

Otázka 17

Základy vyzařování elektromagnetických vln, přehled základních druhů antén a jejich základní parametry (vstupní impedance, směrový diagram, zisk) – liniové, plošné, reflektorové struktury, anténní řady.

17.1 Základy vyzařování elektromagnetických vln

Základní rozdělení antén je na antény vysílací a přijímací. Vysílací anténa je určena k přeměně elektrické energie na energii elmag. vln. Přijímací anténa naopak slouží k přeměně energie elmag. vln na elektrickou energii. Elektromagnetické vlny vysílají kolem každého vodiče, kterým procházejí proud, ale ne každé uspořádání vodičů zaručuje max. vyzařování. Např. u dvoudrátového vedení běžně používaného v telekomunikacích je vyzařování minimální. Největší záření je u jednodrátového vedení. Jako nejjednodušší anténu lze využít syntetický zářič tzv. dipól (s vyzařovací charakteristikou tvaru toroidu).

Veličiny popisující vyzařování elmag. vln:

- S_r hustota vyzářeného výkonu – výkon prošlý jednotkou plochy v daném místě – střední hodnota Poyntingova vektoru v daném místě.
- $F(\vartheta, \varphi)$ vyzařovací (směrová) charakteristika – udává hodnoty intenzity el. pole v bodech na určitém konstantním poloměru (na kulové ploše) v závislosti na úhlech φ, ϑ v porovnání se vztažnou hodnotou intenzity, např. maximální intenzitou pole ve stejném uspořádání.
- $F^2(\vartheta, \varphi)$ výkonová směrová charakteristika – hodnoty hustoty vyzářeného výkonu v bodech na určitém konstantním poloměru (na kulové ploše) v závislosti na úhlech φ, ϑ v porovnání se vztažnou hodnotou hustoty výkonu, např. maximální hustotou pole ve stejném uspořádání.
- W intenzita vyzařování – udává výkon, který vychází elementárním kuželem v určitém směru zářiče.

$$W = S_r r^2$$

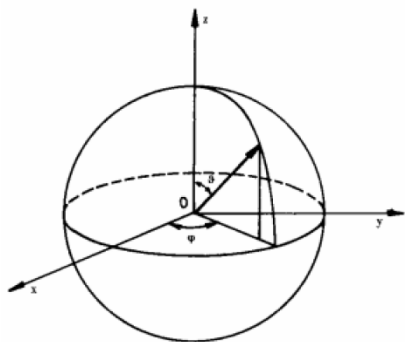
- D směrovost udává velikost maximální intenzity vyzařování daného zářiče, která je vztažena ke střední hodnotě vyzařování (pro výkon vycházející rovnoměrně na všechny strany od zářiče).

$$D = \frac{W_{\max}}{W_{\text{stř}}}$$

- P_r celkový vyzářený výkon, celkový činný výkon vycházející v podobě elmag. vlnění ze zářiče, je to celkový činný výkon, který projde určitou uzavřenou plochou kolem zářiče.

$$P_r = \iint_S S_r dS = \int_0^{4\pi} W d\rho$$

Izotropický zářič



$$\varphi \in \langle 0, 2\pi \rangle \quad \langle 0, 360^\circ \rangle$$

$$\vartheta \in \left\langle -\frac{\pi}{2}, +\frac{\pi}{2} \right\rangle \quad \langle -90^\circ, +90^\circ \rangle \quad \langle 0, \pi \rangle$$



$$\Omega = \frac{A}{r^2}$$

- Poyntingův vektor

$$\vec{w} = \vec{E} \times \vec{H} \quad [W/m^2]$$

$$P_{\text{v}yz} = \iint_S \vec{w} \cdot d\vec{S} \quad [W]$$

- Vyzářená výkonová hustota

$$w = \frac{P_{\text{v}yz}}{4\pi r^2} \quad [W/m^2]$$

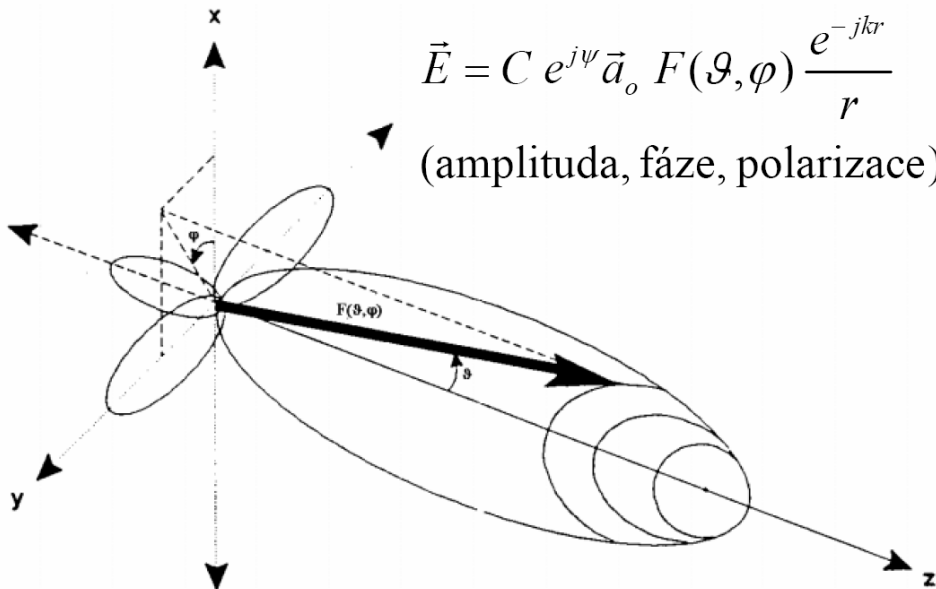
- Intenzita vyzářování

$$U = r^2 w = \frac{P_{\text{v}yz}}{4\pi} \quad [W/sr]$$

- Elmag. vlna ve volném prostoru

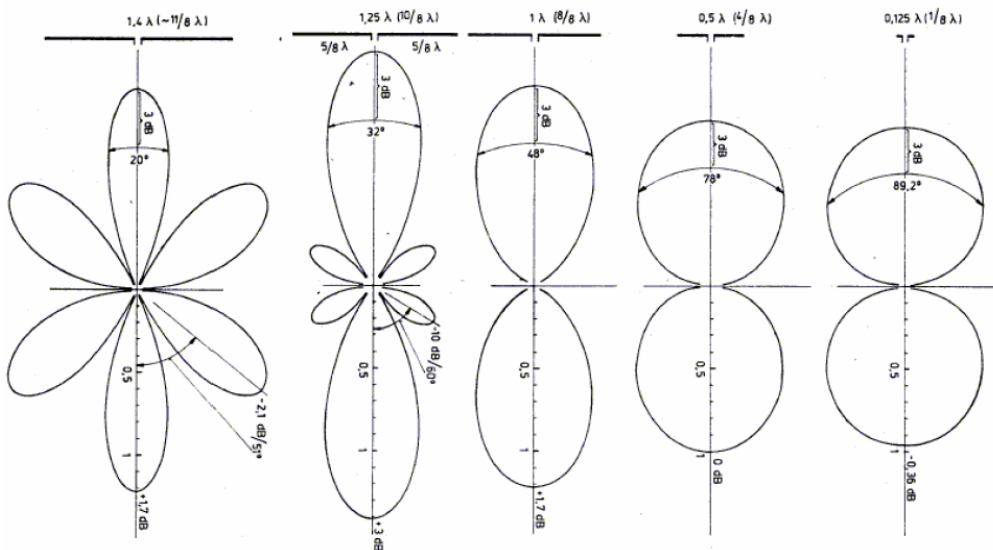
$$w_{\text{v}yz} = \frac{P_{\text{v}yz}}{4\pi r^2} = \frac{E_{\text{ef}}^2}{120\pi} \Rightarrow E_{\text{ef}} = \frac{\sqrt{30P_{\text{v}yz}}}{r}$$

Směrová anténa



$$\vec{E} = C e^{j\psi} \vec{a}_o F(\vartheta, \varphi) \frac{e^{-jkr}}{r}$$

(amplituda, fáze, polarizace)



17.2 Anténní parametry

K popisu vlastností antén z hlediska jednotlivých anténních parametrů si je třeba uvědomit, že každý z parametrů charakterizuje anténu z jiného úhlu pohledu a teprve vzájemně tvoří úplný obraz objektu nazývaného anténa. Mezi jednotlivými anténními parametry je úzká vazba a v úplném popisu antény má každý z nich svou nezastupitelnou roli.

Parametry antén lze rozdělit do dvou základních skupin. Do první skupiny patří parametry, které lze měřit na anténě, jako součásti obvodu (např. vstupní impedance), do druhé skupiny lze zařadit parametry, charakterizující anténu z hlediska jejího vnějšího chování, tj. jak se anténa jeví při měření ve volném prostoru, který ji obklopuje. Do této skupiny patří směrové charakteristiky, zisk a polarizační vlastnosti. K uvedeným anténním parametrům lze přidat množství dalších parametrů, které nejsou v této otázce uvažovány, protože jejich znalost je požadována jen ve speciálních případech (např. šumová teplota antény, efektivní plocha, atd.).

17.2.1 Vstupní impedance

Vektorovým měřením kmitočtové závislosti vstupní impedance antény, nebo koeficientu odrazu, případně pouze skalárním měřením PSV, získáme asi nejlepší informaci o pracovním pásmu antény. Pokud anténa není kmitočtovém pásmu přizpůsobena ke svému napájecímu vedení, dochází v místě spojení k odrazům, tj. ke zhoršenému přenosu energie, a nemá proto většinou smysl v uvedeném kmitočtovém pásmu anténu používat. Z uvedeného důvodu se provádí měření přizpůsobení antény často jako první anténní měření a v případě nepříznivého výsledku nemá většinou smysl provádět měření dalších anténních parametrů. Znalost vstupní impedance antény je důležitá veličina pro návrh přizpůsobovacích obvodů.

$$Z_A = R_A + jX_A$$

$$R_A = R_{vyz} + R_{ztr}$$

Z_A vstupní impedance

R_{vyz} vyzařovací odpor antény

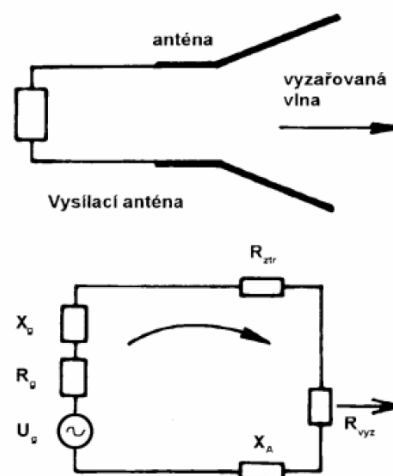
R_{ztr} ztrátový odpor antény

$$Z_g = R_g + jX_g$$

Z_g vnitřní impedance generátoru

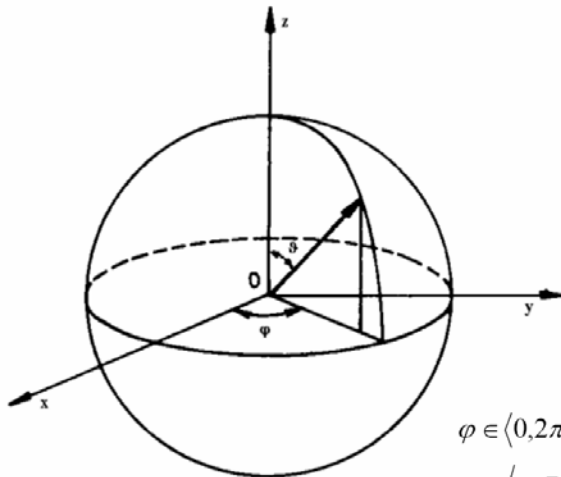
Vyzařený výkon

$$P_{vyz} = \frac{1}{2} R_{vyz} |I_g|^2 = \frac{|U_g|^2}{2} \frac{R_{vyz}}{(R_{vyz} + R_{ztr} + R_g)^2 + (X_A + X_g)^2}$$



17.2.2 Směrové charakteristiky

Směrová charakteristika antény je definována jako reprezentace směrových vlastností antény v závislosti na prostorových souřadnicích. Pro většinu případů se určuje pro vzdálenou oblast antény. Směrová charakteristika bývá v praxi často nahrazována dvourozměrnými, tj. plošnými řezy v tzv. hlavních rovinách.



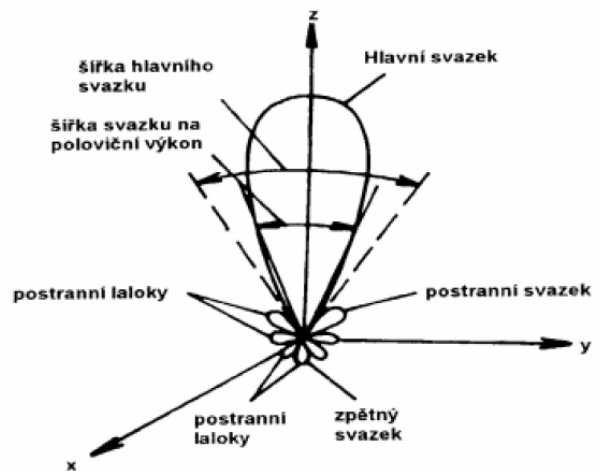
$$\varphi \in \langle 0, 2\pi \rangle \quad \langle 0, 360^\circ \rangle$$

$$\vartheta \in \left\langle -\frac{\pi}{2}, +\frac{\pi}{2} \right\rangle \quad \langle -90^\circ, +90^\circ \rangle \quad \langle 0, \pi \rangle$$

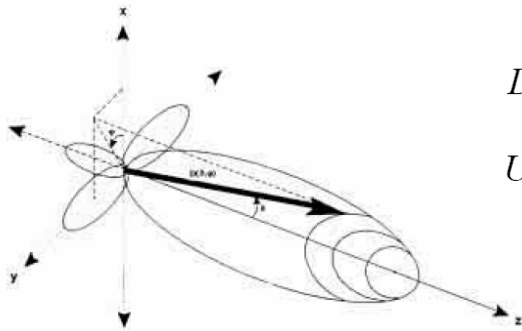
- Hlavní maximum (lalok, svazek) *major lobe*
- vedlejší maxima, *minor lobes*
- postranní maxima, *side lobes*
- zpětný svazek, *back lobe*

- šířka svazku na 1/2 výkon, *HPBW*
- š. sv. mezi prvními nulami, *FNBW*

- odstup postranních laloků, *sidelobe ratio (level)*
- činitel zpětného vyzařování, *front-to-back ratio*



17.2.3 Směřovost D (directivity)



$$D(\vartheta, \varphi) = \frac{U(\vartheta, \varphi)}{U_o}$$

U_o ... intenzita vyz. ref. zářiče

$$D(\vartheta, \varphi) = \frac{4\pi U(\vartheta, \varphi)}{P_{\text{vyz}}} \quad (\text{izotropický referenční zářič})$$

$$D_{\text{max}} = D = \frac{U_{\text{max}}}{U_o} = \frac{4\pi U_{\text{max}}}{P_{\text{vyz}}} = \frac{4\pi}{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi |F_n^2(\vartheta, \varphi)| \sin \vartheta \, d\vartheta \, d\varphi}$$

$$D_{\text{dB}} = 10 \log D \quad [\text{dB (dBi)}]$$

17.2.4 Zisk

Zisk antény je definován jako poměr intenzity vyzařování vytvářeného anténou ve stanoveném směru k intenzitě vyzařování, která by byla dosažena, kdyby výkon dodaný anténě byl rovnoměrně a bezztrátově vyzařován do všech směrů. Zisk antény proto závisí na směru, ve kterém je měřen. Obvykle se ziskem antény myslí maximální zisk antény ve směru jejího maximálního vyzařování, tj. bezrozměrná veličina představující poměr intenzity vyzařování mezi danou anténou a anténou referenční. Jako referenční se nejčastěji používá izotropická anténa, někdy půlvlnný, nebo elementární dipól.


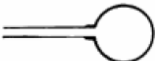

Celková účinnost: $\eta = \eta_r \eta_c \eta_d = \frac{P_r}{P_{\text{zdroj}}}$ zahrnuje ztráty odrazem, ztráty ve vodičích, dielektrické ztráty

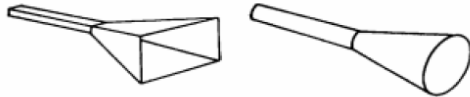
$$\text{Zisk: } G = 4\pi \frac{W_{\text{max}}}{P_{\text{zdroj}}} = 4\pi \frac{W_{\text{max}}}{\frac{P_r}{\eta}} = D \cdot \eta$$

17.2.5 Polarizační vlastnosti

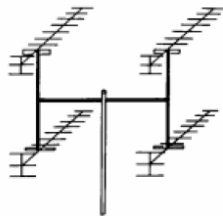
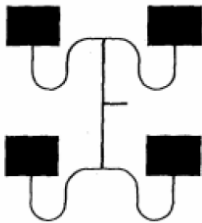
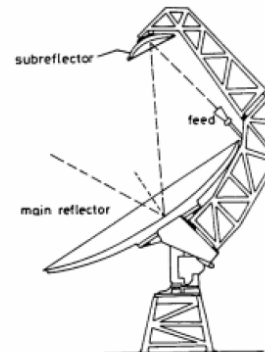
Polarizaci antény definujeme jako polarizaci vlny vyzařované anténou do daného směru v oblasti vzdáleného pole. Není-li směr uveden, předpokládá se směr maximální intenzity vyzařování. Polarizace vlny je definována jako průmět koncového bodu vektoru intenzity elektrického pole do roviny kolmé na směr šíření.

17.3 Druhy antén

- drátové (*wire antenna*) 
- plošné (*aperture antennas*) 
- 



- reflektorové (*reflector antennas*)
- mikropáskové, štěrbinové (*microstrip, slot*)
- anténní čočky (*lens antennas*)
- ...
- anténní řady/pole (*antenna arrays*)



Literatura

Mazánek, M., Pechač, P., Vokurka, J.: Antény a šíření. Vydavatelství ČVUT, Praha 2000.

http://lucy.troja.mff.cuni.cz/~tichy/vfel/02_3.html

<http://encyklopedie.seznam.cz/heslo/5480-antena>

<http://www.urel.feec.vutbr.cz/~raida/multimedia/>

PS:

Přikládám taky dvě prezentace od Pankráce, kde najdete veškerá odvození – vyzařování dipólu a charakteristiky antény...

Nemyslím si, že by něco podobného po nás mohl někdo u státnic chtít, ale pokud budete mít čas koukněte i na to, může to pomoci odstranit případné nejasnosti ☺.