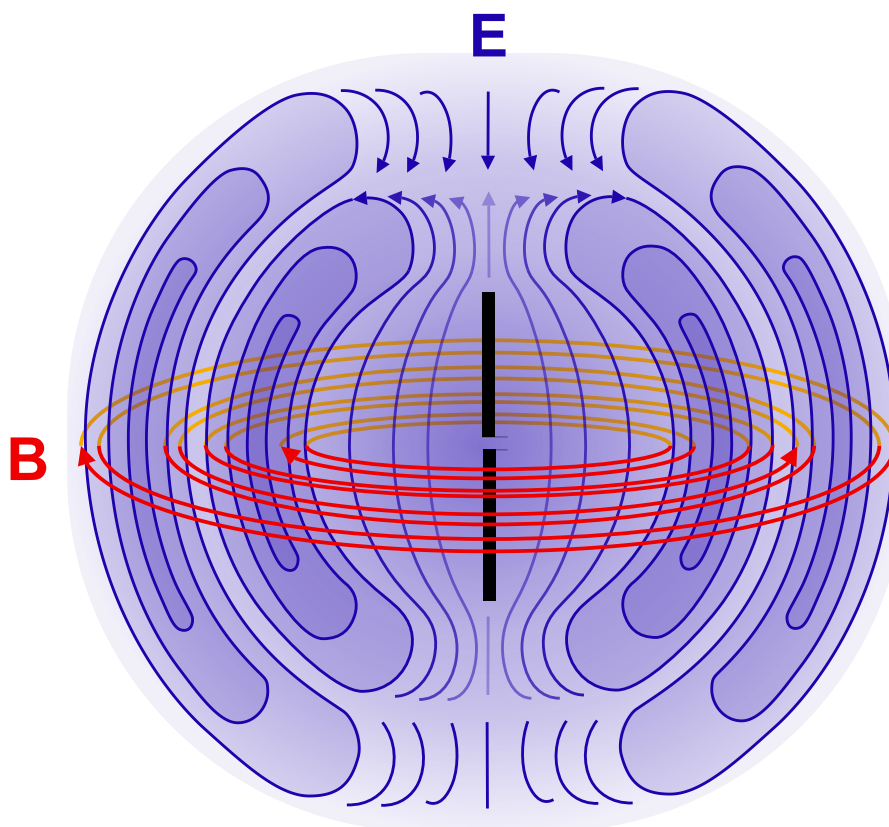
Obr. 22.5: Vytvoření elektrického půlvlnového dipólu



Obr. 22.6: Půlvlnový dipól jako anténa

22.6 Šíření elektromagnetických vln

- závislé na frekvenci / vlnové délce
- ohyb podél zemského povrchu
 - šíření přes velké překážky



Obr. 22.7: Elektrické a magnetické pole dipólu

- dlouhé a střední vlny
- velmi krátké vlny (rozhlas, televize) – nutná zachovat přímou cestu k vysílači
- ionosféra (60 km – 80 km)
 - volné elektrony a ionty – vodivá pro elmag. vlny
 - odrazení některých krátkých vln
 - proměnlivé vlastnosti
- radiolokace – systémy sledující přímočaré šíření
 - radar – určování poloha rádiem (0,01 m – 0,5 m)
- šíření vedením – sériové zapojení LC obvodů

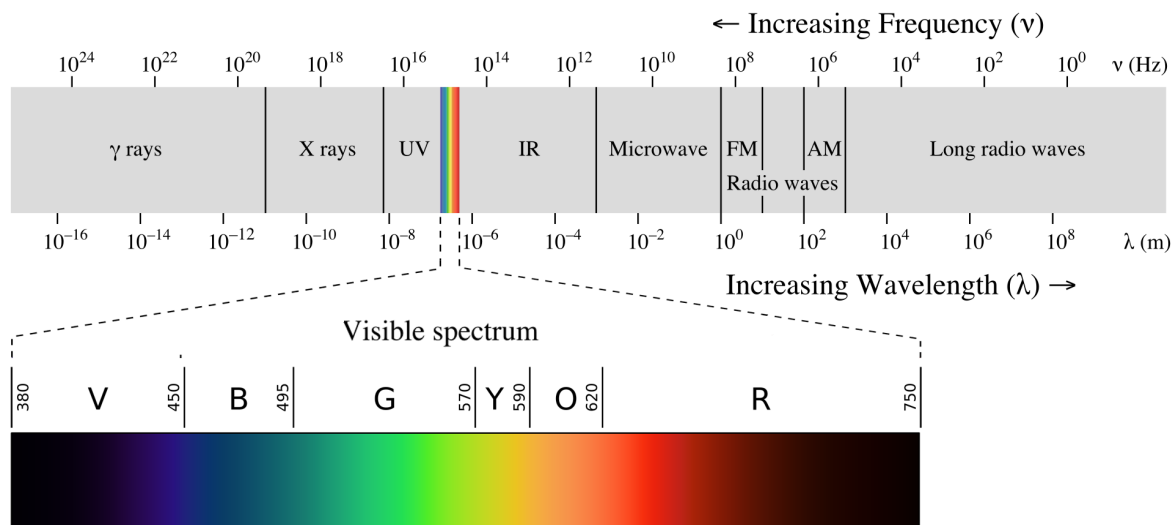
22.6.1 Typy elektrických vln

- gamma záření – γ
- rentgenové záření
 - HX = Hard X-rays
 - SX = Soft X-Rays
- ultrafialové
 - EUV = Extreme-ultraviolet
 - NUV = Near-ultraviolet
- viditelné světlo
- infračervené
 - NIR = Near-infrared
 - MIR = Mid-infrared
 - FIR = Far-infrared
- mikrovlny
 - EHF = Extremely high frequency (microwaves)
 - SHF = Super-high frequency (microwaves)
- rádiové vlny

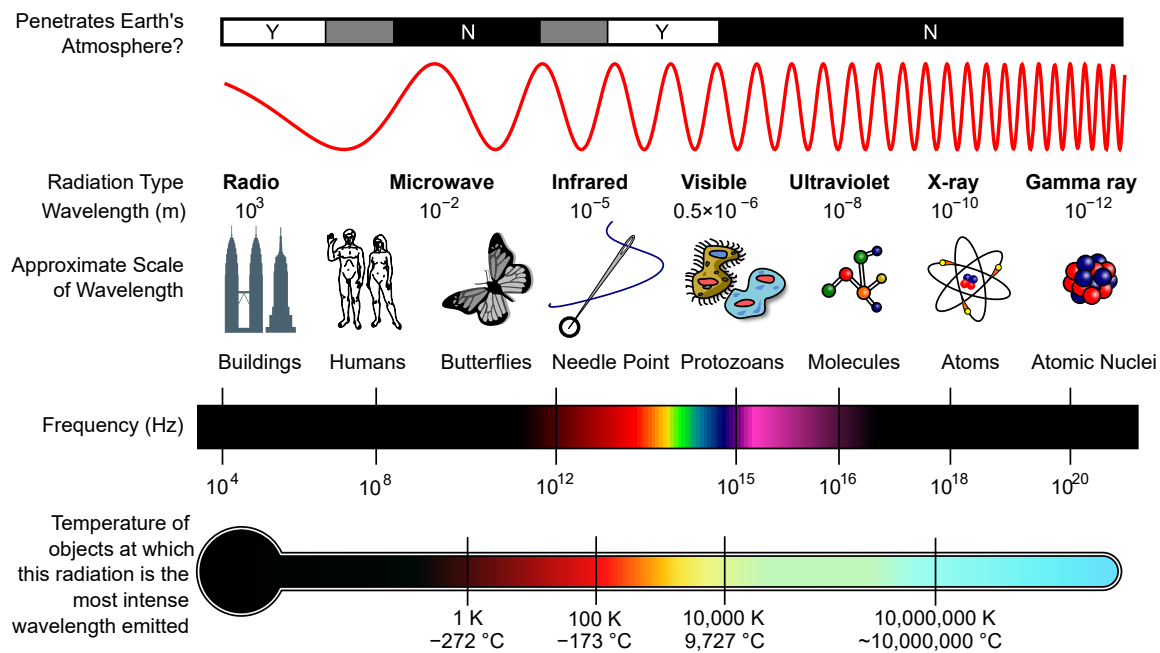
- UHF = Ultrahigh frequency (radio waves)
- VHF = Very high frequency (radio)
- HF = High frequency (radio)
- MF = Medium frequency (radio)
- LF = Low frequency (radio)
- VLF = Very low frequency (radio)
- VF = Voice frequency
- ULF = Ultra-low frequency (radio)
- SLF = Super-low frequency (radio)
- ELF = Extremely low frequency (radio)

CLASS	FREQUENCY	WAVELENGTH	ENERGY
Y	300 EHz	1 pm	1.24 MeV
HX	30 EHz	10 pm	124 keV
	3 EHz	100 pm	12.4 keV
SX	300 PHz	1 nm	1.24 keV
	30 PHz	10 nm	124 eV
EUV	3 PHz	100 nm	12.4 eV
NUV	300 THz	1 μm	1.24 eV
NIR	30 THz	10 μm	124 meV
MIR	3 THz	100 μm	12.4 meV
FIR	300 GHz	1 mm	1.24 meV
EHF	30 GHz	1 cm	124 μeV
SHF	3 GHz	1 dm	12.4 μeV
UHF	300 MHz	1 m	1.24 μeV
VHF	30 MHz	10 m	124 neV
HF	3 MHz	100 m	12.4 neV
MF	300 kHz	1 km	1.24 neV
LF	30 kHz	10 km	124 peV
VLF	3 kHz	100 km	12.4 peV
VF/ULF	300 Hz	1 Mm	1.24 peV
SLF	30 Hz	10 Mm	124 feV
ELF	3 Hz	100 Mm	12.4 feV

Obr. 22.8: Frekvence, vlnové délky a energie jednotlivých záření



Obr. 22.9: Elektromagnetické spektrum



Obr. 22.10: Porovnání velikostí elektromagnetických vln