

11. ELEKTROMAGNETICKÉ KMITÁNÍ A VLNĚNÍ

Alternátory

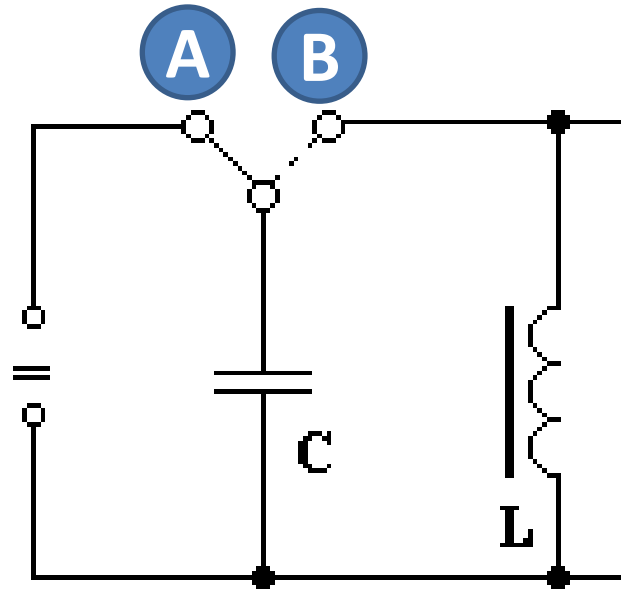
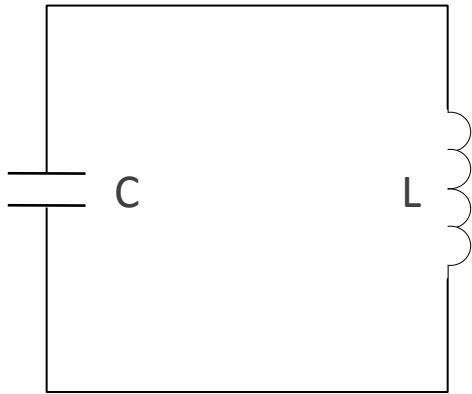
jsou v elektrárnách zdrojem střídavých proudů s harmonickým průběhem a nízkou frekvencí (50 Hz), které se využívají v energetice.

Zdrojem střídavých proudů jiných frekvencí, jsou různé typy oscilátorů.

Střídavé proudy a napětí pak označujeme jako elektromagnetické kmitání.

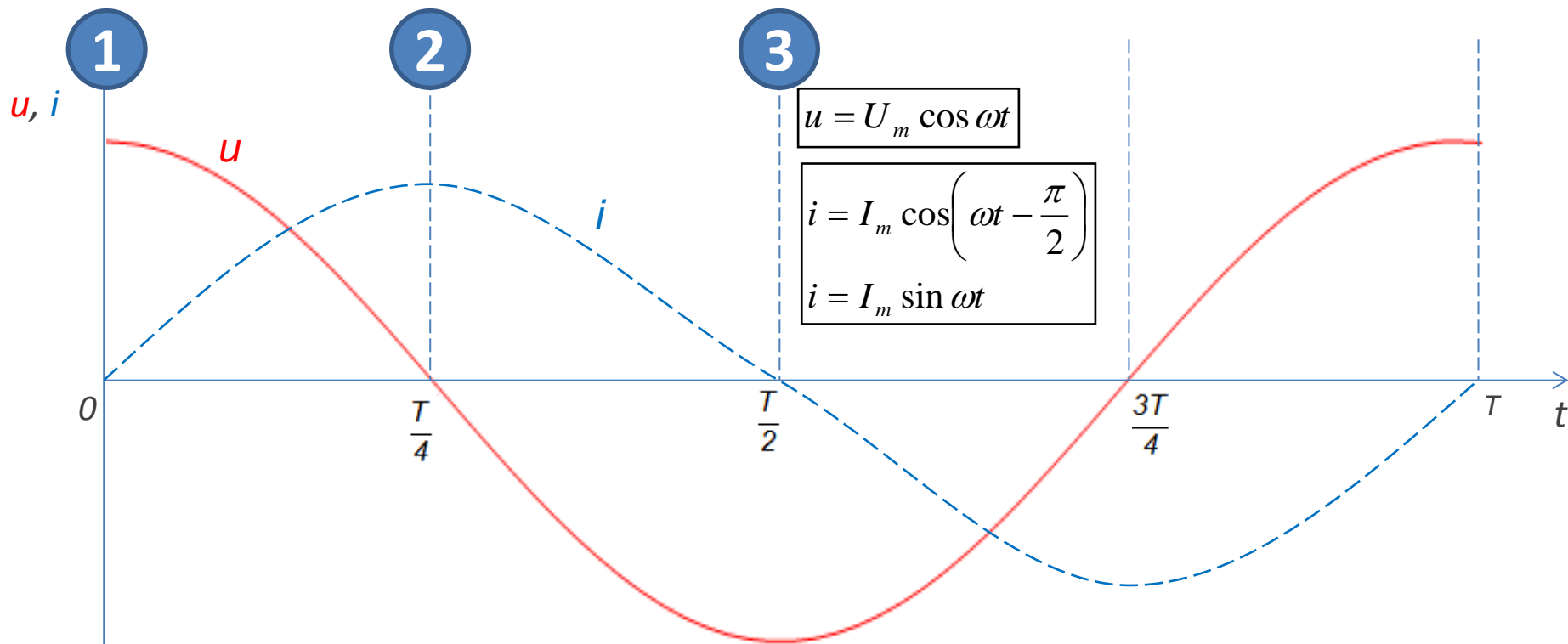
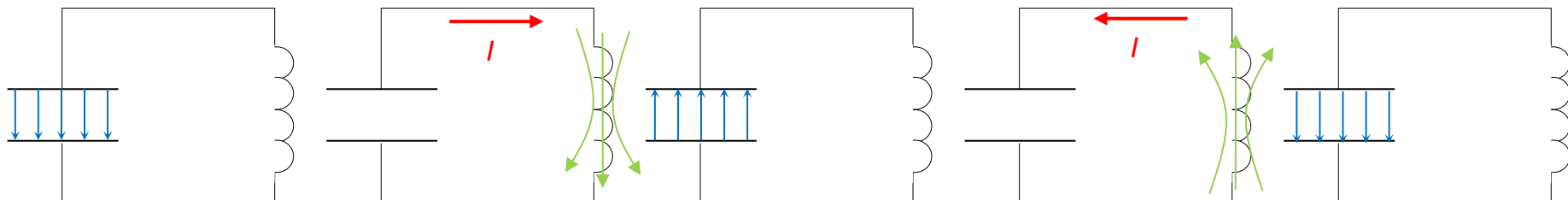
11. 1. ELEKTROMAGNETICKÝ OSCILÁTOR

- je obvod, ve kterém se periodicky mění energie **elektrického pole** v energii **magnetického pole** a naopak.
- je obvod, v němž jsou sériově zapojeny tzv. parametry oscilačního obvodu C a L



- A Kondenzátor nabijeme ze zdroje stejnosměrného napětí. Mezi deskami nabitého C je elektrické pole
- B Připojíme jej k cívce, oscilačním obvodem začne procházet proud.

Ve druhé polovině periody se popsaný děj opakuje.
 Směry proudů a pořadí polarit napětí kondenzátoru jsou ale opačné.



Časové diagramy napětí a proudu jsou posunuty o $T/4$, fázový rozdíl $\pi/2$.
 Při maximálním napětí v obvodu jím prochází minimální proud a naopak.

1. C je nabit.

1 - 2 C se vybíjí a energie elektrického pole se zmenšuje. Současně se zvětšuje I procházející L a kolem ní se vytváří magnetické pole.

Energie elektrického pole C se mění na energii magnetického pole L.

Kondenzátor se vybije za jednu čtvrtinu periody.

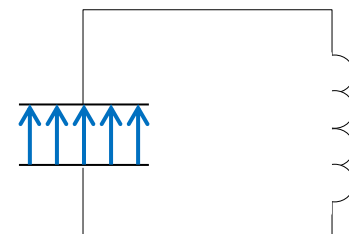
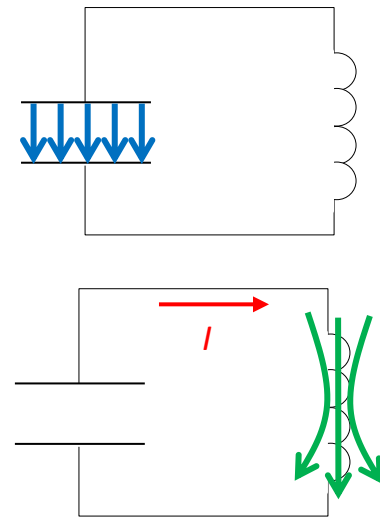
2. V tom okamžiku dosahuje proud maximální hodnoty a celková energie kmitání je dána energií magnetického pole. C je vybit.

2 - 3 Proud se začíná zmenšovat, což vede ke vzniku indukovaného napětí, obvodem prochází indukovaný proud a kondenzátor se opět nabíjí.

Přeměňuje se energie magnetického pole L na energii elektrického pole C.

3. C je nabit s opačnou polaritou než na začátku.

V okamžiku $T/2$ je ukončena přeměna magnetické energie v energii elektrickou.

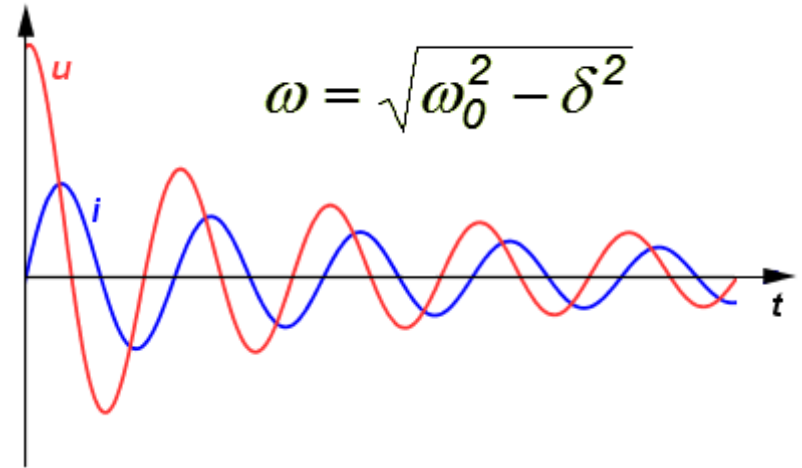


Elektromagnetické kmitání oscilačního obvodu je tlumené.

- Odpor skutečného oscilátoru není zanedbatelný.
- Amplitudy napětí i proudu se s časem zmenšují.
- Příčinou je odpor R oscilačního obvodu, na němž se převážně podílí odpor vinutí cívky \rightarrow teplo.
- Úhlová frekvence se vlivem tlumení zmenšuje.

δ – součinitel tlumení

$$\delta = \frac{R}{2L}$$



- Perioda se zvětšuje, frekvence tedy zmenšuje.
- $\omega_0 < \delta$ kondenzátor se postupně vybije, veškerá energie elektrického pole kondenzátoru se změní ve vnitřní energii vodičů
- $\omega_0^2 \gg \delta^2$ tlumení je zanedbatelné a kmitání oscilačního obvodu se jen málo liší od kmitání harmonického

Mechanický oscilátor**Elektromagnetický oscilátor**okamžitá
výchylka y okamžitý
náboj q

rychlost

 v

okamžitý proud

 i

hmotnost

 m

indukčnost

 L

tuhost pružiny

$$k = \frac{F}{y}$$

reciproká
hodnota kapacity

$$\frac{1}{C} = \frac{u}{q}$$

síla

 F

elektrické napětí

 u energie
potenciální

$$E_p = \frac{1}{2}ky^2$$

energie
elektrická

$$E_e = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} = \frac{1}{2}CU^2$$

energie
kinetická

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

energie
magnetická

$$E_m = \frac{1}{2}Li^2$$

11. 2. PERIODA KMITÁNÍ

- Můžeme-li zanedbat odpor oscilačního obvodu, je perioda jeho kmitání určena pouze parametry L a C.
- Kmitání tohoto obvodu se označuje jako **vlastní kmitání** oscilátoru.
- Obvod je uzavřený a elektromagnetické kmitání v něm vytváří střídavý proud I, který prochází jak C, tak L.
- Napětí na kondenzátoru je stejně velké jako napětí na cívce.

Thomsonův vztah pro

$$X_L = X_C$$

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$$

vlastní úhlovou frekvenci

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

vlastní periodu

$$T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$$

vlastní frekvenci

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

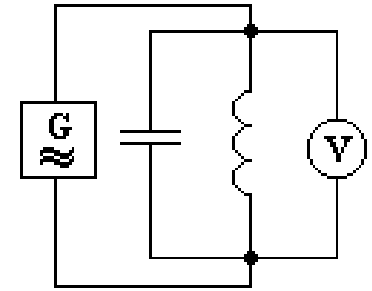
T i **f** závisí jen na parametrech L a C.

Nezávisí na podmínkách, za nichž bylo kmitání vzbuzeno.

Napětí na kondenzátoru určuje amplitudu U_m

11. 3. NUCENÉ KMITÁNÍ

- vzniká připojením elmg. oscilátoru ke zdroji harmonického napětí
- oscilátor kmitá s frekvencí připojeného zdroje f (ω)
ne s frekvencí vlastního kmitání f_0 (ω_0)

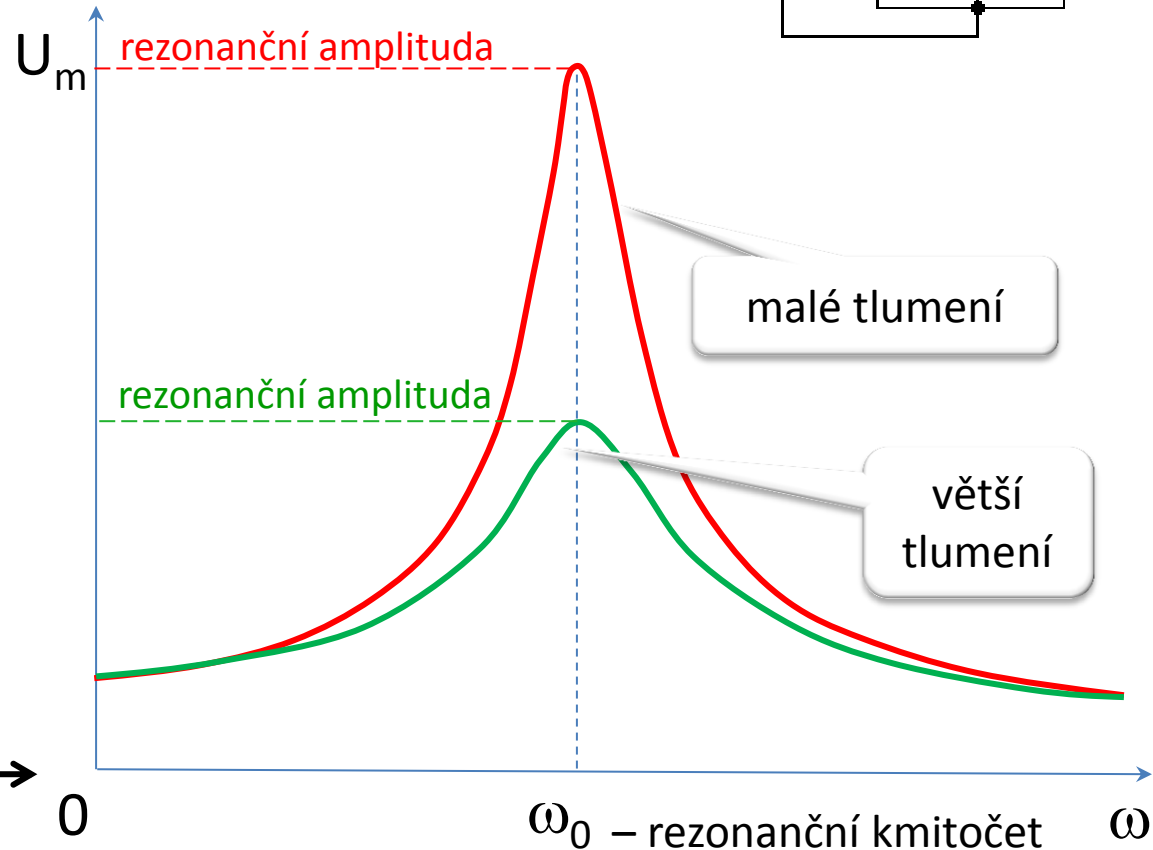


- nucené kmitání je netlumené
- dosahuje maximální amplitudy tehdy, když je frekvence nuceného kmitání rovna vlastní frekvenci oscilačního obvodu

$$\omega_0 = \omega$$

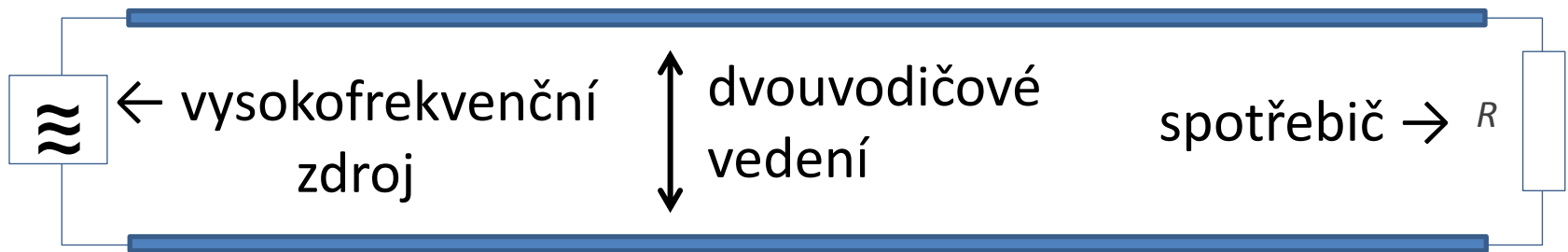
- nastává rezonance elmg. oscilátoru

- **rezonanční křivka** →

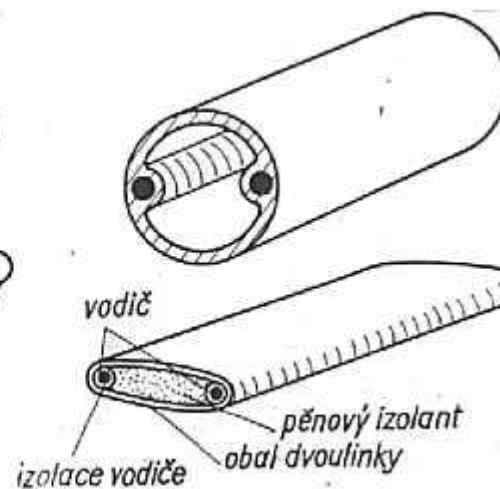
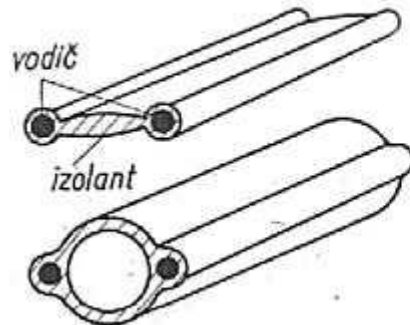


11.4. ELEKTROMAGNETICKÉ VLNĚNÍ

- Elektromagnetický oscilátor je zdrojem elektromagnetického vlnění.
- Energie elmg. oscilátoru nepřechází do okolí.
- Abychom ji mohli přenášet ke spotřebiči, potřebujeme dva vodiče.

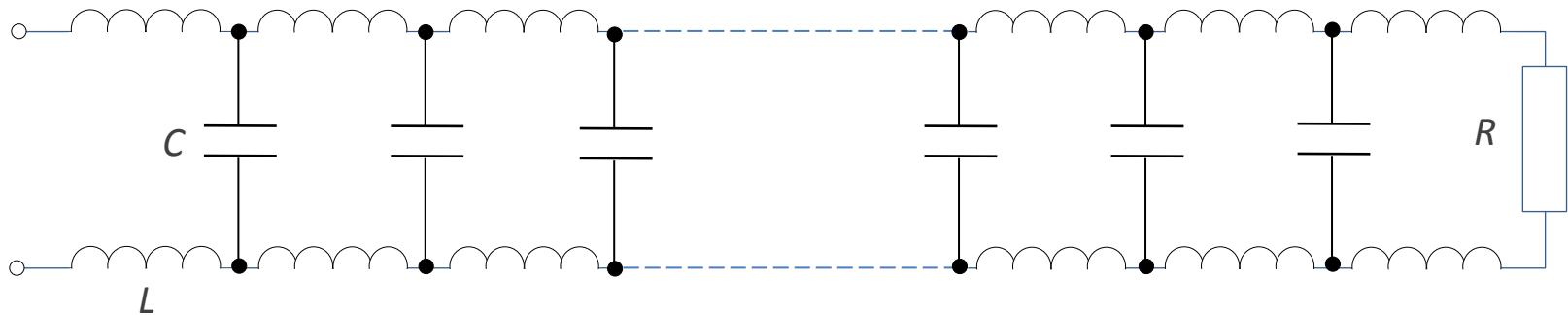


- symetrické dvouvodičové vedení – dvoulinka



Dvou vodičové vedení si můžeme představit jako řadu navzájem spojených elementárních oscilátorů LC.

- **Indukčnost** představují jednotlivé části vodiče.
- **Kapacita** je dána jejich vzájemnou vzdáleností.
- V prvním oscilátoru vynutíme kmitání a následně se rozkmitají další.



Vlnová délka elmg. vlnění

- vzdálenost, kterou urazí elmg. vlnění za 1 periodu
- James Clerk Maxwell (2. pol. 19. st.)
elmg. rozruch se šíří rychlostí světla $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

$$\lambda = cT = \frac{c}{f}$$

- **Při nízké frekvenci (50 Hz)**

je vždy všude stejné napětí (žárovky svítí stejně)
vlnový ráz se neprojevuje

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



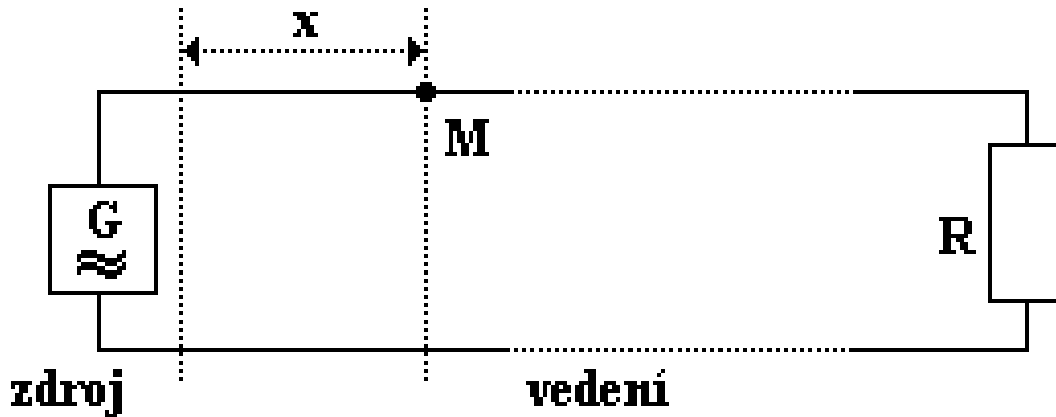
- **Při vysoké frekvenci**

se změny na začátku vedení projeví na konci vedení se zpožděním

Dvou vodičovým vedením se šíří postupné elmg. vlnění.

- za dobu τ bude vlnění ve vzdálenosti x od zdroje

$$\tau = \frac{x}{c}$$

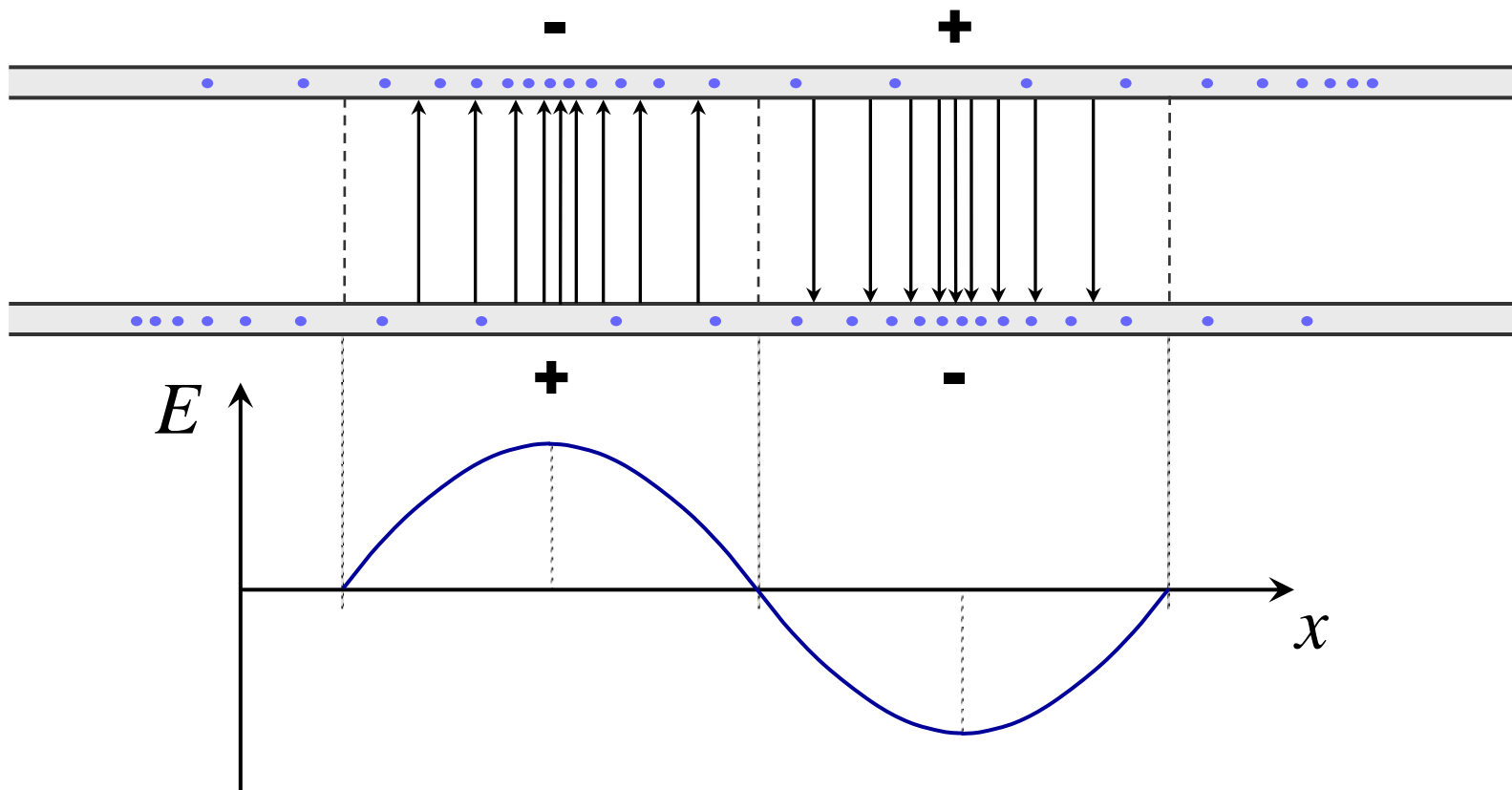


$$u = U_m \sin \omega(t - \tau)$$
$$u = U_m \sin \frac{2\pi}{T}(t - \tau)$$

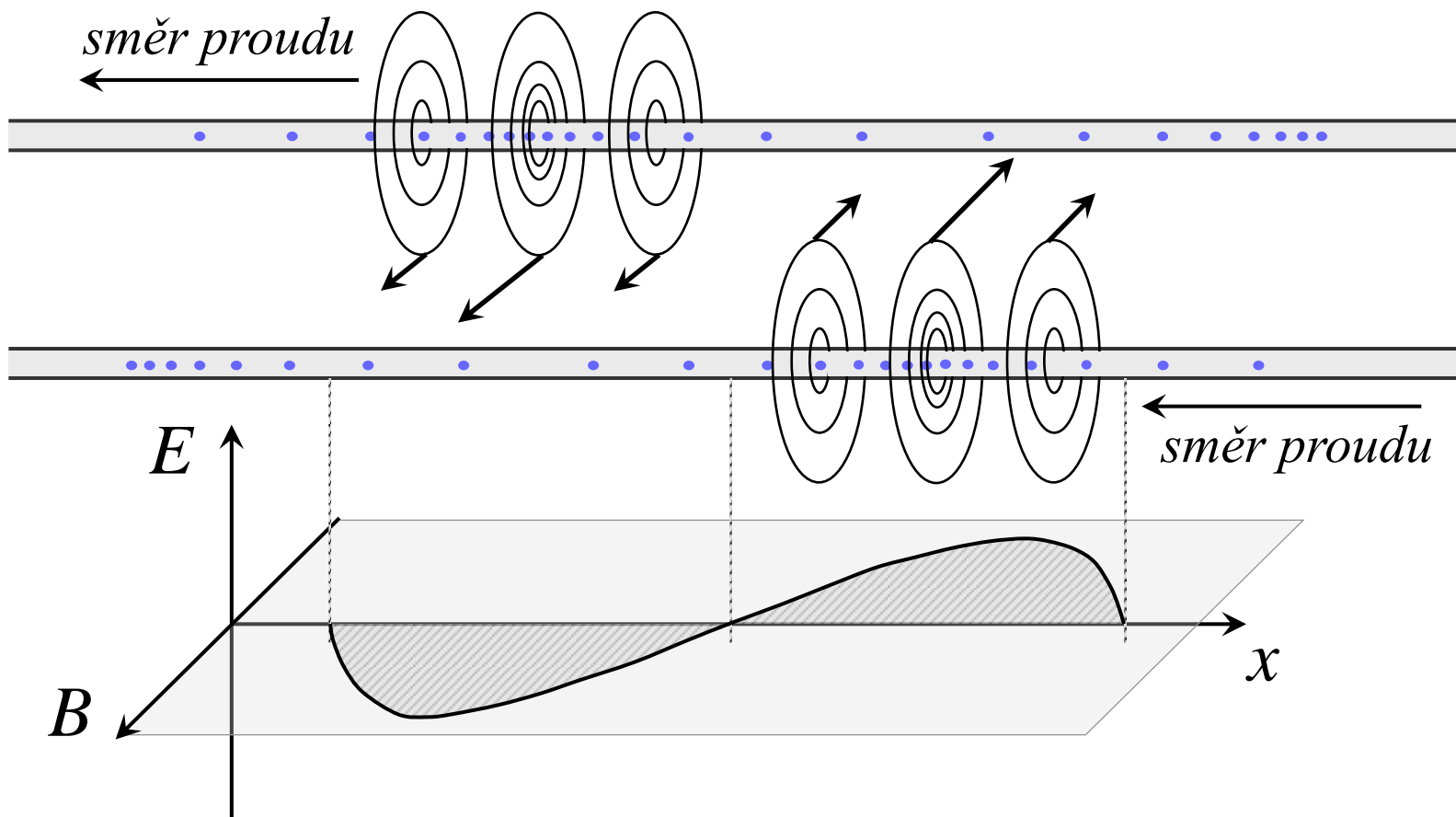
rovnice postupného elmg. vlnění

$$u = U_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{cT} \right)$$
$$u = U_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

11.4. ELEKTROMAGNETICKÁ VLNA



11.4. ELEKTROMAGNETICKÁ VLNA

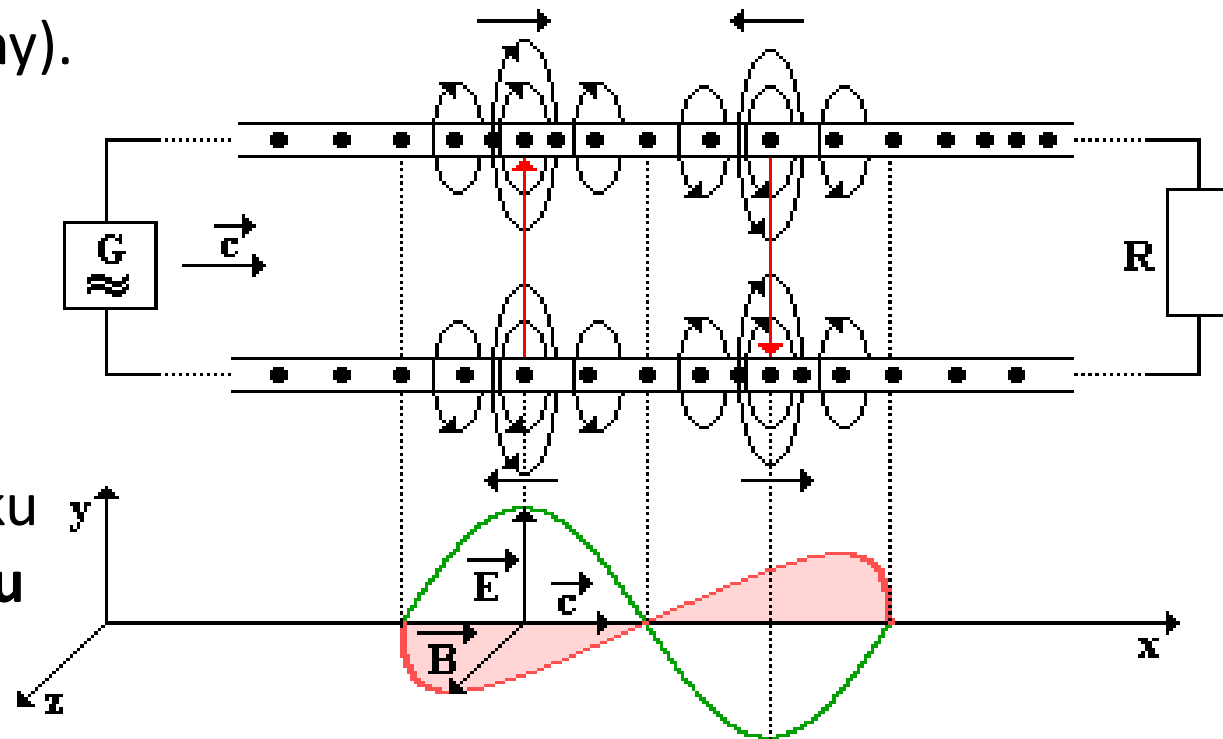


11.4. ELEKTROMAGNETICKÁ VLNA

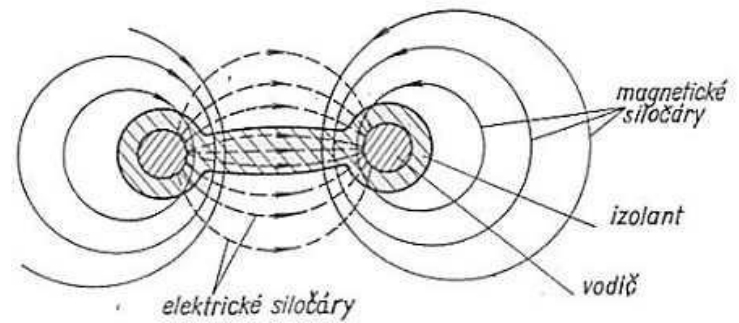
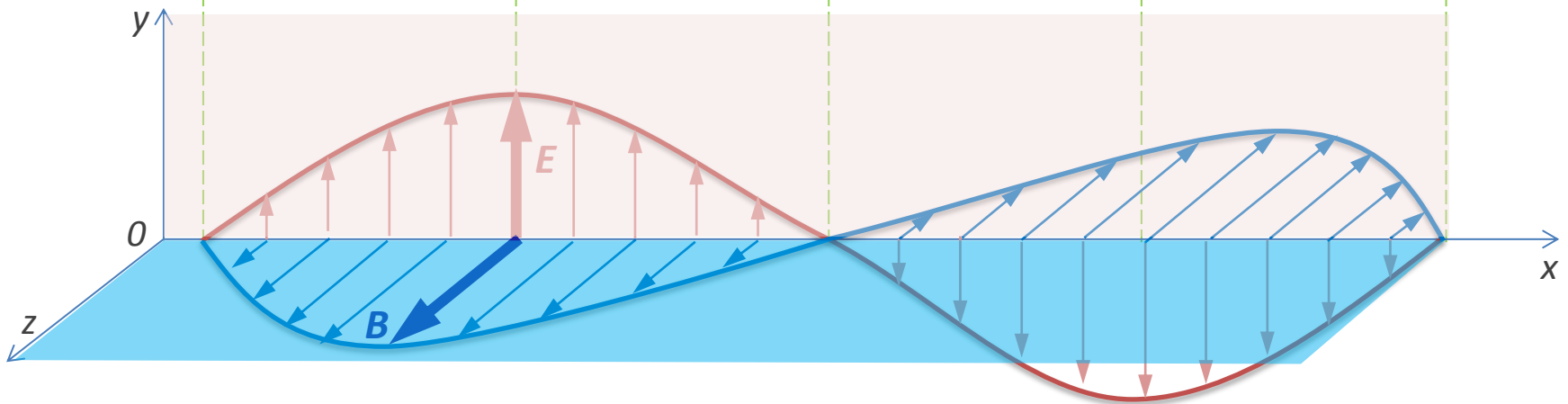
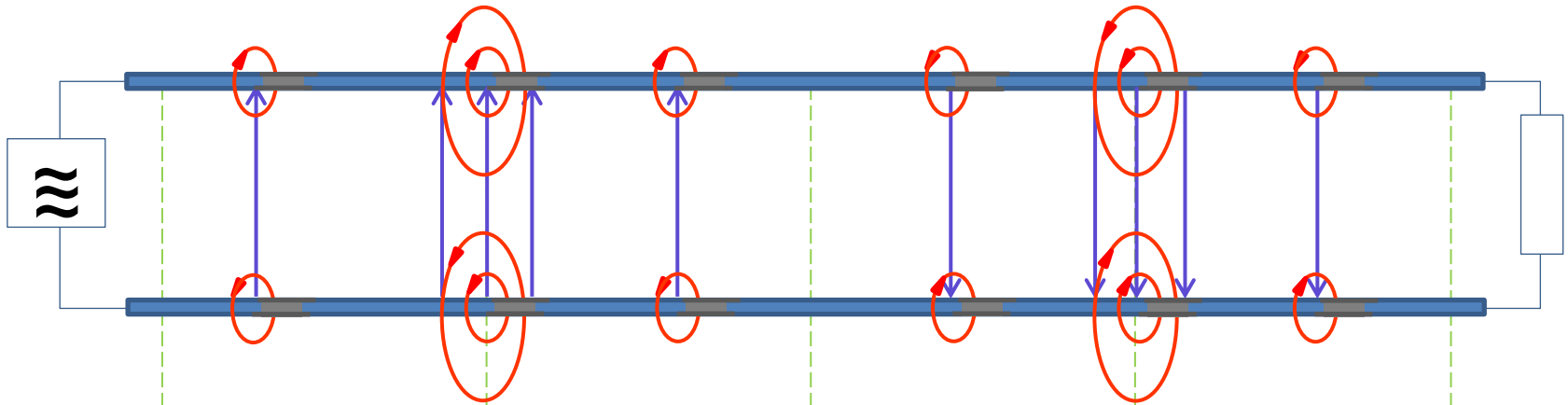
Náboj vodičů není rozložen rovnoměrně a mezi vodiči je v různých místech různá elektrická intenzita E .

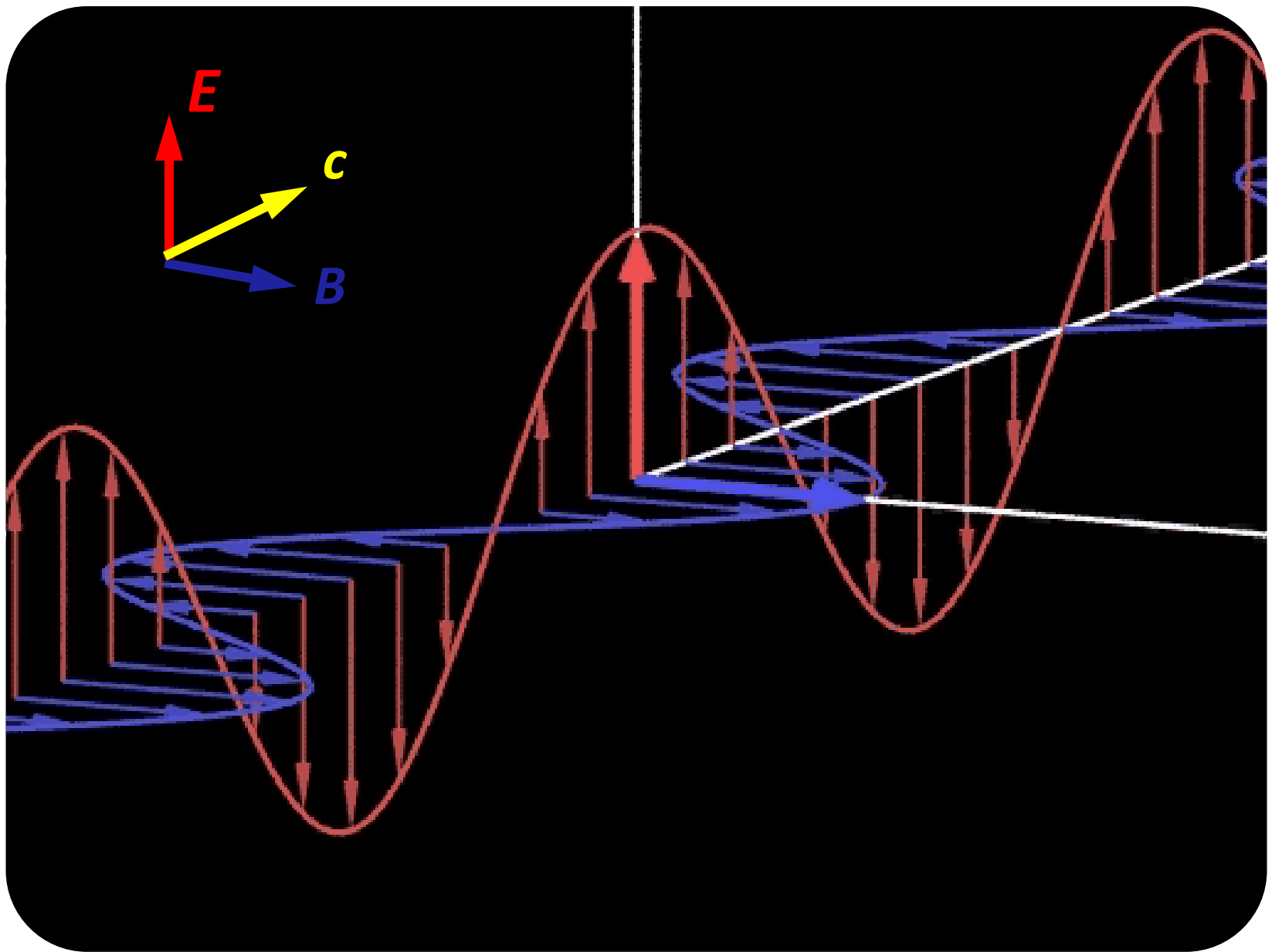
Pro určitý okamžik je elektrické pole znázorněno \rightarrow
(● jsou vodivostní elektrony).

Při přenosu elmg. energie dvouvodičovým vedením vzniká v prostoru mezi vodiči časově proměnné silové pole, které má složku **elektrickou** a **magnetickou** a nazývá se **elektromagnetické pole**.



- Energie není přenášena samotnými vodiči, ale elmg. polem mezi nimi.
- Tento děj má charakter vlnění.





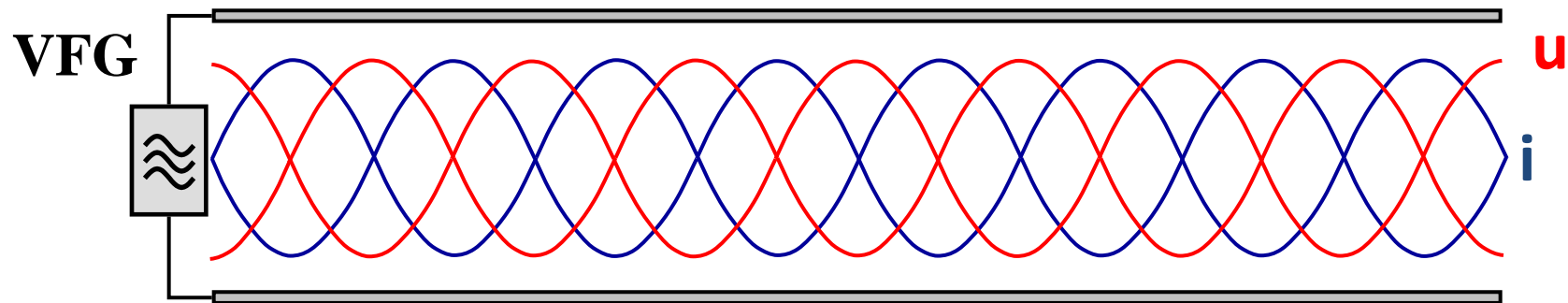
A. Jestliže se energie na konci pohltí (spotřebuje)

- pak se jedná o **postupnou elmg. vlnu**
- proud je ve fázi s napětím

B. Jestliže se veškerá energie na konci nepohlí – (vedení naprázdno)

- nastává odraz vlnění
- odražené vlnění se skládá s postupujícím a vzniká **vlnění stojaté**
- konec vedení má značný odpor ($R \rightarrow \infty$), $u = U_m$, $i = 0$
- Na konci vznikne kmitna napětí / uzel proudu.

$$i = \frac{u}{R}$$



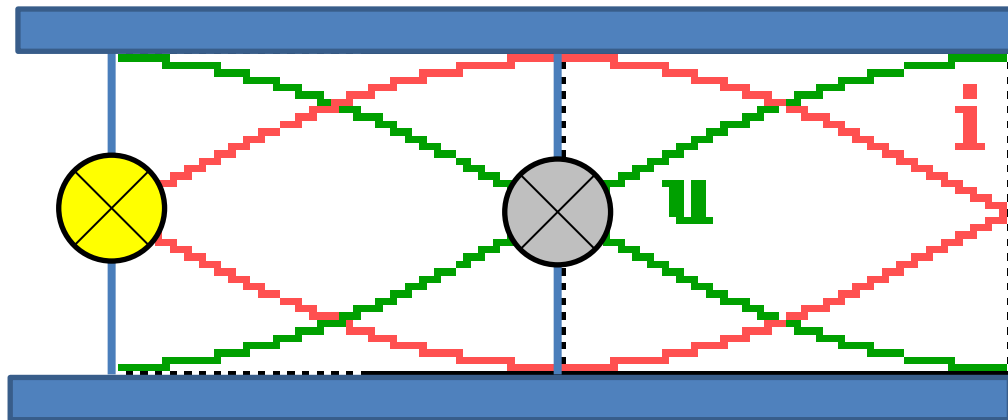
A. Jestliže se energie na konci pohltí (spotřebuje)

- pak se jedná o **postupnou elmg. vlnu**
- proud je ve fázi s napětím

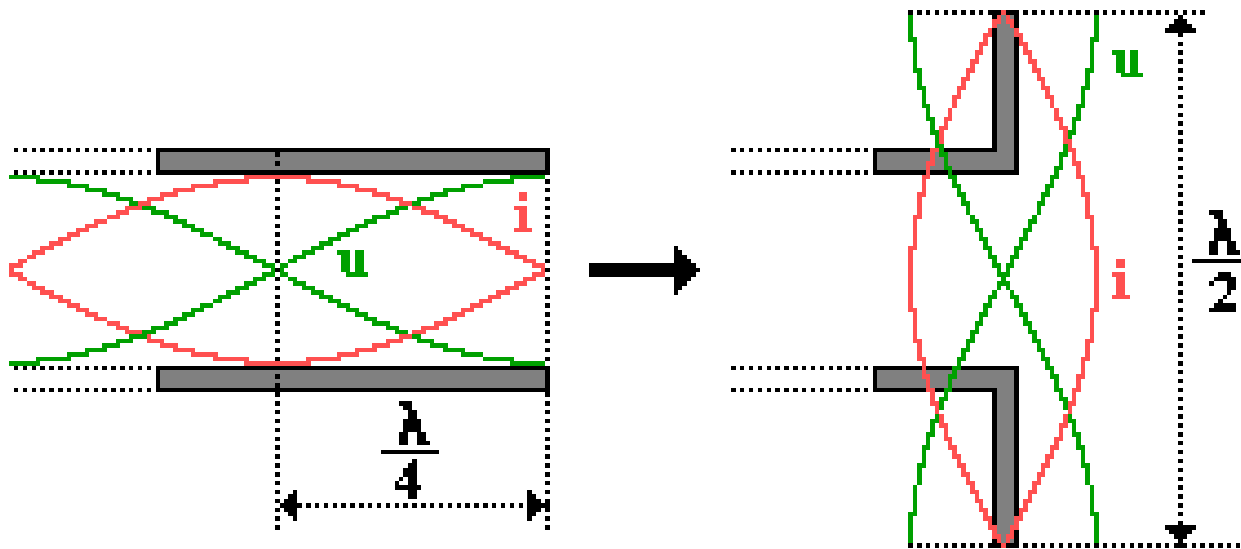
B. Jestliže se veškerá energie na konci nepohlí – (vedení naprázdno)

- nastává odraz vlnění
- odražené vlnění se skládá s postupujícím a vzniká **vlnění stojaté**
- konec vedení má značný odpor ($R \rightarrow \infty$), $u = U_m$, $i = 0$
- Na konci vznikne kmitna napětí / uzel proudu.

$$i = \frac{u}{R}$$



11.6. ELEKTROMAGNETICKÝ DIPÓL – anténa



- Ve sdělovací technice je potřeba vyzařovat elektromagnetické vlnění do většího prostoru.
- Rozevřeme konce dvou vodičového vedení o délce $\frac{\lambda}{4}$ do směru kolmého k vedení – vznikne půlvlnný dipól.
- Dipól vyzařuje energii a ta se elektromagnetickým vlněním přenáší do prostoru.

11.6. ELEKTROMAGNETICKÝ DIPÓL – anténa

- K elektromagnetickému dipólu lze dospět i od **kondenzátoru**.
- Oddalováním desek kondenzátoru vzniká otevřený oscilační obvod.
- *Elektromagnetické pole se rozloží do prostoru a postupuje do okolí jako elektromagnetická vlna.*
- *Záření generované touto anténou má vlnovou délku rovnou čtyřnásobku poloviční délky antény (dipólu).*



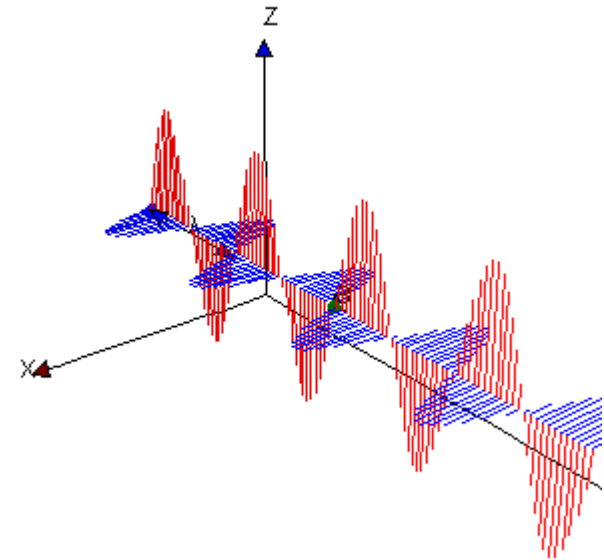
11.7. VLASTNOSTI ELEKTROMAGNETICKÉ VLNY

1. Má dvě vzájemně neoddělitelné složky

- **elektrickou**, charakterizovanou vektorem **elektrické intenzity**,
- **magnetickou** charakterizovanou vektorem **magnetické indukce**.

2. Vektory **E** a **B** jsou vzájemně **kolmé**.

- v postupné elektromagnetické vlně mají **souhlasnou fázi**
- kmitají kolmo ke směru šíření
- elektromagnetické vlnění je tedy vlnění **příčné**

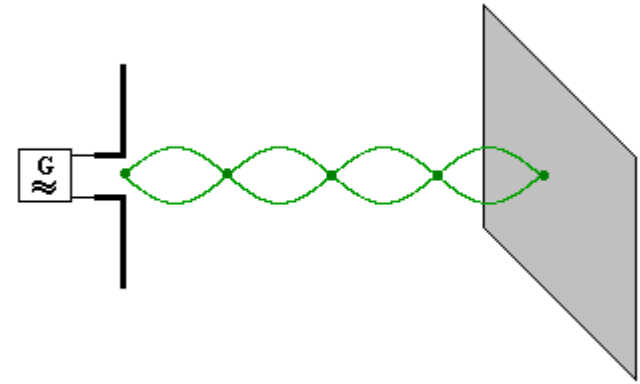


3. Elmg. vlnění je **lineárně polarizované**. Nemění se směr vektorů **B** a **E**.

- **E** leží v rovině dipólu
- **B** leží v rovině \perp k dipólu

4. Elmg. vlnění se **odráží** a projevuje se difrakce (**ohyb**).

- při kolmém dopadu se vlnění odráží zpět a vzniká stojaté vlnění



- při dopadu pod úhlem
 - platí zákon odrazu
 - je-li překážka $\gg \lambda$, vlnění za překážku nepronikne a vzniká stín
 - je-li překážka malá vzhledem k λ – vlnění za překážku proniká, ale část energie se i v tomto případě odráží

5. Vliv prostředí na délku elmg.vlny

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

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

- Velikost rychlosti elmg. vlnění je v každém hmotném prostředí menší než ve vakuu.
- relativní permitivita a permeabilita

6. Šíření elmg. vlnění

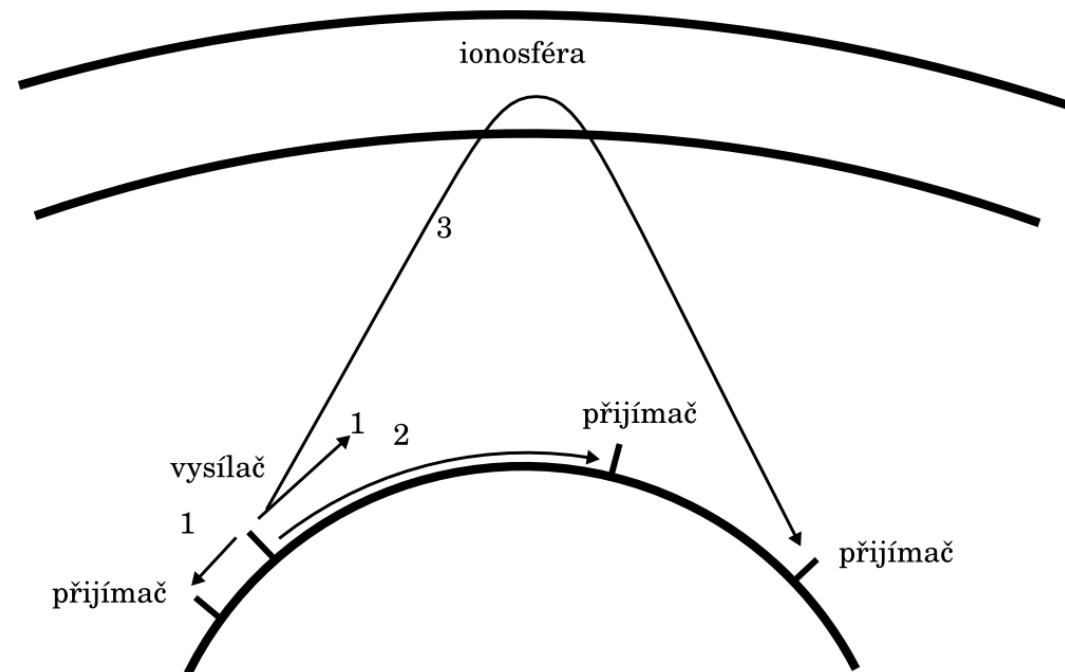
- antény radioelektronických zařízení vysílají vlny od 10^3 m – 10^{-2} m

A. U **dlouhých a středních** vln se uplatňuje ohyb vlnění podél zemského povrchu, takže jejich příjem je možný i za velmi rozměrnými překážkami

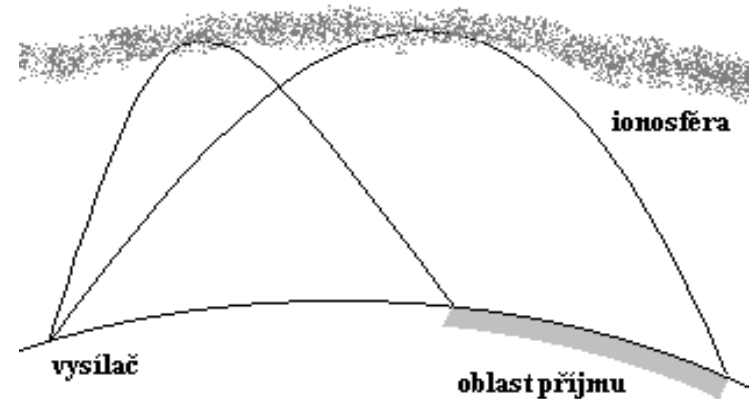
- $\lambda \approx 10^3 - 10^2$ m

B. Pro příjem **krátkých a velmi krátkých** vln (rozhlas, televize) je nutno zachovat přímou viditelnost mezi vysílačem a přijímačem.

- $\lambda \approx 10 - 10^{-1}$ m
- $\lambda \approx 10^{-2}$ m
(družicové vysílání)



- *U některých krátkých vln se využívá odrazu od vrstvy atmosféry – ionosféry (60 km až 80 km nad zemským povrchem).*



- *Krátké vlny se v ionosféře odrážejí a lámou a dospívají až do značných vzdáleností od vysílače. Stav ionosféry se ale vlivem slunečního záření mění (jsou změny denní i roční), a proto se mění i podmínky šíření krátkých vln v různých denních a nočních hodinách.*

RADAR (Radio Detecting And Ranging) –

- *zařízení pro zjišťování a dálkové určování polohy rádiem.*
- *První radary byly použity poprvé za 2. světové války při vzdušné obraně Anglie. Dnes slouží pro určování polohy různých objektů (letadel, lodí, raket, bouřkových mraků, ...) v prostoru.*