

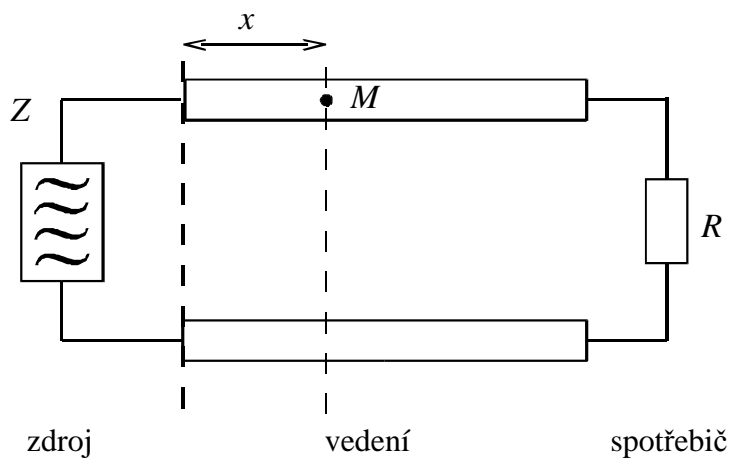
## Elektromagnetické vlnění

- v praxi jako např. rozhlasový a televizní signál, světlo
- zdrojem je elmag. oscilátor (vlastnosti oscilátoru, má i el. jiskra, atom apod.)

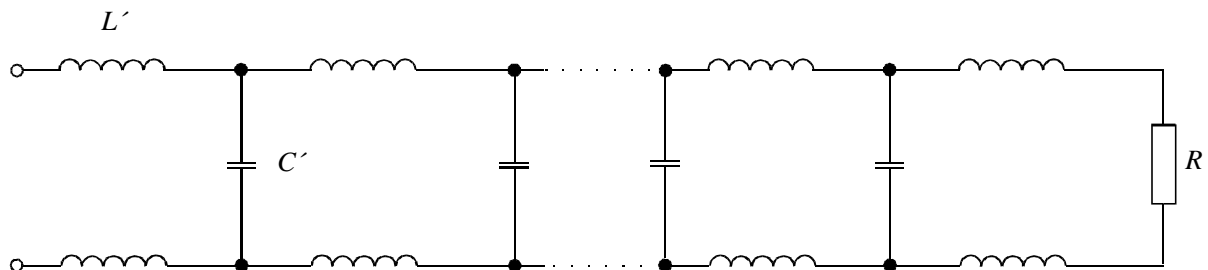
### Vznik elmag. vlnění

- elmag. vlnění - Děj, při kterém se přenáší energie od zdroje ke spotřebiči.
- Dosud námi zkoumané obvody stříd. proudu neměli vlastnost vlnění, ale jen kmitání (kvůli nízké  $f$ ).

Připojíme-li spotřebič vedením ke zdroji napětí vysoké frekvence, napětí zdroje se velmi rychle mění a napětí v jednotlivých bodech vedení je funkcí času a vzdálenosti  $x$  uvažovaného bodu  $M$  vedení od zdroje napětí:



Vedení můžeme přirovnat k pružnému vláknu, tj. k řadě oscilátorů spojených vazbou, díky které se šíří mechanické vlnění. Vedení tvořené dvěma vodiči si pak můžeme představit jako řadu elementárních oscilačních obvodů spojených vazbou. Jako u pružného vlákna je hmotnost a pružnost rovnoměrně rozestřena podél vlákna, tak i u vedení je rozestřena rovnoměrně jeho indukčnost a kapacita:



Vedení je pak soustava s rozestřenými parametry.

## FYZIKA – 2. ROČNÍK

Rozkmitáme-li první elementární oscilační obvod, postupně se rozkmitají další elem. oscil. obvody a vedením se šíří elektromagnetická vlna. V libovolném bodě  $M$  vedení ve vzdálenosti  $x$  od zdroje je mezi vodiči napětí:

$$u = U_m \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \quad \dots \text{rovnice postupné elmag. vlny}$$

$U_m$  – amplituda napětí  
 $T$  – perioda napětí  
 $\lambda$  – vlnová délka elmag. vlny

rychlost elmag. vlnění:  $c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$

Vlnová délka odpovídající frekvenci elektrovodné sítě (50 Hz):

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{50} \text{ m} = 6000 \text{ km}$$

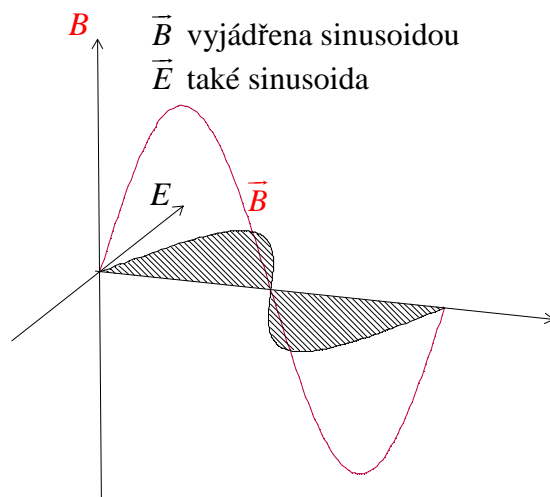
Výraz  $\frac{x}{\lambda}$  v rovnici pro elmag. vlnu je malý v porovnání s výrazem  $\frac{t}{T}$ . Děje v obvodech stříd. proudu jsou tedy jen kmitání. Přenos elmag. energie má ráz vlnění, je-li délka vedení  $\sim \lambda$  (vysoká  $f$ ), (sdělovací technika).

### Elektromagnetická vlna

Vysoká  $f \Rightarrow$  vlnění  $\Rightarrow$  v různých místech vedení různé napětí, různé rozložení náboje, různá intenzita el. pole mezi vodiči.

Na konci vedení odpor (spotřebič) – v rezistoru se spotřebuje všechna energie  $\Rightarrow i$  a  $u$  ve fázi

$\vec{B}$  největší tam, kde je v daném okamžiku největší  $i$   
 $\vec{E}$  největší tam, kde je v daném okamžiku největší  $u$



napětí a proud ve vedení - stejná fáze  $\Rightarrow$   
obě sinusoidy mají stejnou fázi

$\vec{E}$  a  $\vec{B}$  jsou navzájem kolmé, kolmé i na směr šíření vlny.

Při přenosu elektromagnetické energie vzniká mezi vodiči vedení časově proměnné silové pole, které má složku elektrickou a složku magnetickou a nazývá se elektromagnetické pole. Energie není přenášena vodiči, ale polem mezi vodiči. Tento děj má charakter vlnění.

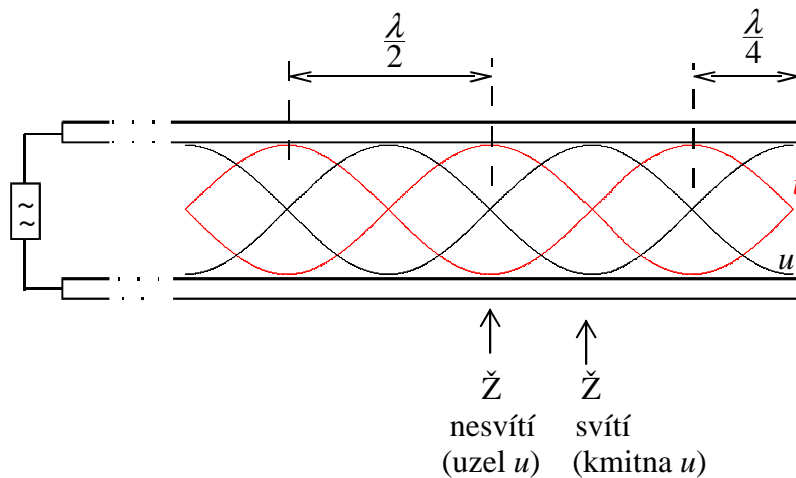
## Stojaté elektromagnetické vlnění

- odraz elmag. postupné vlny na konci vedení (např. vedení na konci  
rozpojeno –  $R \rightarrow \infty$  - vedení naprázdno)

Na konci:

$R \rightarrow \infty$   $u$  – stále maximální  $\Rightarrow$  kmitna

$i$  – stále nulové  $\Rightarrow$  uzel

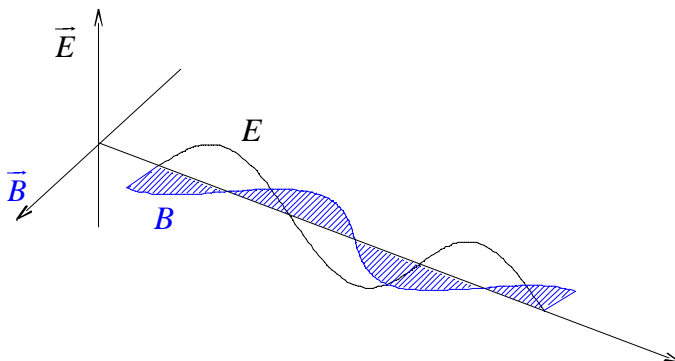


Vzdálenost nejbližších kmiten (uzlů) ...  $\frac{\lambda}{2}$

$i$  a  $u$  fázově posunuto o  $\frac{\pi}{2}$  ( $\frac{\lambda}{4}$ )

V okamžiku, kdy napětí má v kmitnách největší hodnotu, je proud v celém vedení roven nule. Veškerá energie elmag. vlny se přeměnila v energii el. pole. Naopak, když je proud v kmitnách největší, je podél celého vedení nulové napětí a energie elmag. vlny je soustředěna v mag. poli. Stojatým elmag. vlněním se energie nepřenáší, ale jen se mění z energie el. pole

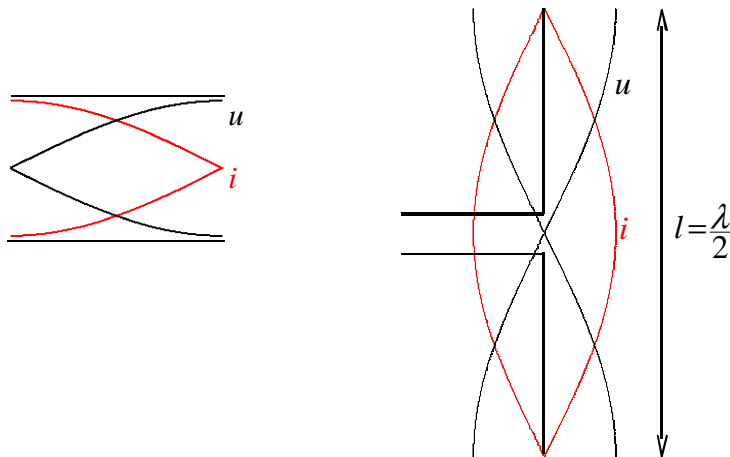
v energii mag. pole a naopak. Vektory  $\vec{E}$  a  $\vec{B}$  jsou časově proměnné a posunuté o  $\frac{\pi}{2}$  rad:



## Elektromagnetický dipól

Elmag. vlnění mezi dvěma vodiči je s nimi těsně spjato a jeho energie je převážně soustředěna mezi vodiči.

Vyzařování elmag. vlnění do prostoru umožňuje rozevření konců vedení a vznikne tak elektromagnetický dipól:



V praxi má dipól délku rovnou polovině délky vyzařovaného elmag. vlnění, nazývá se proto půlvlnný dipól.

Napětí a proud vytvářejí stojatou vlnu:

Napětí: uprostřed dipólu uzel  
na krajích dipólu kmitny

půlvlnný dipól - ANTÉNA

Proud: uprostřed dipólu kmitna  
na krajích dipólu uzly

anténa vysílače - vytváří elmag. pole

anténa přijímače - část energie elmag. pole pohltí

## Vlastnosti elmag. vlnění

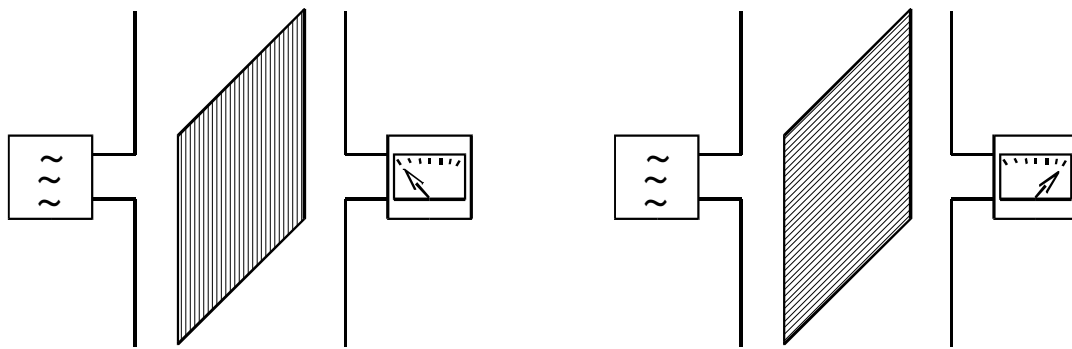
- 1) Elmag. vlna má dvě neoddělitelné složky:  $\vec{E}, \vec{B}$ ,  
v postupné vlně: ve fázi,  
ve stojaté vlně: posunuté o  $\frac{\pi}{2}$ .

2) Elmag. vlnění je příčné.

3) Elmag. vlnění vyzařované dipólem je lineárně polarizované.

Důkaz lineární polarizace elmag. vlnění:

Mříž z rovnoběžných vodičů



↑  
vodiče rovnoběžné s dipólem  
vlnění, vodiči je vlnění pohlceno

↑  
dipól kolmý na vodiče,  
vodiče vlnění nepohlí

4) Odráží se od vodivé překážky (nevodivými prochází, odráží se jen část)  
- skládá se postupující a odražená složka  $\Rightarrow$  stojatá vlna  
platí zákon odrazu

5) Ohyb na překážkách pokud rozměry překážky  $\sim \lambda$

6) Elmag. vlnění může interferovat:

$$\text{podmínka pro interferenční maximum: } \Delta l = 2k \cdot \frac{\lambda}{2}$$

$$\text{podmínka pro interferenční minimum: } \Delta l = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2} \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

7) Vliv prostředí na délku elmag. vlny:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}}$$

$$\text{- u vody } \epsilon_r = 81, \mu_r = 1 \Rightarrow v = \frac{c}{9}$$

$\lambda$  je 9× menší, proto musíme použít 9× kratší anténu.

## Šíření elmag. vlnění

Radiové vlny  $10 \text{ kHz} - 10^4 \text{ GHz}$   $\lambda = 30 \text{ km} - 0,03 \text{ mm}$

Dlouhé vlny	150 kHz – 300 kHz	2 km – 1 km
Střední vlny	500 kHz – 2 MHz	600 m – 150 m
Krátké vlny	6 MHz – 20 MHz	50 m – 15 m
Velmi krátké	20 MHz – 300 MHz	15 m – 1 m
Mikrovlny	300 Mhz – $10^7$ MHz	1 m – 0,03 mm

U dlouhých a středních vln - ohyb podél zemského povrchu

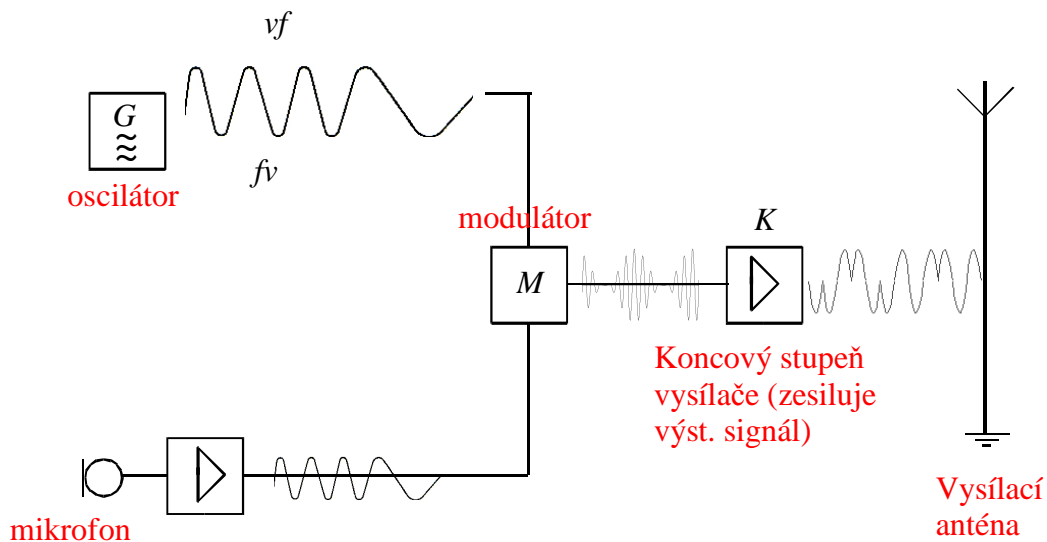
U VKV – požadavek přímé viditelnosti  
mezi vysílačem a přijímačem

U krátkých vln se využívá odraz od ionosféry (60 km - 80 km nad povrchem Země – chová se jako vodivá deska)

Radiolokátor – užívá VKV

## Vysílač

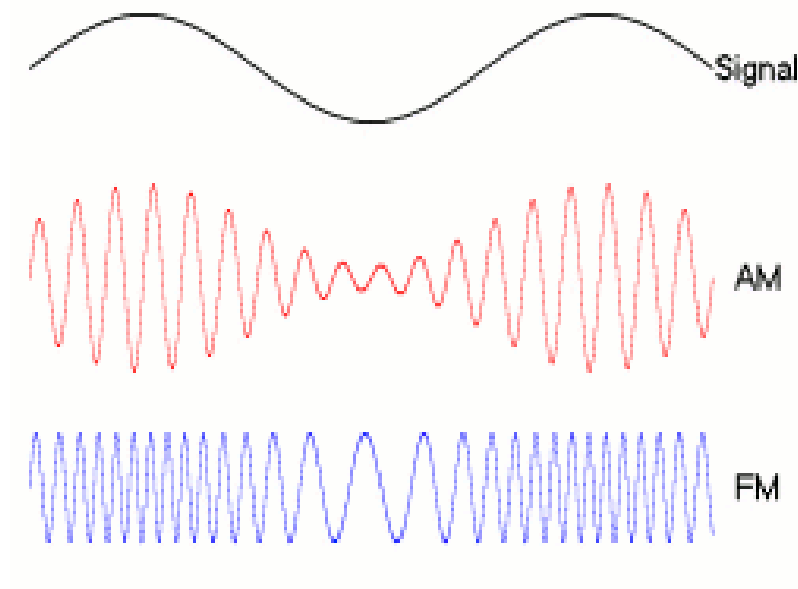
Oscilátor je zdrojem elmag. kmitů vysoké frekvence, která je nosnou frekvencí vysílače (tj. frekvence, na které se vysílá).



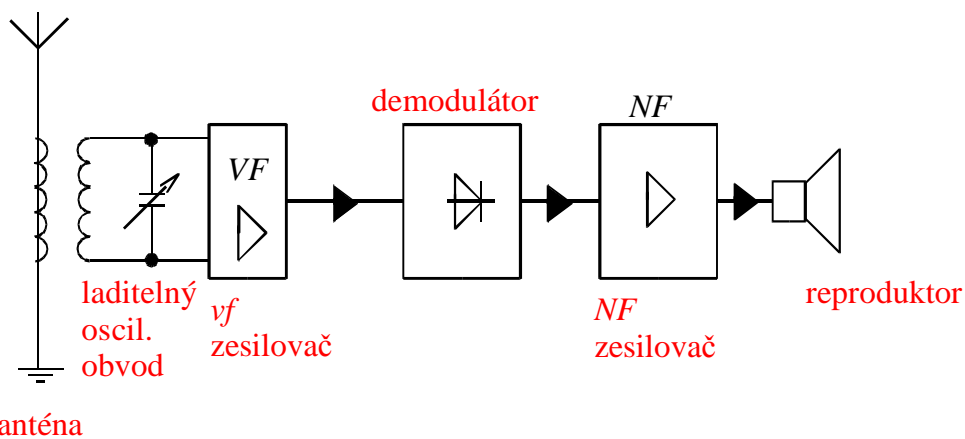
Modulátor – provede modulaci vysokofrekvenčního kmitání z oscilátoru vysílače akustickým signálem nízké frekvence (Signal) (z mikrofonu - zdroj informace).

– amplitudová modulace (AM) – mění se amplituda vysokofrekvenčních kmitů, viz obr.

– frekvenční modulace (FM) – mění se frekvence vysokofrekvenčního kmitání, viz obr.



## Přijímač



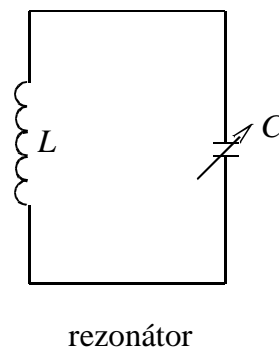
### Laditelný oscilační obvod

Slouží k naladění nosné frekvence vysílače a dochází pak k rezonančnímu zesílení přijatého signálu, který je pak zesílen vysokofrekvenčním zesilovačem (VF).

Laditelný oscil. obvod je LC obvod.  
Při ladění se mění jeho frekvence

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

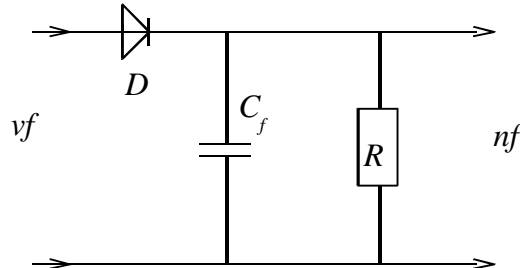
pomocí změn kapacity kondenzátoru nebo také možno měnit frekvenci změnou indukčnosti obvodu.



## FYZIKA – 2. ROČNÍK

V demodulátoru se oddělí nízkofrekvenční složka  $nf$  od vysokofrekvenční složky  $vf$ .  
K demulaci se použije polovodičová dioda, která vysokofrekvenční signál jednoduše usměrní. Filtrační kondenzátor  $C_f$  slouží ke zkratu vysokofrekvenční složky signálu. Rezistorem  $R$  demodulátoru pak prochází proud, jehož průběh odpovídá akustickému signálu.

Schéma demodulátoru:



V nízkofrekvenčním zesilovači  $NF$  dojde k zesílení odděleného nízkofrekvenčního signálu a ten jde pak do reproduktoru.

Přehled frekvenčních pásem :

vlny	dlouhé	střední	krátké	velmi krátké
zkratky	DV, LW	SV, MW	KV, SW, KW	VKV, FM, UKW
délka vlny	2000 – 1050 m	572 – 187 m	49 – 11 m	4,55 – 4, 11 m
kmitočet	150 – 285 kHz	525 – 1605 kHz	6 – 26 MHz člení se do osmi pásem	66 – 73 MHz (OIRT) - východ 88 – 104 MHz (CCIR)

Frekvence 40 MHz – 950 MHz (až na VKV) určena pro televizní pásma.