

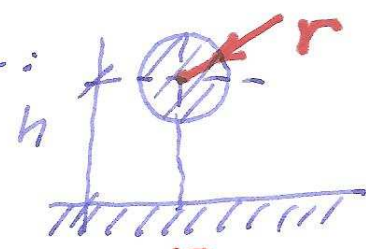
$\mu_r = 1$ / Metallika' mediu'
Metallich' spoj := propisem' vodice \cap propisem' dielektrika Z_0

Konfigurace:

1) Vodič nad virtuální zemí $Z_0 = Z$
 ! "zem pro Zve'tla' mediu" !

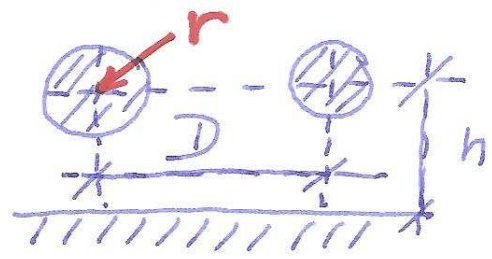
2) Vodič nad vodivou desku:

$$Z_0 = 138 / \sqrt{\epsilon_r} \cdot \log \frac{2h}{r}$$



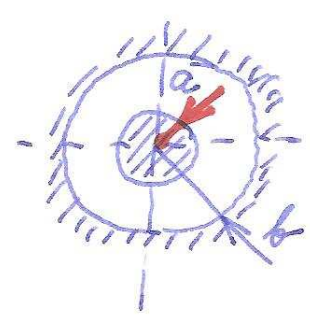
3) Symetrická drůtinová nad vodivou desku

$$Z_0 = \frac{276}{\sqrt{\epsilon_r}} \log \frac{D}{r \sqrt{1 + (D/h)^2}}$$



4) Koaxiální kabel

$$Z_0 = \frac{138}{\sqrt{\epsilon_r}} \log \frac{b}{a}$$



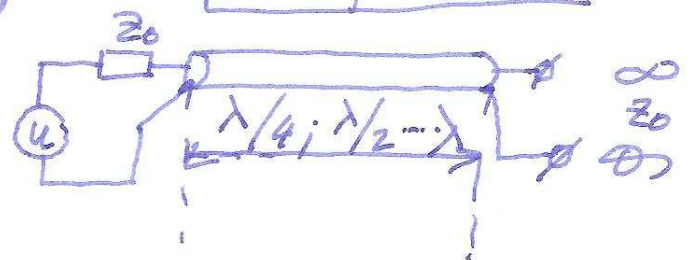
KONFORMNÍ ZOBRAZENÍ

5) .. etc ... TWISTED PAIR

Odrazy - period. průřez

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

Zač ∞ : $L \doteq (2k+1)\lambda/4$ "zkrat"
 $L \doteq 2k \cdot \lambda/4$ "vzrost"



Zač \emptyset : $L \doteq (2k+1)\lambda/4$ "vzrost" - paralelní rezonance
 $L \doteq 2k \cdot \lambda/4$... "zkrat" - series rezonance

1) Venkorm' vedum'

bronz; al/Fe; Cu/Fe

$d = 200, 300 \text{ mm}$

$\phi 2 \boxed{3} 4 \text{ mm}$



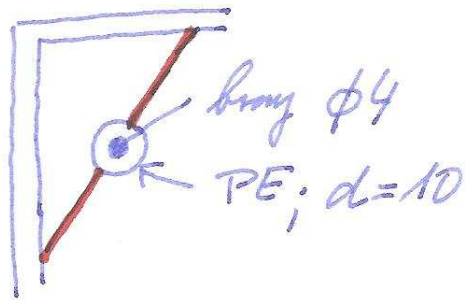
Typ: $R \dots 3 \Omega/\text{km}$; $L = 2 \text{ mH}/\text{km}$; $G = 0.5 \mu\text{S}/\text{km}$; $C = 6 \text{ nF}/\text{km}$
 $v_f = v_{\text{ph}} = c$; $Z_0 \sim 600 \Omega$

2) Vedum'vum: $50 \div 500 \text{ kHz} \rightarrow$

3) Siltum'vograd \rightarrow univestretf

4) G - vedum':

vid: TM_{01} , $0.2 \div 2 \text{ GHz}$;
 $\alpha = 5 \text{ dB}/\text{km}$



5) Kahely symetrike'

6) Kahely braxid'um' ... kolon'um'izalun

7) Telekommunikac'um'ulavod $d = 2''$

vid H_{01} ; $\alpha_{\text{faktor}} \geq 30 \text{ dB}$ | $f = 35 \div 110 \text{ GHz}$ |

utlum $\sim f$ klas'

Vládnový účes

1970: Corning glass 20 dB/cm

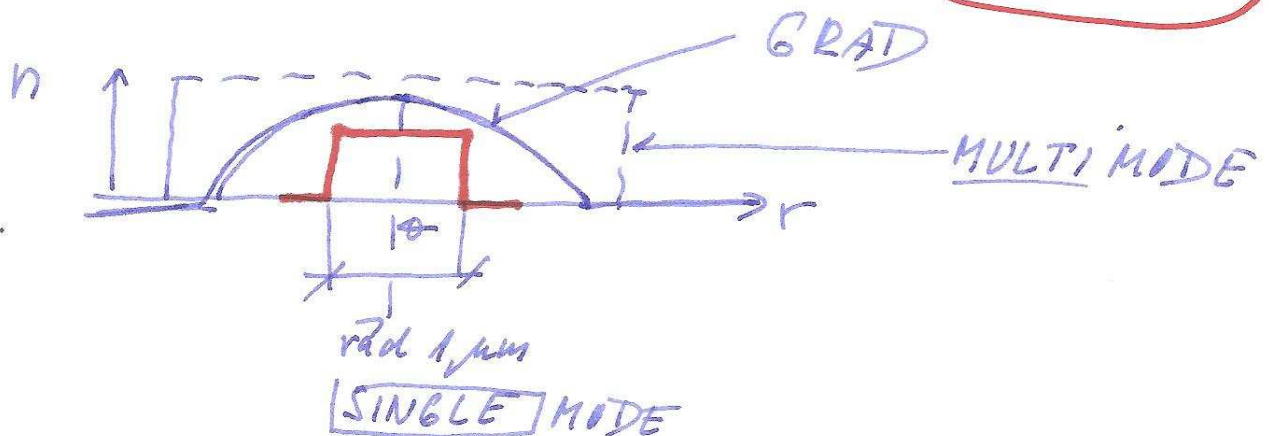
1997: 0.1 dB/cm ; 1 Tb/s/cm

pašne: viditelné / 850 nm / 1300 nm / 1550 nm

~ 70

~ 2000

$f(\text{norm}) \sim 10^2 \text{ THz} \Rightarrow$ při přenosové rychlosti 1 Tb/s
jde stále o užitečný signál. $\sigma = 0.01$



MODEL: DIELECT. CYLINDR. VLNOVOD

OPAKOVÁNÍ: MODEL: MAXWELLOVY ROVNICE (1864 → 73)
 (PRO MAKROSYSTÉMY) → EXP. ZÁKLAD. M. FARADAY

INTEGRALNÍ TVAR

$$\textcircled{1} \oint \vec{H} \cdot d\vec{r} = \underline{I} + \frac{d\Psi}{dt}$$

$$\textcircled{2} \oint \vec{E} \cdot d\vec{r} = - \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\textcircled{3} \oint \vec{D} \cdot d\vec{S} = Q$$

$$\textcircled{4} \oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = \emptyset$$

DIF. TVAR:

OBEČNĚ

$$\textcircled{1} \text{rot } \vec{H} = \sigma \vec{E} + \dot{\vec{D}}$$

$$\textcircled{2} \text{rot } \vec{E} = - \dot{\vec{B}}$$

$$\textcircled{3} \text{div } \vec{D} = \rho$$

$$\textcircled{4} \text{div } \vec{B} = \emptyset$$

PRO $\mu \neq 1, \sigma \neq \emptyset, \rho \neq \emptyset$; harmon. pole

$$\text{rot } \underline{H} = j\omega n^2 \epsilon_0 \underline{E}$$

$$\text{rot } \underline{E} = -j\omega \mu_0 \underline{H}$$

$$\text{div}(n^2 \underline{E}) = \emptyset$$

$$\text{div } \underline{H} = \emptyset$$

Lorentzova síla:

$$\vec{F} = q (\vec{E} + (\vec{v} \times \vec{B}))$$

$$\vec{J} = \sigma \cdot \vec{E}$$

$$\vec{D} = \epsilon \cdot \vec{E}$$

$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H}$$

$$\bullet \approx \frac{\partial}{\partial t}$$

μ ... relativní permeabilita

μ_0 ... permeabilita vákua
 ($4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$)

ϵ ... relativní permitivita

ϵ_0 ... permitivita vákua
 ($1/36\pi \cdot 10^{-9} \text{ F/m}$)

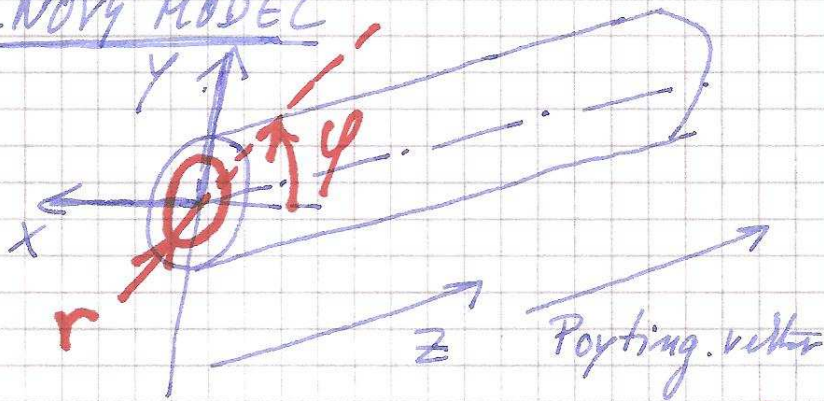
n ...

$$\frac{n_2}{n_1} = n = \sqrt{\frac{\epsilon_2 \mu_2}{\epsilon_1 \mu_1}}$$

vlasní číslo
 $k_0 = \omega \sqrt{\epsilon_0 \mu_0} =$
 $= \frac{\omega}{c_0} = \frac{2\pi}{\lambda}$

$n \cdot k_0 = k$
lokální vlasní číslo
 $n = \epsilon^{1/2}$

T. VLNOVÝ MODEL



cylindrická sour. (r, φ, z)

$\mu_r = 1$

Risim' účelů a prizitum k'to aproxiace:

Ψ $\left\{ \begin{array}{l} \vec{E}(r, \varphi, z) \doteq E(r, \varphi) \cdot e^{-j\beta z} \cdot \vec{e}_0 \\ \vec{H}(r, \varphi, z) \doteq H(r, \varphi) \cdot e^{-j\beta z} \cdot \vec{h}_0 \end{array} \right. \left| \begin{array}{l} \text{ve všech směrech} \\ \text{je } n(r, \varphi) \\ \text{shodný} \end{array} \right.$

$$\left[\nabla_{\perp}^2 + (k^2(r) - \beta^2) \right] \Psi = 0$$

v cylindr. sour. získať vlavní rovnice pro nehomogenní prostředí

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \varphi^2} + (k^2(r) - \beta^2) \Psi = 0$$

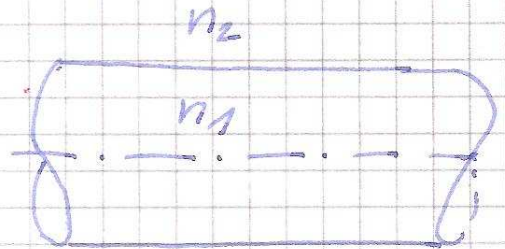
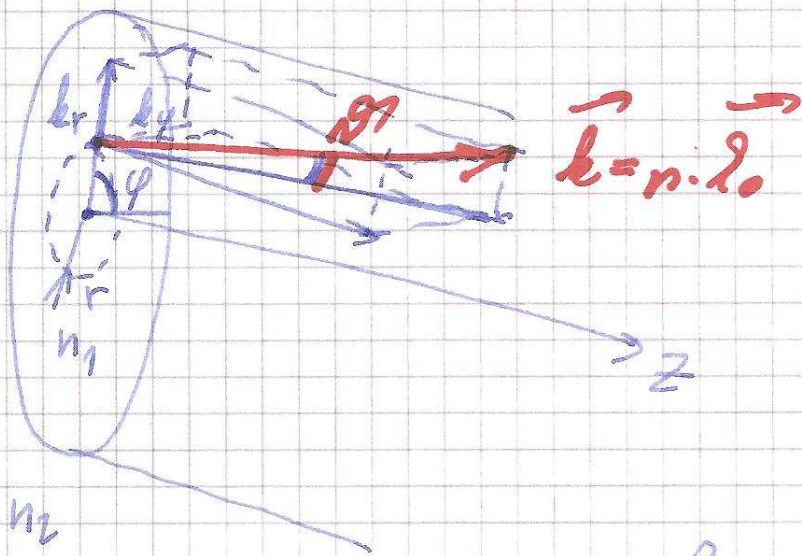
SEPARACE PROMĚNNÝCH (+ nčlání dríže) $\Psi(r, \varphi) \doteq R(r) \cdot \Phi(\varphi)$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d^2 R}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dR}{dr} + (k^2(r) - \beta^2 - \frac{m^2}{r^2}) R = 0 \\ \Phi = C_1 e^{jm\varphi} + C_2 e^{-jm\varphi} \end{array} \right. \leftarrow \text{celé číslo}$$

$$\Phi(\varphi) = \Phi(\varphi + 2\pi m)$$

Risim': BESSELOVY / HANKELOVY FUNKCE

II. G-O model:



$$\begin{aligned}\beta &= n \cdot k_0 \cdot \cos \varphi \\ k_y &= n \cdot k_0 \cdot \sin \varphi \\ k_y &= n \cdot k_0 \sqrt{1 - \sin^2 \varphi} \\ k_r^2 + k_y^2 + \beta^2 &= n^2 k_0^2\end{aligned}$$

$$\beta = \beta_r + j\alpha \quad \leftarrow \text{Hlasen!}$$

VID \longleftrightarrow PAPERSEK

\exists discrete spectrum vstupních paprsků, které se mohou šířit
(\Rightarrow PERIODICITY PODMINEK)

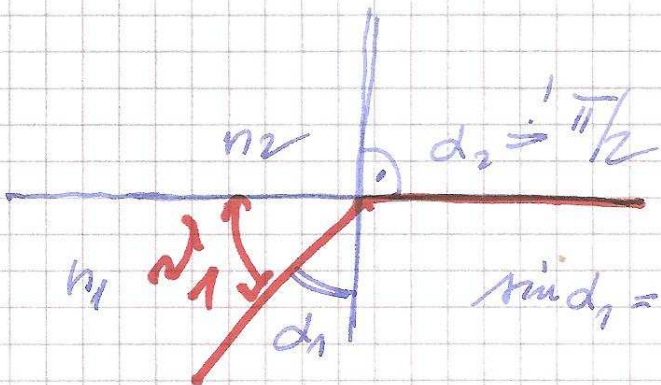
PAPRSKY — meridionální
kone

Vedoucí vid $\vartheta \leq \arccos n_2/n_1$; $\vartheta \leq 49^\circ / \text{Silice}$

FERMATŮV PRINCIP

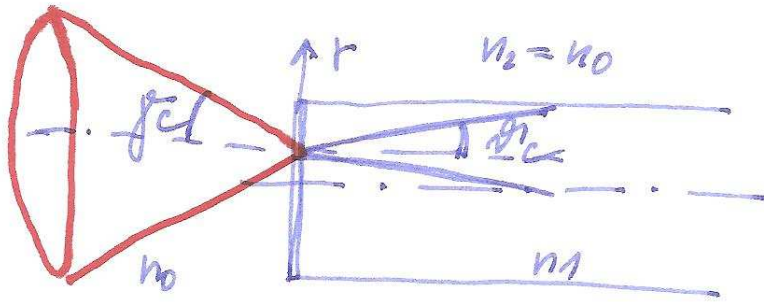
$$\text{min. } L = \int_A^B n \cdot ds$$

$$n_1 = c/v_1; \quad n_2 = c/v_2$$



$$\sin d_1 = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{1.5} = 0.66$$

Numerical aperture



$$NA(r) = n_0 \sin \theta_c = n(r) \sin \theta_c$$
$$\frac{n_0}{n(r)} = \frac{\sin \theta_c}{\sin \theta_c}$$

for $n(r) = \text{const}$:

$$NA = n_0 \sin \theta_c = n_1 \sin \theta_c = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Guiding principles

$$\lambda > \frac{2\pi \cdot a \cdot NA}{2.405} \Rightarrow \text{make 'a'}$$

note:
make $n_1 - n_2$

n : vacuum: 1.0000
vzduch: 1.0003
voda: 1.33
sklo: ~ 1.6
diamant: 2.4