

Dvou vodičovým vedením se šíří **postupné elektromagnetické vlnění** popsané rovnicí

$$u = U_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right). \quad (1)$$

Obdobnou rovnici jsme odvodili pro mechanické vlnění (např. v pružném vlákně) a označili jsme ji jako *rovnici postupného mechanického vlnění*. Obdobně je rovnice (1) **rovnici postupného elektromagnetického vlnění** v dvou vodičovém vedení.

Vzhledem k velké rychlosti elektromagnetického vlnění je při frekvenci 50 Hz mezi vodiči vedení všude stejné napětí. Uvažovanému ději totiž odpovídá vlnová délka $\lambda = c/f = (3 \cdot 10^8/50) \text{ m} = 6 \cdot 10^6 \text{ m} = 6\,000 \text{ km}$. Rozměry celého obvodu tedy můžeme vzhledem k vlnové délce zanedbat a děje ve vedení mají ráz kmitání.

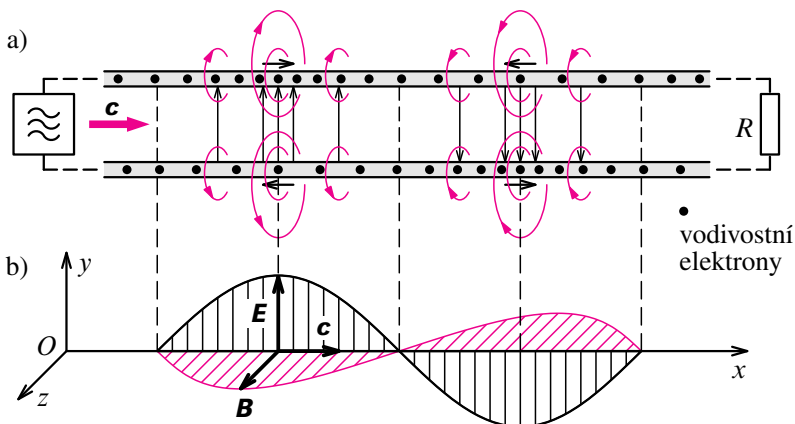
Tak je tomu vždy, když v rovnici postupné vlny $t/T \gg x/\lambda$. Za těchto podmínek přechází rovnice ve vztah pro kmitání ($u = U_m \sin \omega t$) a vlnový ráz uvažovaného děje se neprojevuje. Jako vlnění tedy chápeme děj v soustavách, jejichž rozměry jsou srovnatelné nebo větší, než je vlnová délka elektromagnetického vlnění.

R9.2 Elektromagnetická vlna

Jestliže je dvou vodičové vedení připojeno ke zdroji harmonického napětí vysoké frekvence, je mezi vodiči napětí odpovídající rovnici (1). To současně znamená, že také náboj vodičů není rozložen rovnoměrně a mezi vodiči je různá intenzita **E** elektrického pole. Mezi vodiči vedení vzniká elektrické pole s nerovnoměrným rozložením siločar. Pro určitý okamžik je elektrické pole znázorněno na obr. R9-2a. Hodnoty intenzity elektrického pole podél vedení můžeme vyjádřit pomocí sinusoidy (obr. R9-2b).

Pokud je ke konci vedení připojen rezistor, ve kterém se veškerá přiváděná elektromagnetická energie spotřebuje (rezistor se např. zahřeje), bude proud ve vedení ve stejné fázi jako napětí. V místech největšího napětí bude ve vedení také největší proud a činný výkon vysokofrekvenčního střídavého proudu bude maximální. Energie se elektromagnetickým vlněním přenáší od zdroje ke spotřebiči.

Současně s elektrickým polem je kolem vedení také magnetické pole, které je na obr. R9-2a znázorněno kruhovými indukčními čarami. Vektor magnetické indukce **B** je kolmý na vektor **E**. Na obr. R9-2b je průběh hodnot magnetické



R9-2 Elektromagnetické pole vedení

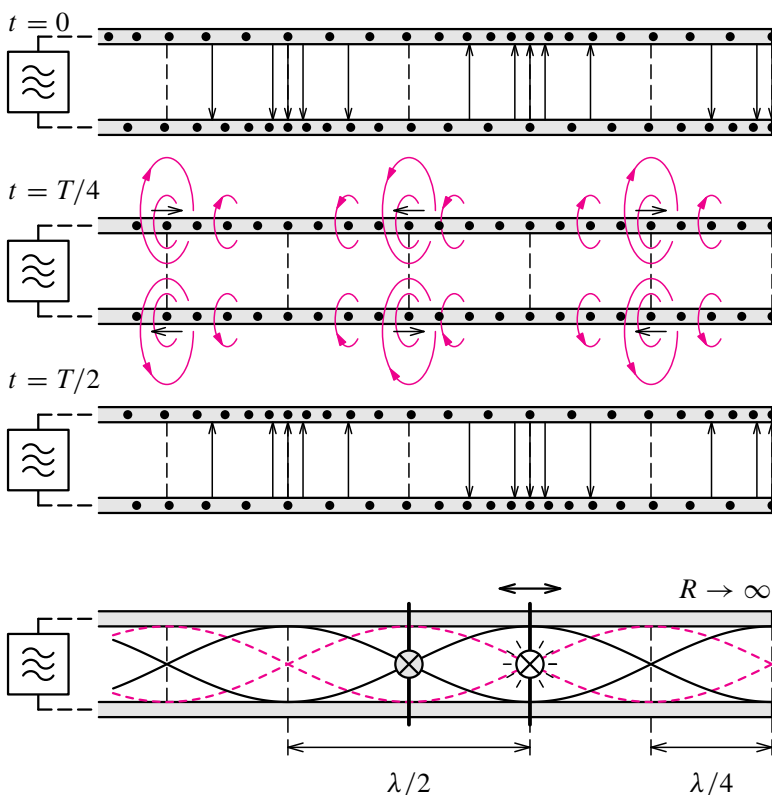
indukce podél vedení opět znázorněn sinusoidou, která však leží v rovině kolmé k nákresně. Graf na obr. R9-2b znázorňuje **postupnou elektromagnetickou vlnu**.

Při přenosu elektromagnetické energie dvou vodičovým vedením vzniká v prostoru mezi vodiči časově proměnné silové pole, které má jednak složku elektrickou, jednak složku magnetickou a nazývá se elektromagnetické pole. Energie není přenášena samotnými vodiči, ale elektromagnetickým polem mezi nimi. Tento děj má ráz vlnění.

K pojmu postupné elektromagnetické vlny jsme dospěli úvahou, že se veškerá elektromagnetická energie na konci vedení pohltí. Pokud tomu tak není, nastává na konci vedení odraz vlnění a odražené vlnění se skládá s vlněním postupujícím. V učivu o mechanickém vlnění jsme poznali, že v takovém případě vzniká stojaté vlnění, charakterizované kmitnami a uzly vlnění.

V případě dvou vodičového vedení taková situace nastane, když k vedení není připojen spotřebič (vedení naprázdno – obr. R9-3). Poněvadž konec vedení má velmi značný odpor ($R \rightarrow \infty$), je na konci vedení největší napětí. Naopak proud má na konci stále nulovou hodnotu (vedení je rozpojeno). Ve vedení je fázový posun napětí a proudu $\pi/2$ a vzniká **stojaté elektromagnetické vlnění**. Na konci vedení je kmitna napětí, ale uzel proudu. Ve vzdálenosti $\lambda/4$ od konce vedení je situace opačná. Je zde uzel napětí a kmitna proudu.

Experimentálně se o rozložení kmiten a uzlů napětí přesvědčíme např. tak,



R9-3 Napětí a proud ve vedení naprázdno

že vedení připojíme k výkonnému zdroji napětí o vysoké frekvenci (řádově 10^2 MHz). Po vedení smýkáme vodivým můstkem se žárovkou. V místech kmiten žárovka svítí nejvíce, kdežto v místech uzlů se nerozsvítí vůbec.

Vedení se stojatou elektromagnetickou vlnou můžeme přirovnat k oscilačnímu obvodu. Periodicky dochází k přeměně energie elektrického pole mezi vodiči na energii magnetického pole. Ve stojaté elektromagnetické vlně je mezi časově proměnnými vektory $\mathbf{E}$ a $\mathbf{B}$ fázový rozdíl $\pi/2$.