

1) Vyjádření intenzit elektrického a magnetického pole, vlnové délky v šířném směru a toku výkonu rovinné vlny.

- prostředí: izotropní, homogenní; vlastnosti určeny permitivitou ϵ a permeabilitou μ a měrnou vodivostí γ
- intenzita el. pole $E(B) = E(A) e^{-j\vec{k} \cdot \vec{r}_{BA}}$
 - vlnové číslo $\vec{k} = \sqrt{\hat{\epsilon}_r \mu} = k' - jk''$
 - měrná frekvence $k' [\text{rad} \cdot \text{m}^{-1}]$
 - měrný útlum $k'' [\text{m}^{-1}]$
 - vlnová délka $\lambda [\text{m}]$ (vzdálenost dvou sousedních vlnoploch), $\lambda = 2\pi/k'$
 - fázová rychlost $v_f [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$ (rychlost pohybu bodu s fází Φ_0), $v_f = \lambda \cdot f$
- intenzita mag. pole $H(B) = E(B)/Z_0$
 - charakteristická impedance prostředí $Z_0 = \sqrt{\mu/\epsilon}$, ve volném prostoru $Z_0 = (120\pi) \Omega$
- vektory el. a mag. intenzity vzájemně kolmé, kolmé ke směru šíření vlny
- vlnová délka v šířném směru
 - ve směru os $\lambda_x = 2\pi/k'_x$, kde $k'_x = k' \cos \alpha$, podobně pro y
 - $\sin, \cos < 1 \Rightarrow \lambda_x, \lambda_y > \lambda$, vlnová délka ve směru osy x, y je vždy v šířném směru šíření větší než ve směru šíření vlny
- tok výkonu rovinné vlny
 - charakterizován Poyntingovým vektorem $\vec{\Pi} = \vec{E} \times \vec{H}^*$
 - směr shodný se směrem vlny, velikost má význam plošné hustoty komplexního výkonu nesoucího elmag. vlnou
 - výpočet $P(B) = \Pi \cdot S \cdot \cos \alpha$, kde $\Pi = \vec{E} \cdot \vec{H}^*$

② Hlavní typy vedení s vlnou TEM, jejich parametry, provedení a použití.

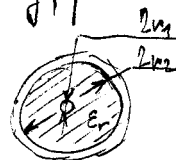
• koaxiální (souosé) vedení

- nesymetrické, $Z_{0v} = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \frac{r_2}{r_1}$

- char. impedance typicky 50Ω , 75Ω

- dielektrikum PE ($\epsilon = 0,67$), PL ($\epsilon = 0,81$), PTFE ($\epsilon = 0,69$)

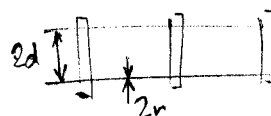
- měř. útlum $0,03$ až $0,3 \text{ dB/m}$ @ 100 MHz , roste s $\sqrt{f}$



• dvou vodičové symetrické vedení

- symetrické, $Z_{0v} = \frac{120}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \frac{d}{r}$

- char. impedance stovky ohm, typ. 300Ω ; $\epsilon \approx 0,8$



• mikropásové vedení

- struktura nanášena na diel. podložce

- materiál musí mít nízké ztráty - korundová, beryliová keramika

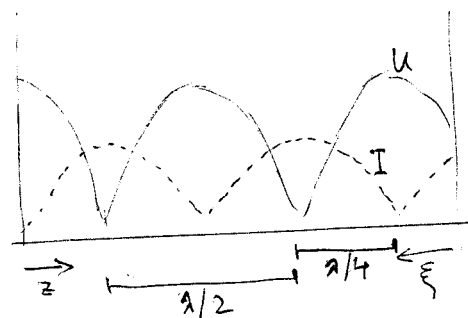
• parametry vedení:

- primární: indukčnost L_1 , kapacita C_1 , odpor R_1 , vodivost G_1

- sekundární: char. impedance $Z_{0v} = \sqrt{L_1/C_1}$, měř. útlum β , měř. fáze α , činitel ztracení ξ

Rozložení napětí a proudu na vedení, kmitky a uzly, činitel odrazu a poměr stojatých vln.

- vlivem sčítání přímé a zpětné vlny vzniká stojatá vlna - maxima i minima proudu i napětí



- v kmitné napětí $U_{max} = |\vec{U}| + |\vec{U}| = |\vec{U}| \cdot (1 + |R|)$
- v uzlu napětí $U_{min} = |\vec{U}| - |\vec{U}| = |\vec{U}| \cdot (1 - |R|)$
- v kmitné napětí je uzel proudu a naopak, vzdálenost sousedních uzlů je $\lambda/2$, vzdálenost uzlu a kmitky je $\lambda/4$

- činitel odrazu ρ_k určen poměrem fázorů přímé a odražené vlny napětí na konci vedení: $\rho_k = \frac{\vec{U}_k}{\vec{U}_k} = \frac{Z_k - Z_{ov}}{Z_k + Z_{ov}}$; $0 \leq |R| \leq 1$; $|R| = \frac{\sigma - 1}{\sigma + 1}$

- poměr stojatých vln σ určen poměrem napětí v kmitné a v uzlu:

$$\sigma = \frac{U_{max}}{U_{min}} = \frac{1 + |R|}{1 - |R|} ; 1 \leq \sigma < \infty$$

- rozložení napětí a proudu v typických situacích:

- vedení nezátlak: $Z_k = 0 \Rightarrow U_k = 0$, $\rho_k = -1$, $\sigma \rightarrow \infty$

- vedení naprosto: $Z_k \rightarrow \infty \Rightarrow I_k = 0$, $\rho_k = -1$, $\sigma \rightarrow \infty$

- vedení zatroučene realnou zátěží

- $R_k < Z_{ov}$ na konci kmitná proud

- $R_k > Z_{ov}$ na konci kmitná napětí

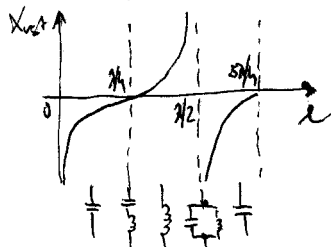
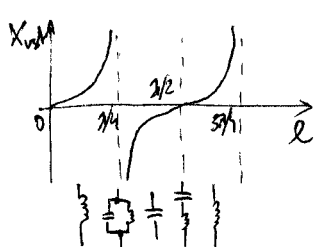
- $R_k = Z_{ov}$ přizpůsobení zatroučene $\Rightarrow$ pouze přímá vlna

- vedení zatroučene reálnou (zdaňlive) prodloužením/zkrácením

Transformace impedance vedením, rezonance. Smithův diagram.

transformace impedance vedením:

- obecně problematické (hyperbolické fce komplexního argumentu)
- zvláštní situace:
 - čtvrtlunové bezstratové vedení $l = \lambda/4, \beta = 0$ - transformace impedance na impedanci inverznou její převrácené hodnotě, $Z_{vst} = Z_{ov}^2 / Z_k$
 - půllunové vedení bezstratové $l = n \cdot \lambda/2, \beta = 0$ - platí $Z_{vst} = Z_k$
 - dlouhé vedení se ztrátami $\beta l \gg 1$ - tlumí odraženou vlnu tak, v'varu, že $Z_{vst} = Z_{ov}$
 - přizpůsobení zatížené vedení $Z_{vst} = Z_{ov} = Z_k$ nezavise na délce vedení
 - vedení nezatřeno a naprázdno - vstupní impedance je výši reaktance X_{vst} , reálná složka je nulová ($R_{vst} = 0$)

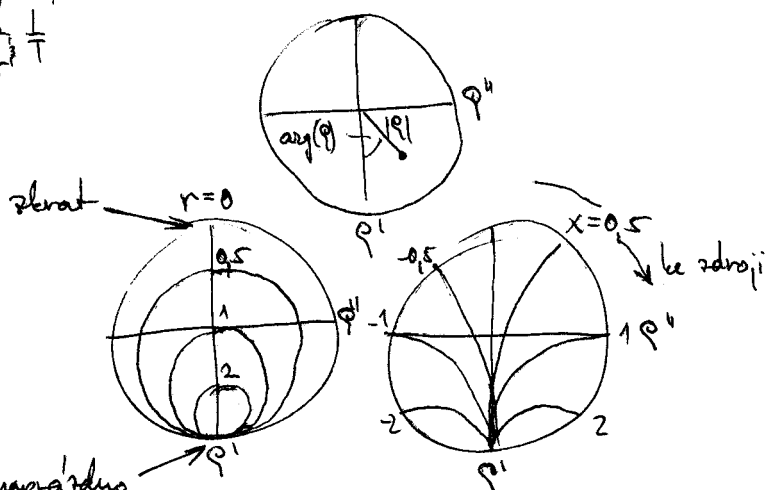


Smithův diagram:

- zobrazuje činitel odrazu i složky impedance do jednoduše diagramu
- normovaná impedance $z = Z/Z_{ov}$
- transformace impedance zátěže na vstup vedení

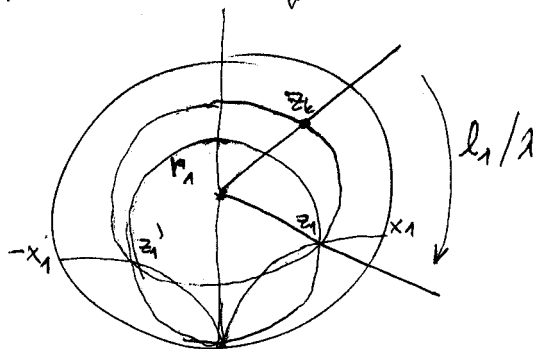
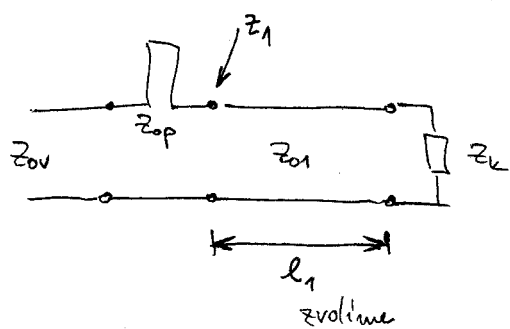
(bod K, otočení o $l/\lambda \Rightarrow$ bod P', ke středu o $e^{-2\beta l} \Rightarrow P \Rightarrow Z_{vst}$)

- poloha vstupu a konce na vedení
- činitel odrazu ρ v daném místě vedení
- reaktance cíle nezatřeno/naprázdno (otočení $l/\lambda \approx 0$ nebo ∞ , odčítat x)
- vzdálenost místa vedení $R = Z_{ov}$ (otočení k průniku s kružnicí $r=1$)
- vzájemný převod impedance a admitance



Přizpůsobování impedance sériovým palyčlem. Postup řešení, provedení obvodu.

- přizpůsobovací obvod - transformace $Z_k \rightarrow Z_{ov}$
- důvody přizpůsobení: jen přímá vlna, největší účinnost, Z_{vst} reálná a stálá
- metody přizpůsobení: čtvrtluný transformátor, kaskádní transformátor, vložené vedení s čtvrtluným transformátorem, sériový a paralelní palyčl
- přizpůsobení sériovým palyčlem
 - využívá vložené vedení a následující kompenzaci reaktancí složky sér. reaktance, palyčlem je úseř vedení (naprázdno/nadřátlo) realizující kompenzační reaktanci



- vložené vedení (Z_{01}, l_1) transformuje Z_k na $Z_1 = R_1 + jX_1$, kde $R_1 = Z_{ov}$, $r_1 = \frac{Z_{ov}}{Z_{01}}$
- imaginární složka X_1 kompenzována reaktancí palyčlu $X_p = -X_1$
- impedance normovány k vloženému vedení Z_{01}
- postup: transformace Z_k na Z_1 (otočením na kružnici r_1), dvě řešení (liši se délkou l_1 a znaménkem reaktance x_1) zvolíme
- palyčl Z_{op} : průsečík kružnice $X_p = -X_1/Z_{op}$ s obvodovou kružnicí ($r=0$), vícem délký nadřátlo nebo naprázdno
- v případě symetrického vedení prvek s poloviční reaktancí $X_p/2$ do každého vodiče

6

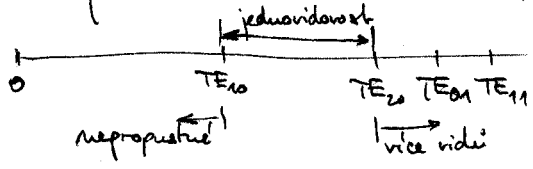
Vlny TE v dutém kovovém vlnovodu obdélníkového průřezu. Délka vlny ve vlnovodu, pásmo jednovládovosti, rozložení pole ve vlnovodu.

• transverzálně elektrická vlna TE

- vektor intenzity el. pole $\vec{E}$ pouze v příčném řezu vlnovodem (nemá podélnou složku), zatímco vektor intenzity mag. pole $\vec{H}$ má složky v příčném i podélném směru
- kovové vlnovody - průřez různé, rozměry $\approx$ flm $\Rightarrow$ oblast GHz, radiolokačny, družicová komunikace (úspěšné ztráty)
- vlna TE může mít jedno vlnové číslo nulové $\Rightarrow$ dominantní vid TE_{10} ($m=1, n=0$)

• parametry

- mezní vlnová délka $\lambda_m = 2a / \sqrt{(\frac{m\pi}{a})^2 + (\frac{n\pi}{b})^2}$
- pásmo jednovládovosti - mezi TE_{10} a TE_{20}



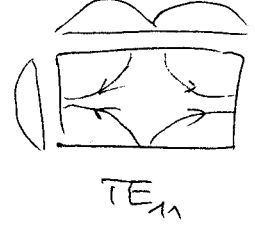
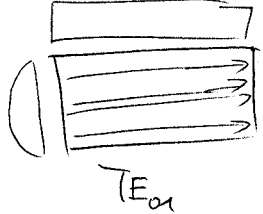
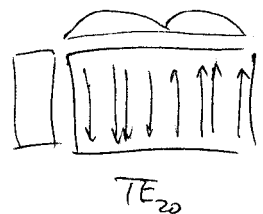
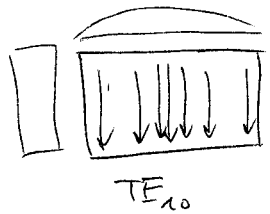
vid	λ_m
TE_{10}	$2a$
TE_{20}	a
TE_{01}	$2b$

- omezení výkonu v impulsním režimu (převážně pevnost dielektrika, $P_{max} \approx b$), v kontinuálním režimu (oteplení stěn, ρ_{ohm}, α)
- fázová a skupinová rychlost, $v_{se} < c < v_g$, pro $f \rightarrow \infty$ je $v_{se}, v_g \rightarrow c$
- délka vlny ve směru osy vlnovodu λ_g , větší než λ ve směru důležitých vln



• rozložení pole ve vlnovodu

- vlnové čísla m, n udávající počet průchů intenzity el. pole podél odpovídající hrany příčného řezu vlnovodem



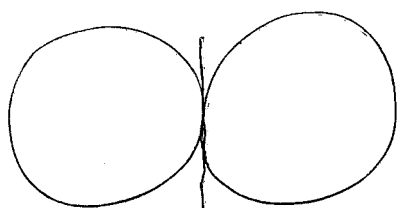
Směrová a impedanční charakteristika symetrického dipólu. Půlvlňový dipól.

- symetrický dipól - dva vodiče oddělené metrem, v které jsou symetricky napájené
- směrová charakteristika:

- fce záření $F = j \frac{\cos(kl \cos \alpha) - \cos(kl)}{\sin \alpha}$, kde $k = \frac{2\pi}{\lambda}$... vlnové číslo

- intenzita el. pole $E = 60 |I_{\max}| F \frac{e^{-jkr}}{r}$

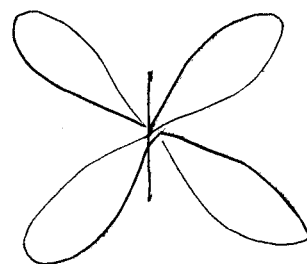
- fce záření závisí na relativní délce ramene $l/\lambda \Rightarrow$ charakteristiky (typický pattern) pro různé l/λ



$l/\lambda = 0,25$... půlvlňový dipól



$l/\lambda = 0,5$
celovlnový dipól



$l/\lambda = 1$

- impedanční charakteristika

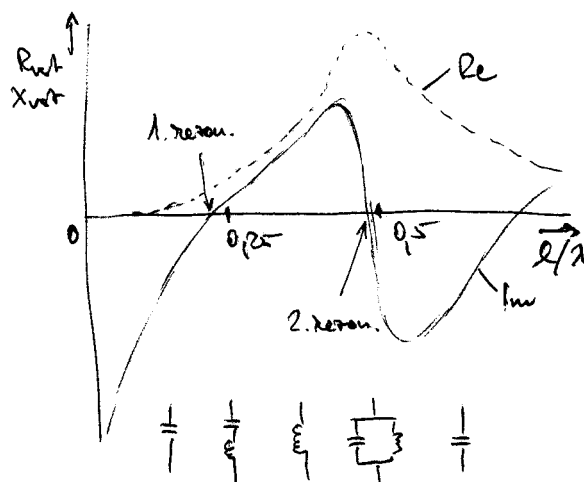
- vstupní impedance - poměr fázové vst. napětí a proudu, rozkládá se o
přesvědčení; R_{vst} vst. odpor R_{vst} , X_{vst} vst. reaktance X_{vst}

- průběh podobný ztrátovému
vedení naprázdno

- hustý dipól má ploché
průběhy, tenký značné výkyvy

- 1. rezonance $\sim 70 \Omega$

- 2. rezonance $\sim 60 \Omega$



- půlvlňový dipól

- rezonanční délka $l_{\text{rez}} = \xi \cdot \lambda/4$ kde ξ ... číselný součinitel (tenký 0,98; hustý 0,9)

- pouze reálná složka impedance, $Z_{\text{vst}} \approx 70 \Omega$

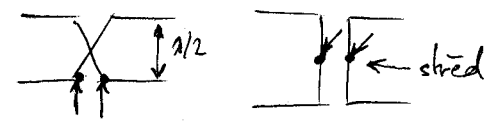
Soufázová anténní soustava s reflektorem, logaritmicko-periodická a kosočtverečná anténa.

• soufázová anténní soustava s reflektorem

- pro získání ostréjší směrovosti a většího zisku, soustavy s vyzařováním příčným a podélným

- soustavy s vyzařováním příčným:

- hlavní lalok ve směru kolmém k ose řady
- všechny prvky baveny se stejnou fází
- lalok se zužuje v rovině osy řady



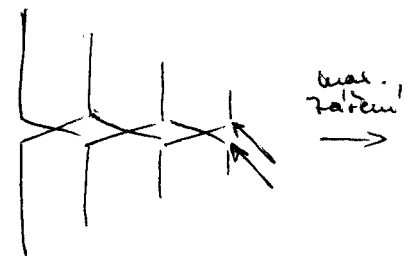
- soustavy s vyzařováním podélným:

- Yagiho antény (galvanicky napájen jediný prvek - aktivní, ostatní napájeny vlněním - pasivní; reflektor, direktory), zisk 10-15 dB

- logaritmicko-periodická anténa

• logaritmicko-periodická anténa

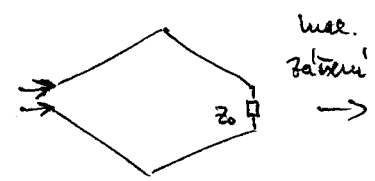
- kritické napájené horizontální dipóly
- poměr délek a vzdáleností dvou sousedních dipólů je všude stejný
- každý vždy dipól v rezonanci + blízké
- menší zisk (~ 10 dB), vysoká širokopásmovost (10:1)



• kosočtverečná anténa

- typická KV anténa

- symetrické vedení s „roztahenými“ vodiči zakončené Z_0
- stále reálná impedance Z_0
- zisk ve směru delší úhlopříčky až 20 dB
- značné rozměry, $a \approx 2 \dots 4 \lambda$



9 Typy a provedení plošných antén, reflektorové antény.

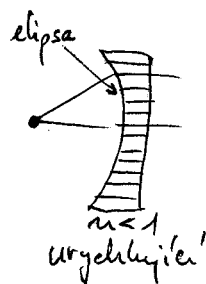
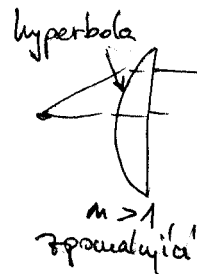
• plošné antény

- trychtýřové antény (trychtýř plochy, kuželový), anténou je rozšířené ústí vlnovodu; nesmí se rozšiřovat prudce $\Rightarrow$ pro přijatelnou velikost bude mít malý zisk a široký hlavní lalok $\Rightarrow$ využít jako primární zářič

- anténní čočky - vyrobeny z VF dielektrika, je to sekundární zářič, musí být osázen primárním zářičem - osazovacím; paprsky musí být rovnoběžné a mít stejnou fázi u ústí

- zpomalující (příliš těžké)

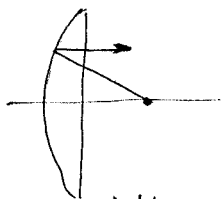
- urychlující (soustava planárních vlnovodů $v_f > c$, velmi těžké, opticky nemožné), $v \approx 0,5$



• reflektorové antény

- parabolický reflektor je sekundární zářič (primární: trychtýř, dipól, šroubovicová anténka, ...)

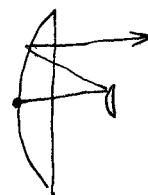
- provedení:



"klasické" $v \approx 0,6$



offsetové $v \approx 0,7$



Cassegrainova anténa

- zisk přes 40 dB, extrémně směrové

- činitel využití ústí $v < 1$ (zastínění apertury, konečná vodivost, nepřesnosti)

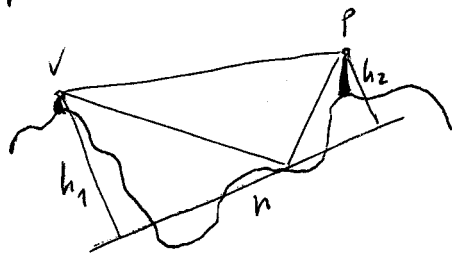
Vlastnosti a využití povrchové, prostorové a ionosférické rádiové vlny.

• přímá vlna

- šíření vlnou atmosférou nad 1GHz vysoký účinný (hydrodynamický, rezonance molekul $\Rightarrow$ atmosférická okna)
- atmosférická refrakce $\Rightarrow$ zavedení efekt. zemského poloměru
- přímá rádiová viditelnost, rádiový horizont

• prostorová vlna

- pro $\lambda > 0,1\text{m}$ se vlna odráží od země, přímá a odražená vlny interferují a tvoří prostorovou vlnu
- při $r \gg h_1, h_2$ platí, že intenzita pole je úměrná výšce antén $\Rightarrow$ co výšší
- pro výpočty nutné správné určení výšky antén nad rovinou odrazu, statistický přístup, digitální mapy + PC
- pro 30kHz až GHz - TV, UKV, GSM, ...



• povrchová vlna

- při malých výškách antén, difrakce vlny na zemi jako díl. částice vodivém tělese; pro malý účinný kmitočet a vysoká radiost
- výpočet složitý $\Rightarrow$ spádové křivky ($E_1 = f(r, f)$ při ϵ_r, μ)
- využití na kmitočtech do [MHz] - DV, SV, námořní spoje a navigace

• ionosférická vlna

- ionosféra - oblast atmosféry ionizovaná UV zářením, od 40km
- D: 50km, E: 110km, F₁: 200km, F₂: 300km - lokální maxima koncentrace elektronů
- nejvyšší kmitočet, kdy se vlna ještě odrazí $f_{\text{max}} = f(f_{\text{krit}}, \psi)$, kde $f_{\text{krit}} = f(N) \dots$ kritický kmitočet (při kolmému dopadu), $f_{\text{max}} > f_{\text{krit}}$
- zdánlivá výška vrstvy h'_{zd}
- max. pracovní kmitočet MUF (F₂), min. LUF (E), optimální kmitočet FOT (0,85MUF)
- únik (náhodná kolísavá intenzita el. pole při příjmu, přechodem lokální zóny v ionosféře $\Rightarrow$ více vln s různou fází, sčítají se)

