Vznik elektromagnetického vlnění

Tak jako mechanický oscilátor je zdrojem mechanického vlnění (např. kmitající struna je zdrojem zvuku, ...), je i elektromagnetický oscilátor zdrojem elektromagnetického vlnění.

Např. v rozhlasovém vysílači kmitá oscilátor, který je zdrojem elektromagnetického vlnění vyzařovaného anténou; elektrická jiskra nebo atom je zdrojem určitého druhu elektromagnetického vlnění, které vnímáme jako světlo; ...

Základní poznatky o elektromagnetickém vlnění jsou důležité nejen pro pochopení funkce zařízení používaných ve sdělovací technice, ale i jako základ optiky a dějů probíhajících v atomech.

Světlo, kterým se zabývá optika, není nic jiného než elektromagnetické vlnění v určitém rozsahu vlnových délek resp. frekvencí.

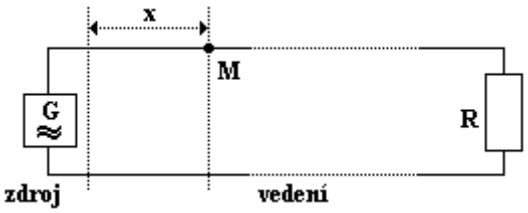
Kmitá-li elektromagnetický oscilátor, probíhají v něm periodické změny energie, která ale nepřechází do okolí oscilátoru (stále se udržuje např. v oscilačním obvodu). V praxi je ale nutné energii z oscilátoru přenášet.

Např. ze zdroje střídavého napětí o frekvenci $50\,\mathrm{Hz}$ přenášíme energii dvěma vodiči ke spotřebiči, přičemž mezi vodiči spojujícími zdroj a spotřebič je v každém okamžiku ve všech bodech vedení stejné napětí; ... Jiný průběh bude mít přenos energie ze zdroje ke spotřebiči v případě, že oscilátor kmitá s vysokou frekvencí.

Uvažujme zdroj harmonického napětí vysoké frekvence, který je spojen se spotřebičem dvouvodičovým vedením (viz obr. 257).

Nejdříve je ale nutné uvědomit si jednu základní skutečnost: změny napětí na začátku vedení dospějí na jeho konec (ke spotřebiči) s jistým zpožděním. Přenos energie probíhá sice velkou, ale přece jen konečnou rychlostí. Anglický fyzik James Clerk Maxwell (1831 - 1879) dospěl ve druhé polovině 19. století k závěru, že elektromagnetický rozruch se šíří stejnou rychlostí jako světlo. Ve vakuu je velikost rychlosti elektromagnetického vlnění $c = 2{,}997923.10^8\ \mathrm{m.s^{-1}} \doteq 3.10^8\ \mathrm{m.s^{-1}}$.

Pro velikost rychlosti světla ve vakuu platí: $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$.



Obr. 257

Při velké frekvenci zdroje napětí bude napětí mezi vodiči dvoužilového vedení záviset nejen na čase, ale také na vzdálenosti od zdroje. Jestliže pro okamžité napětí zdroje platí vztah $u = U_\mathrm{m} \sin \omega t$, pak v bodě *M* ve vzdálenosti *x* od zdroje (obr. 257) bude určité okamžité napětí později o dobu $\tau = \frac{x}{c}$.

Pro napětí mezi vodiči v bodě *M* tedy dostáváme: $u = U_\mathrm{m} \sin \omega (t - \tau) = U_\mathrm{m} \sin \frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{x}{c}\right) = U_\mathrm{m} \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$.

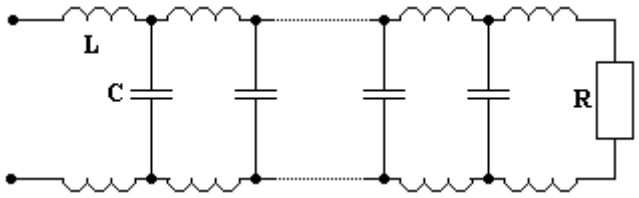
Za periodu T dospěje vlnění do vzdálenosti λ, kterou nazýváme **vlnová délka elektromagnetického vlnění** $\lambda = cT = \frac{c}{f}$, kde *f* je frekvence kmitání oscilátoru.

Analogickou rovnicí je popsáno i mechanické vlnění (např. v pružném vlákně). Vlákno bylo možné považovat za řadu elementárních oscilátorů spojených vzájemně pružinami, kterými se

energie přenáší z jednoho oscilátoru na druhý. Podobná analogie funguje i zde.

Dvouvodičové vedení lze považovat za řadu vzájemně spojených obvodů *LC* (viz obr. 258). Indukčnost představují jednotlivé části vodiče a kapacita je dána jejich vzájemnou vzdáleností resp. prostředím mezi nimi. Oba parametry *L* i *C* jsou tedy rovnoměrně rozděleny podél celého vedení, které tvoří jednorozměrnou soustavu s rozestřenými parametry.

Velkou rychlostí šíření elektromagnetického vlnění je možné vysvětlit, proč při frekvenci $50\,\mathrm{Hz}$ je mezi vodiči vedení od zdroje ke spotřebiči všude stejné napětí. Uvažovanému ději odpovídá vlnová délka $\lambda = \frac{c}{f} = 6.10^6\ \mathrm{m} = 6000\ \mathrm{km}$. Rozměry celého obvodu je tedy možné vzhledem k vlnové délce zanedbat a děje ve vedení mají ráz kmitání.



Obr. 258

Jinými slovy při malých frekvencích napětí a přenášeného proudu se celý obvod chová pouze jako oscilátor; velikost rychlosti šíření vlnění lze považovat za „nekonečnou“. S rostoucí frekvencí se projevuje jeho vlnový charakter a je nutné vzít v úvahu konečnou rychlosti šíření vlny.

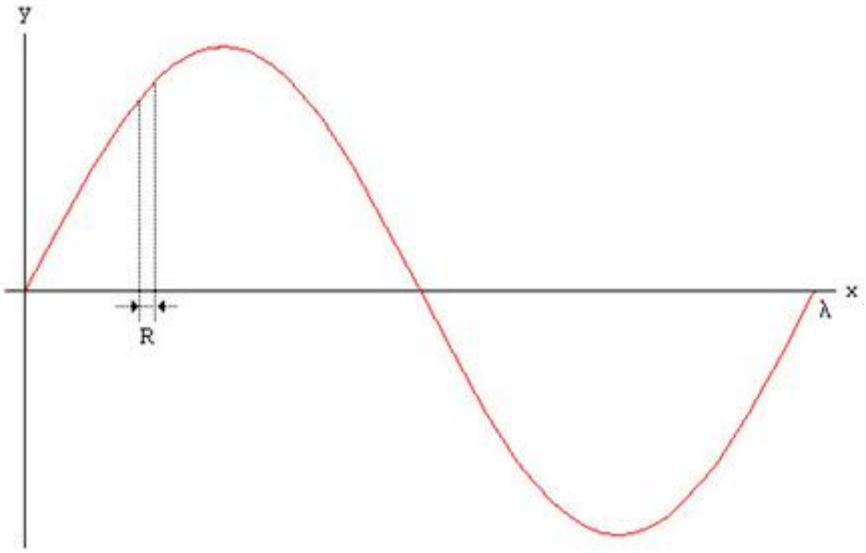
Toto zanedbání je možné provést vždy, když v rovnici postupné vlny je $\frac{t}{T} \gg \frac{x}{\lambda}$.

Právě uvedená podmínka nesouvisí jenom s matematickým výpočtem vyplývajícím z rovnice vlny, ale má i svůj fyzikální význam. Vlnová délka vlnění je dána vztahem $\lambda = cT$. Při vyšetřování šíření vlny na vzdálenosti řádově *R*, pro kterou platí $R = ct$, je možné zanedbat její vlnový charakter, pokud je splněno $R \ll \lambda$ (viz obr. 259). To znamená, že za čas *t* dojde k velmi malé změně sledované veličiny (výchylka, napětí, proud, ...).

Podmínku $R \ll \lambda$ lze přepsat ve tvaru $ct \ll cT$, tj. $t \ll T$.

Lze též uvažovat tak, že velikost rychlosti *v* změny ve sledovaném časovém úseku *t* je zanedbatelná vzhledem k velikosti rychlosti *c* šíření vlny. Takže lze psát $v \ll c$ a po dosazení $\frac{R}{t} \ll \frac{\lambda}{T}$. Po úpravě dostaneme $\frac{R}{\lambda} \ll \frac{t}{T}$, což je tatáž podmínka, která byla uvedena jako první.

Všechny tři uvedené podmínky jsou fyzikálně ekvivalentní. Pokud budou splněny, vlnový charakter sledovaného děje se neprojevuje a tento děj lze tedy považovat za kmitání.



Obr. 259

Za těchto podmínek přehází rovnice ve vztah pro kmitání $u = U_m \sin \omega t$ a vlnový ráz uvažovaného děje se neprojevuje. Jako vlnění tedy chápeme děj v soustavách, jejichž rozměry jsou srovnatelné nebo větší, než je vlnová délka elektromagnetického vlnění.

© Encyklopedie Fyziky (http://fyzika.jreichl.com); Jaroslav Reichl, Martin Všetička
Licence http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/ zakazuje úpravy a komerční distribuci.