

A) Dvou vodičové vedení

vedení symetrické (shodné impedance vodičů vůči zemi)

vede vlnění od 0MHz do max. stovek MHz, dominantní vid TEM

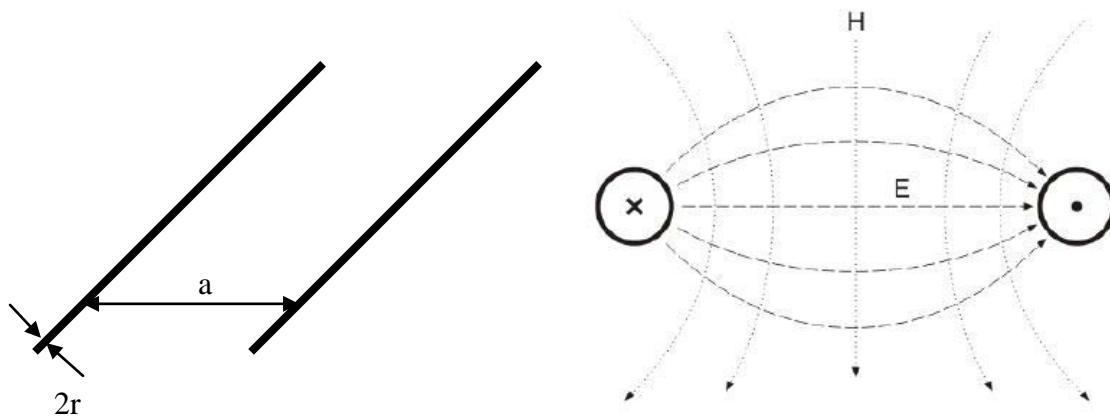
běžné hodnoty vlnové impedance: 300 Ω , 600 Ω

impedance se zvětší, pokud se zmenší průměr vodičů nebo se zvětší jejich vzdálenost

ztráty: skinefekt (vhodný větší průměr vodičů), ztráty v dielektriku mezi vodiči

útlum kabelu: roste se zvyšujícím kmitočtem (přibližně přímo úměrné \sqrt{f})

menší hodnoty útlumu než koax, ale ztráty vznikají vinou zhoršování kvality izolace mezi vodiči a také změnou vzdálenosti vodičů při mechanickém namáhání (změna impedance)



Vlnová impedance (podíl napětí a proudu vlny šířící se v kladném směru osy z): $Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$

Parametry na jednotku délky (vlastnosti prostředí mezi vodiči: ϵ, μ, σ , vlastnosti vodičů: σ_v, μ_v):

indukčnost (zanedbána vnitřní indukčnost $2 \frac{\mu}{8\pi}$) $L/l = \frac{\mu}{\pi} \ln \frac{a}{r}$

vzájemná kapacita $C/l = \frac{\pi\epsilon}{\ln \frac{a}{r}}$

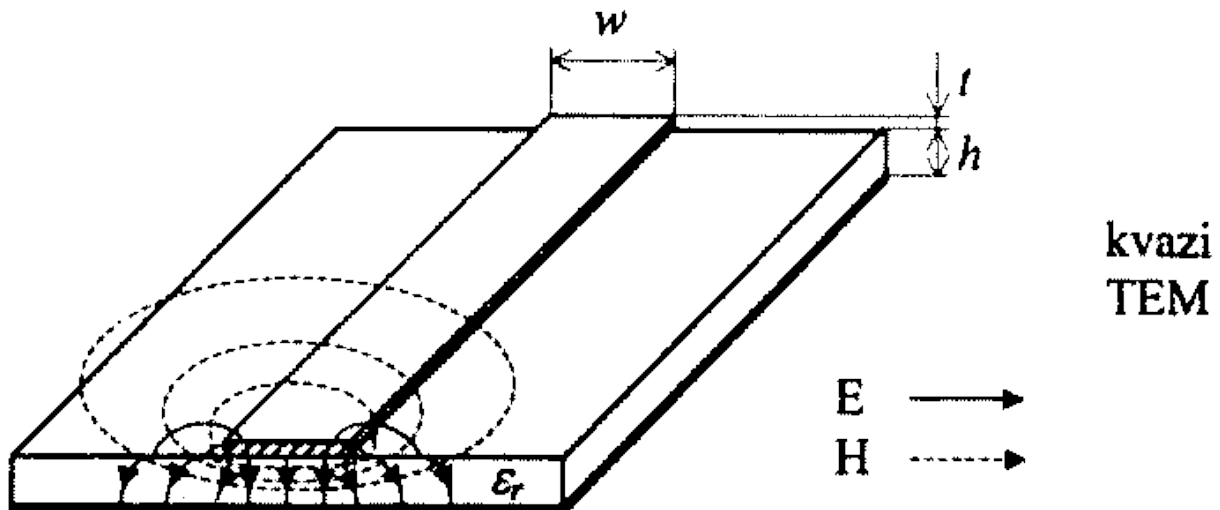
odpor $R/l = \frac{1}{\pi r \delta \sigma_v}$, kde $\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu_v \sigma_v}}$ je ekvivalentní hloubka vniku – vliv skinefektu

svod mezi vodiči (analogie elektrostatického a stacionárního elektrického pole) $G/l = \frac{\pi\sigma}{\ln \frac{a}{r}}$

Dále platí $LC = \varepsilon\mu$, $\frac{G}{C} = \frac{\sigma}{\varepsilon}$, bezztrátové a nezkreslující vedení: $Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{\ln \frac{a}{r}}{\pi} \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}$

B) Mikropáskové vedení

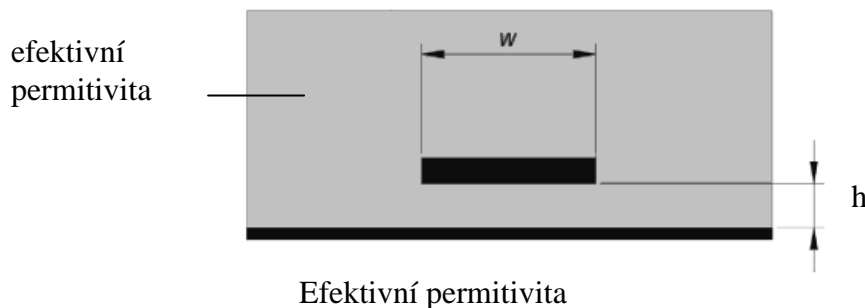
- základní typ planárního vedení
- nejběžněji používané vedení v mikrovlnných obvodech (snadná vyrobiteľnosť)
- oboustranně pokovené dielektrikum
- na jedné straně dielektrika je zemní plocha a na druhé straně je pásek o šířce w , který tvoří vlastní vedení. Dielektrikum má relativní permitivitu ε_r a výšku h .



Obr. 3.1.5 Mikropáskové vedení s videm kvazi TEM

Vlastnosti mikropáskového vedení

Vlna (kvazi TEM – TEM se složkami E, H i ve směru šíření) se na mikropásku šíří ve dvou prostředích s různou permitivitou (ε_r a $\varepsilon_{\text{vzduchu}}$), ale stejnou rychlostí, takže se vedení chová, jako by bylo vyplněno dielektrikem o jedné permitivitě (efektivní permitivitě ε_{ef}).

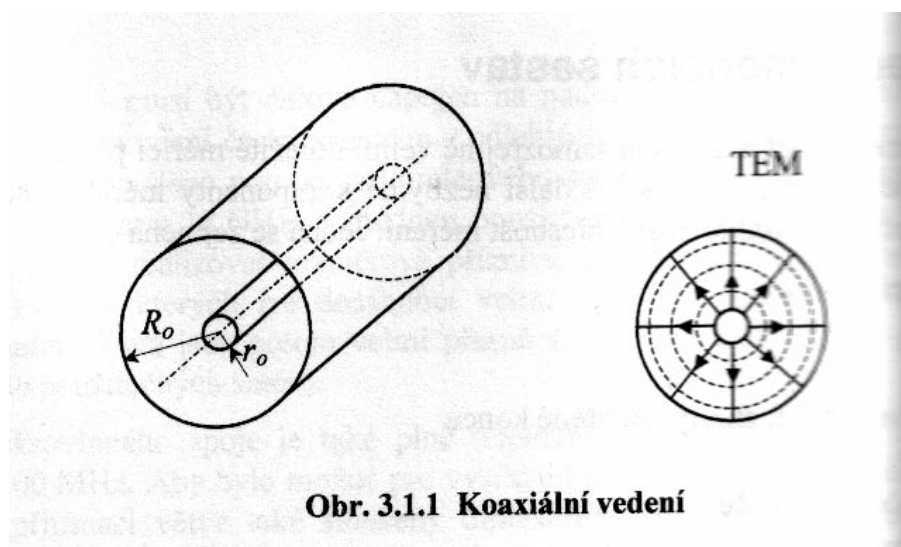


nejnižší přenášeny vid TE_{01} (podle skript Vlny a vedení, listopad 2005)
 TE_{10} (podle skript Vysokofrekvenční a mikrovlnná měření, duben 2006 a Planární a mikrovlnné obvody, listopad 2003)

útlumy: nedokonalost vodičů
 nedokonalé dielektrikum
 vyzařování

C) Koaxiální vedení

Koaxiální vedení sestává ze dvou vodičů ve tvaru sousedících válců. Prostor mezi válci je vyplněn nízkoztrátovým dielektrikem. Hlavní výhodou koaxiálního vedení je velmi dobrá ohebnost. V koaxiálním vedení se prakticky používá vidu TEM. Prakticky použitelné frekvenční pásmo koaxiálního vedení je omezeno shora mezní frekvencí dominantního vlnovodného vidu TE_{11} .



Obr. 3.1.1 Koaxiální vedení

Mezní vlnová délka vidu je rovna obvodu střední kružnice:

$$\lambda_{mTE11} = 2\pi \cdot \frac{R_0 + r_0}{2} = \pi \cdot (R_0 + r_0)$$

Tomu odpovídá mezní frekvence:

$$f_{mTE11} = \frac{c}{\lambda_{mTE11} \cdot \sqrt{\mu_r \cdot \epsilon_r}}$$

Například pro 50 Ω vedení s průměry vodičů 7 mm a 3 mm je mezní frekvence asi 19 GHz. Pro použití ve vyšších frekvenčních pásmech je nutné používat tenčí kabely.

Vlastnosti a parametry koaxiálního vedení s videm TEM:

Charakteristická impedance:

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \times \ln \frac{R_0}{r_0} \quad [\Omega]$$

Útlum je způsobený jednak ztrátami ve vodičích (konečnou vodivostí), jednak ztrátami v dielektriku.

Měrný útlum způsobený ztrátami ve vodičích:

$$\alpha_c = \frac{R/l}{2Z_0} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\rho_{vf}}{\sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}} \cdot \frac{1}{R_0} \cdot \frac{1 + \frac{R_0}{r_0}}{\ln \frac{R_0}{r_0}}$$

Útlum způsobený ztrátami v dielektriku:

$$\alpha_d = \frac{G/l}{2} \cdot Z_0 = \frac{2\pi\omega\epsilon_0\epsilon_r \operatorname{tg} \delta}{2 \cdot \ln \frac{R_0}{r_0}} \cdot \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \ln \frac{R_0}{r_0} = \frac{1}{2} \cdot \omega \cdot \sqrt{\mu_0\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \operatorname{tg} \delta = \frac{\pi\sqrt{\epsilon_r} \operatorname{tg} \delta}{\lambda_0}$$

Platí:

$$\alpha_{\text{celk}} = \alpha_c + \alpha_d \quad [\text{dB/m}]$$

Útlumy odrazů:

Bývají způsobené poruchami v dielektriku, poruchami ve stínění, diskontinuitami vzniklými při připojení konektorů; často bývají menší než asi -25 dB, a proto nečiní potíže.

Kapacita na jednotku délky:

$$C/l = \frac{2 \cdot \pi \epsilon_r \epsilon_0}{\ln \frac{R_0}{r_0}} \quad [\text{F/m}]$$

Vnější indukčnost na jednotku délky:

$$L/l = \frac{\mu_r \mu_0}{2\pi} \times \ln \frac{R_0}{r_0} \quad [\text{H/m}]$$

Odpor na jednotku délky:

$$R/l = \frac{\rho_{vf}}{2\pi} \times \left(\frac{1}{R_0} + \frac{1}{r_0} \right) \quad [\Omega/\text{m}]$$

$$\text{Kde: } \rho_{vf} = \sqrt{\frac{\omega\mu}{2\sigma_c}}$$

Vodivost na jednotku délky:

$$G/l = \frac{2\pi\sigma_d}{\ln \frac{R_0}{r_0}} = \frac{2\pi\omega\epsilon_0\epsilon_r \operatorname{tg} \delta}{\ln \frac{R_0}{r_0}} \quad [\text{S/m}]$$

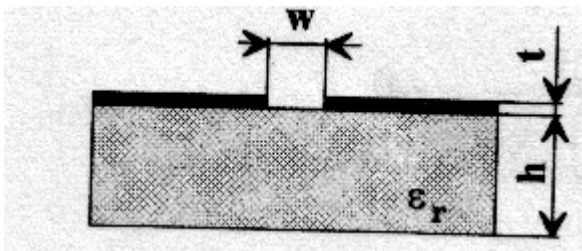
Maximální **výkon**, který lze koaxiálním vedením přenášet, je omezen tepelnou odolností kabelu (střední výkon) i elektrickou pevností dielektrika (maximální výkon).

$$P_{\max} = \pi \cdot r^2 \cdot \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} E_{\max} \cdot \ln \frac{R}{r}$$

E_{\max} je elektrická pevnost dielektrika.

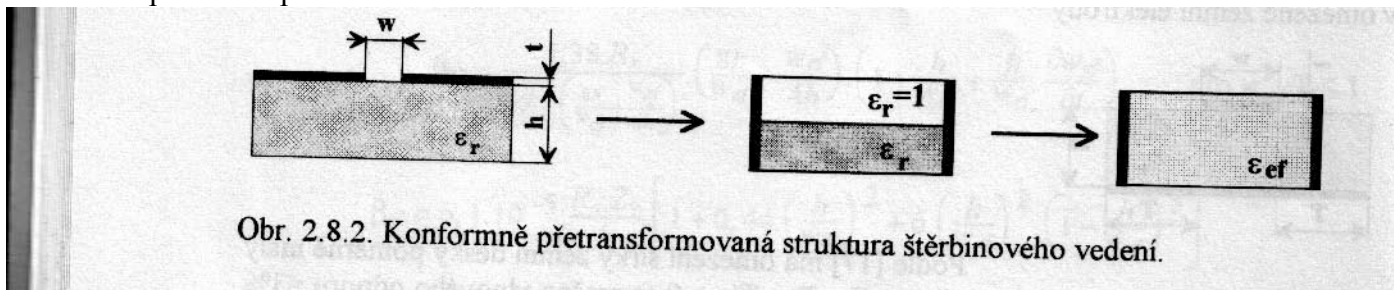
Vlnová délka v koaxiálních vedeních je pro základní vid TEM stejná, jako při šíření vlny v dielektriku volným prostorem a nezávisí na rozměrech vedení. Koaxiální kabely se vyrábějí nejčastěji s impedancí 50Ω , často také 75Ω .

D) Štěrbinové vedení



Struktura umožňuje šíření TE vlny (přesněji HEM vlna).

Orientační přiblížení pomocí konformního zobrazení:



$$\epsilon_{ef} = (\epsilon_r + 1)/2$$

Vlnovodová impedance:

$$Z_v = \frac{120\pi}{\sqrt{\varepsilon_{ef}}} \cdot \frac{K(k)}{K'(k)} \quad ; \quad k = \operatorname{tgh}(\pi w/4h)$$

(K(k) je úplný eliptický integrál I. druhu)

Platí:

$$\frac{K(k)}{K'(k)} = \frac{\pi}{\ln\left(2 \times \frac{1 + \sqrt{k'}}{1 - \sqrt{k'}}\right)} \quad ; \quad \text{pro } 0 \leq k \leq \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\frac{K(k)}{K'(k)} = \frac{1}{\pi} \times \ln\left(2 \times \frac{1 + \sqrt{k}}{1 - \sqrt{k}}\right) \quad ; \quad \text{pro } \frac{1}{\sqrt{2}} \leq k \leq 1$$