

Směrnost a zisk antén (1)

Jindra Macoun, OK1VR

Mezi autory „anténních“ dotazů a připomínek patří i tací, kteří si chtějí ujasnit základní vlastnosti, aby pak lépe porozuměli praktickým anténním aplikacím a dokázali je odborněji posoudit. Většinou nemají v úmyslu s anténami experimentovat, ale jde jim spíše o podrobnější, popř. názornější výklad některých otázek, které se při obvyklých konstrukčních popisech antén již nezmiňují. Četné dotazy tohoto druhu se týkají zejména zisku a směrnosti antén. Jsou poplatné rozšířenému názoru, že „nejlepším zesilovačem je anténa“, jejíž zisk nakonec odstraní všechny potíže při příjmu nebo radiokomunikaci na různých kmitočtových pásmech. Proto se směrností a ziskem zabývá tento článek.

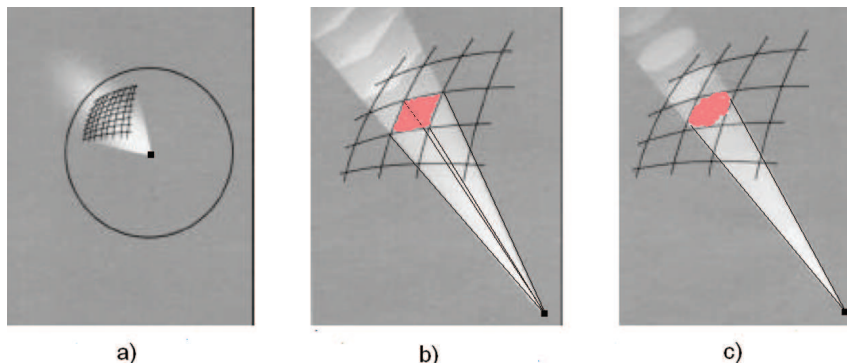
U antén nás především zajímají jejich **zářivé** (zisk, směrnost, diagramy záření) a **napájecí** (impedance, přizpůsobení – ČSV) **vlastnosti**, bez ohledu na to, zda jde o antény přijímací nebo vysílací. Obecně se snadněji popisují a vysvětlují jako vlastnosti antén vysílacích.

Následný výklad o **směrnosti** a **zisku antén** probereme v několika kapitolách. Vždy se uvažuje zisk vlastní antény, který nezahrnuje zisk eventuálních integrovaných elektronických obvodů (zesilovačů). Katalogové údaje antén totiž někdy oba zisky počítají. Pokud není uvedeno jinak, jsou uvažované antény ve volném prostoru, takže uváděné vlastnosti nejsou ovlivňovány blízkým okolím a zemí.

Směrnost antény

Zabýváme-li se ziskem antény, uvažujeme zpravidla anténu směrovou. **Směrnost** je zářivá vlastnost antény vysílat nebo přijímat elmag. vlny s různou intenzitou v závislosti na směru. Většinou jde o **směrnost antény jednosměrné**, vyzářující převážnou část vlny energie **hlavním lalokem diagramu záření** (nebo také **vyžarovacího diagramu**). Hlavní lalok také nazýváme **hlavním svazkem**. Jeho osa je orientována směrem k maximu intenzity záření.

Číselným vyjádřením směrnosti je **činitel směrnosti – D** (z angl. Directivity) jako poměr intenzit záření, tzn. vyzářeného (přijátého) v výkonu do (z) jednoho směru, k intenzitě vyzářené (přijaté) do (z) celého sférického prostoru.



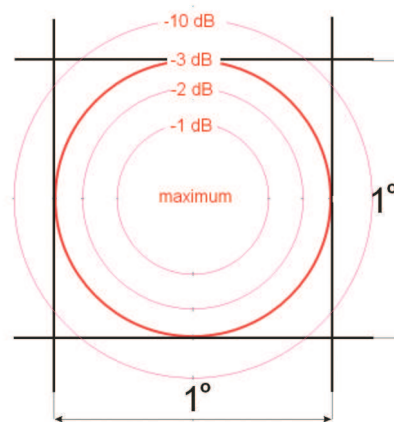
Obr. 1. a) Výkonový tok, resp. ozáření části sférické (kulové) plochy směrovou anténou; b) ozáření jednoho čtverečného stupně sférické plochy nereálným jednostupňovým „jehlancovým“ svazkem; c) ozáření kruhové sférické plochy, vepsané do jednoho čtverečného stupně, jednostupňovým kuželovým svazkem směrové antény. Obecně je ozářená plocha vymezena prostorovým tvarem (3D) diagramu záření, který je stručně definován úhly záření ve dvou navzájem kolmých rovinách

Činitel směrnosti je tedy prostě číslo, které odpovídá **poměru velikosti sférických ploch, ozářených všesměrovou a směrovou anténou**. Čím menší plochu bude tedy daná (směrová) anténa ozářovat, tím větší bude poměr obou ozářených ploch a tím větší bude činitel směrnosti D. Obě antény při tom vyzařují stejný vlnový výkon. Směrová anténa prostě koncentruje vlnový výkon do jediného směru na úkor směru ostatních.

Všesměrovou anténou, zářící rovnoměrně do celého sférického prostoru, je tzv. **izotropický zářič**, což je anténa vztažná (referenční), ale zároveň hypotetická, nereálná. Směrnost pak definuje přesněji výraz **absolutní činitel směrnosti – D_i**.

Pro výpočet, či spíše odhad směrnosti se předpokládá, že sférickou plochu, ozářenou uvažovanou směrovou anténou, definuje a vymezuje **prostorový úhel záření**, ve kterém intenzita záření klesá z maxima na polovinu vyzářeného (přijátého) výkonu, tzn. o 3 dB. Obsah (i tvar) této sférické plochy přibližně určují **úhly záření** (nazývané také **úhly polovičního výkonu**, popř. **vyžarovací úhly**) ve dvou navzájem kolmých rovinách. Známe je z anténní praxe jako parametry, stručně charakterizující **diagramy záření (vyžarovací diagramy)** ve dvou rovinách.

Obsah obou sférických ploch můžeme vyjádřit ve čtverečných stupních [(°)²] nebo v obloukové míře, ve steradiánech [sr]. Steradián je jednotka prostorového úhlu. Je definována jako prostorový



Obr. 2. Znárodnuje jeden čtverečný sférický stupeň, tzn. 1/41 253. část celé sférické plochy. Vepsané (červené) kružnice ohraničují úroveň ozáření sférické plochy jednostupňovým symetrickým kuželovým svazkem. Kružová sférická plocha není ve skutečnosti ozářena rovnoměrně, protože v rozsahu úhlu záření, který ozařované plochy vymezuje, se úroveň ozáření snižuje z maxima na polovinu, resp. o 3 dB, a pak tuto plochu s nižší úrovní dále přezářuje. Skutečný zisk je proto menší než vypočtený podle vzorců (5) nebo (6)

úhel, který vymezí ze středu na jednotkové kouli jednotkovou plochu, resp. na kouli o poloměru r plochu r². Jeden radián (rad) odpovídá středovému úhlu kruhového oblouku, jehož délka se shoduje s poloměrem tohoto oblouku. Tento středový úhel činí 57,3°.

Pro výpočet povrchu, resp. obsahu V (z angl. Volumen) ozářené plochy vycházíme z obloukové délky kružnice na sférické ploše.

Délka celé kružnice:

$$2\pi \text{ rad} = 360^\circ.$$

Jeden obloukový stupeň:

$$2\pi/360^\circ \text{ rad} = \pi/180^\circ \text{ rad}.$$

Jeden sférický (čtverečný) stupeň:

$$(\pi/180^\circ)^2.$$

Obsah V celé sférické plochy:

$$V = 4\pi(\pi/180^\circ)^2 = 41\,253 \text{ sférických čtverečných stupňů} \quad (1).$$

Výše definovaný činitel směrnosti D_i jako poměr ploch ozářených všesměrovou a směrovou anténou pak vyčíslíme ze vzorce

$$D_i = 41\,253/\Theta_{3E} \Theta_{3H} \quad (2),$$

kde Θ_{3E} a Θ_{3H} jsou úhly záření (úhly polovičního výkonu) uvažované směrové antény ve dvou vzájemně kolmých rovinách. Jejich součin je vlastně rozměrem plochy ozářené směrovou anténou.

Pokud by tato směrová anténa ozařovala celým svým výkonem rovnoměrně jen jeden čtverečný stupeň (Θ_{3E} = Θ_{3H} = 1°), pak by její činitel směrnosti byl právě

$$D_i = 41\,253/1 = 41\,253.$$

Obsah celé sférické plochy lze vypočítat jednodušeji ze vzorce

$$V = 4\pi (57,3^\circ)^2 = 41\,253 \quad (3).$$

Pozn.: Číslo 41 253 nám pomáhá odhadnout směrnost antén, ale jinak se s ním v anténní praxi neseťkáváme.

Populárnější je v astronomii, kde se sférických stupňů používá při orientaci na nebeské sféře. Definují např. plochu souhvězdí nebo jiných astronomických

objektů. Např. zdánlivý průměr Slunce nebo Měsíce činí při pohledu ze Země přibližně $0,5^\circ$. Čtyři úplňky tak pokryjí jeden sférický stupeň, takže pro pokrytí celé nebeské sféry bychom jich potřebovali $4 \times 41\,253 = 165\,012$. Kdo by to řekl?

Zisk antény

Číselně vyjádřená směrovost D se jako anténní parametr v praxi neuvádí. Obecně se poměr výkonů obvykle vyjadřuje logaritmicky, tzn. v dB. Ostatně v našem případě se také jedná o poměr výkonů dopadajících na ozařované plochy. V anténní praxi se proto směrovost vyjadřuje logaritmicky jako **zisk G (Gain)** v dB. Ten ovšem nezahrnuje žádné další ztráty (nepřízůsobením, materiálem apod.), se kterými je třeba u každé antény počítat. Přibližuje se však zisku antény přizpůsobené.

Vzorec pro přibližný zisk G_i bezztrátové směrové antény proti izotropickému zářiči lze tedy vyjádřit tímto výrazem:

$$G_i = 10 \log 41\,253 / \Theta_{3E} \Theta_{3H} \quad (4)$$

Např. směrovost $D = 41\,253$ výše uvedené antény s jednostupňovým úhlem záření vyjádřená v dB se tak stává ziskem

$$G_i = 10 \log 41\,253 / 1^2 = 46 \text{ dBi} \quad (5)$$

Reálná platnost čísla 41 253 předpokládá rovnoměrné ozařování jednoho čtvercového stupně prakticky nerealizovatelným prostorovým „jehlancovým“ svazkem záření (obr. 1b). Prostorový (3D) diagram záření jednosměrných antén má obvykle kuželový tvar. V ideálním případě ozařuje kruhovou nebo elipsovitou plochu, „vepsanou“ do čtvercového nebo obdélníkového tvaru, definovaného oběma úhly záření.

Přesnější údaj o směrovém zisku odvozený z jednostupňového diagramu záření vychází z předpokladu, že vyzářený výkon prochází touto kruhovou plochou vepsanou do čtvercové plochy, která je přibližně o 21 % menší (obr. 1c). Přibližný směrový zisk by pak měl být poněkud vyšší a měl by činit

$$G_i = 10 \log 52\,525 / \Theta_{3E} \Theta_{3H} \quad (6)$$

za předpokladu, že všechny vyzářený výkon prochází uvedenou kruhovou sférickou plochou.

Při ideálním jednostupňovém svazku by to mohlo být až 47,2 dB.

V praktických anténních aplikacích však nemají diagramy záření ideální tvar (nehledě na postranní laloky), který snižuje záření v hlavním laloku průměrně o 40 až 55 %. Většinou jsou také rotačně asymetrické, s neshodným úhlem záření v obou polarizačních rovinách.

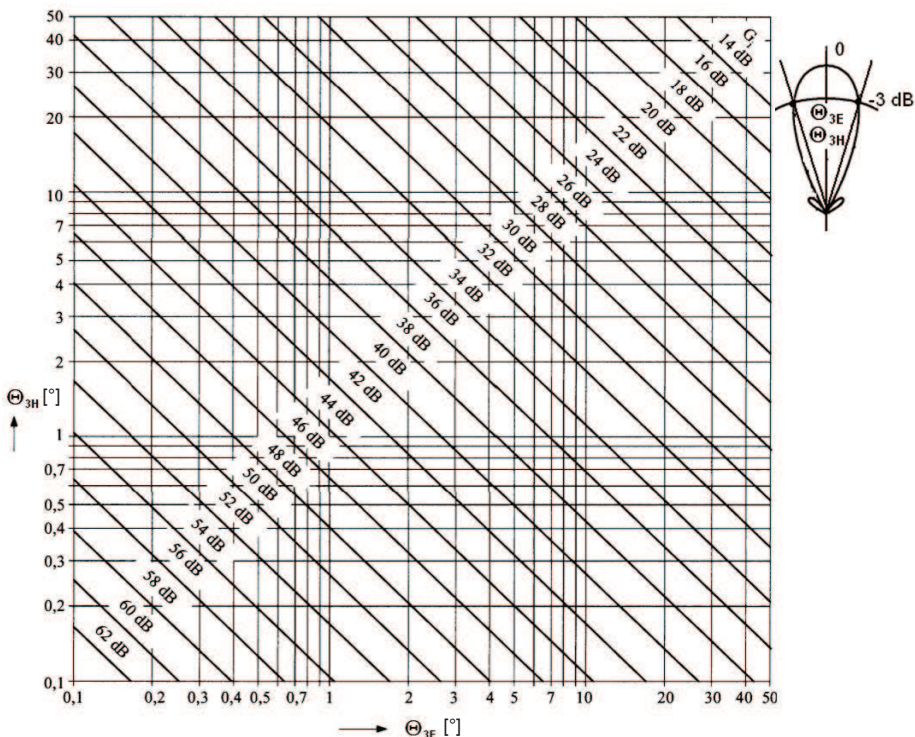
Proto se pro odhad zisku počítá spíše s výrazy

$$G = 10 \log 29\,000 / \Theta_{3E} \Theta_{3H} \quad (7)$$

Úhly Θ_{3E} a Θ_{3H} v tomto případě platí také pro malou a velkou poloosu asymetrického (elipsovitého) kuželového svazku.

Jak bylo již uvedeno, nejsou vypočtené zisky zcela přesné, přestože se nepředpokládá významnější úroveň záření mimo hlavní lalok (mimo vyzářovací úhly).

S přihlédnutím k obtížím při vlastním měření zisku však podávají užitečné informace i v současné době, kdy lze určit zisk antén velmi přesně při jejich modelování.



Obr. 3. Nomogram pro přibližné určení zisku antény z úhlu záření (příjmu) $0,2^\circ$ až 50° ve dvou navzájem kolmých rovinách. Zpravidla jsou to roviny E a H, rovnoběžné s elektrickými a magnetickými složkami elmag. pole antény. Skutečný zisk je proti odečtenému spíše menší. Reálnost odečtených zisků stoupá u užších svazků

Odhad zisku směrové antény

Protože je výhodné mít jednoduchou praktickou pomůcku k rychlému určení směrovosti, resp. zisku antén, jsou výše zmíněné vztahy podkladem pro různé grafy, vyjadřující závislost směrovosti nebo zisku na tvaru vyzářovací charakteristiky. I když neposkytují zcela přesné údaje, jsou často věrohodnější než přímá měření zisku.

Často publikovaný graf zisku z úhlu záření (obr. 3) je dobrou pomůckou při vzájemném porovnávání různých antén s větším ziskem [1].

Dokládá to i tab. 1 (bude v 2. části), kde jsou porovnávány zisky několika typických směrových antén, stanovené modelováním, s údaji odečtenými z grafu, popř. vypočtenými podle výše uvedených vzorců (6, 7).

Odhad zisku všesměrové antény

Jde o antény, jejichž (směrové) záření je soustředěno jen do jedné, obvykle vertikální roviny, zatímco v horizontální rovině září všesměrově. Jsou to např. televizní vysílací antény, základnové antény mobilních operátorů, antény přístupových WiFi bodů apod.

Zatímco u směrových, přesněji jednosměrných antén můžeme použít pro odhad směrovosti, resp. zisku výše uvedené jednoduché vztahy, popř. grafu na obr. 3, tak pro všesměrovou anténu podobné jednoduché vztahy běžné dostupné nejsou.

Diagram záření ve vertikální rovině, který je určujícím pro jejich zisk, lze nicméně aproximovat jednoduchou funkcí, jejíž integrací pak lze získat odpovídající

směrovost, resp. zisk, a to opět jako funkci úhlu Θ , udávajícího šířku svazku v jedné, obvykle svislé rovině. Při vertikálně polarizované anténě je to rovina H. Lze tedy počítat, že

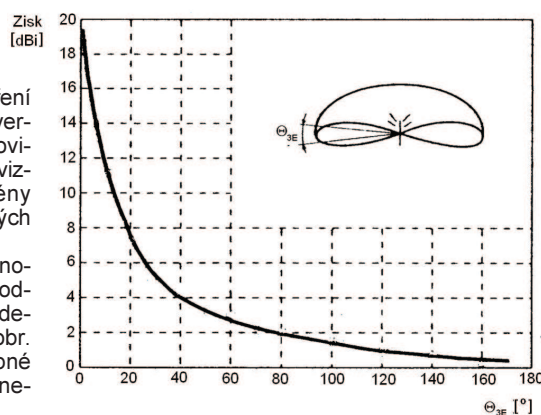
$$G_{\text{dBi}} = 10 \log (191 \sqrt{0,818 + 1/\Theta} - 172,4) \quad (8)$$

Pro prakticky zajímavý interval úhlů záření ve svislé rovině dává tento vztah výsledky, které jsou ve velmi dobré shodě s teoreticky vypočtenou křivkou na obr. 4 [2].

Literatura

[1] Procházková, M.: Antény, encyklopedická příručka. 3. rozšířené vydání, BEN – technická literatura, Praha 2005.

[2] Pozar, D.: Directivity of omnidirectional antennas. IEEE Trans. AP 35. 1993, č. 5, s. 50 – 51.



Obr. 4. Zisk všesměrové antény v závislosti na úhlu záření ve svislé rovině. Platí v podmínkách volného prostoru, tzn. bez vlivu země