

O vícepásmových anténách

Jindra Macoun, OK1VR

Při amatérské radiokomunikaci se dnes většinou používají vícepásmové transceivery. Tato zařízení mají na všech instalovaných pásmech prakticky shodné elektrické parametry (vř výkon, výstupní impedanci, citlivost, selektivitu a další). Mnoha uživatelům by z různých důvodů vyhovovalo, kdyby je mohli provozovat s jedinou vícepásmovou anténou, tzn. anténou, která by také měla na všech (nebo alespoň na několika) pásmech shodné, příp. vyhovující elektrické vlastnosti. Nabízí se tudíž otázka - jakou anténu můžeme považovat za vícepásmovou? Pokusíme se na ni odpovědět.

Několik slov úvodem

Časy se mění a lidé s nimi. Není to tak dávno, co byl provoz na amatérských pásmech nerozlučně spojen s tvořivou technickou činností, protože si radioamatéři svá zařízení konstruovali převážně sami. Bylo to v době, kdy profesionálně vyráběná radiokomunikační zařízení ještě nepokrývala amatérská kmitočtová pásma, ale i později, kdy u nás nebyla tato zařízení běžně dostupná nebo byla velmi drahá. Situace se však změnila. Způsobilo to nebývalý technický pokrok, následovaný nadprodukcí radiokomunikačních zařízení desítek světových výrobců, z nichž mnozí se po celosvětovém uvolnění přeorientovali z výroby vojenské na výrobu pro účely civilní, příp. na výrobu profesionálně kvalitních radiokomunikačních zařízení pro statisíce radioamatérů na celém světě. Důsledkem tohoto vývoje je klesající zájem o dřívější nezbytnou technickou činnost. Amatérskými prostředky totiž dnes nelze realizovat současné technologie miniaturních součástek a obvodů, včetně jejich praktických aplikací v radiokomunikačních zařízeních. Dnes je totiž možné vše koupit, a tak si svá zařízení zhotovují snad jen někteří zájemci o QRP.

Nelze to však říci o anténách. V této oblasti se sice pokrok také nezastavil, změny však nejsou zdaleka tak dramatické a zásadní jako v oblasti elektronických součástek, obvodů a přístrojů.

Pokročila měřicí metodika a související technické vybavení, ale především je zde nová výpočetní technika, která usnadňuje návrhy všech typů antén a odstraňuje tak dřívější experimentování, charakterizované metodou „pokus – omyl“. Na KV a VKV pásmech jsou nicméně stále používány antény velmi podobné anténám z počátků radioamatérského vysílání. Navzdory veškerému technickému pokroku se totiž nemění fyzikální vlastnosti a elektrické parametry základních konstrukčních materiálů, ale i vnějšího prostředí, ve kterém se antény provozují.

Stále se tedy setkáváme s dávno známými a osvědčenými typy klasických antén, byť v rozličných tvarových a rozměrových úpravách, vyhovujících různým místním podmínkám a individuálním provozním záměrům. Proto se s nimi opakovaně experimentuje – i když je lze také koupit hotové. Rozhodneme-li se pro vlastní konstrukci a zvolíme anténu v určité tvarové či rozměrové modifikaci, která by měla vyhovovat našim podmínkám, neměli bychom ji pouze bezmyšlenkovitě

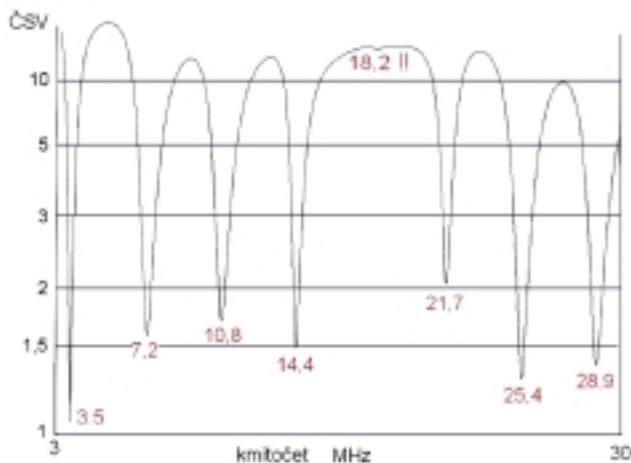
kopírovat podle různých, často jen rozměrových návodů, ale měli bychom se s ní seznámit obecněji, abychom byli schopni zvolenou anténu kriticky posoudit a vyvarovat se tak špatné volby či neúspěšných pokusů, což platí i o anténách vícepásmových.

Elektrické vlastnosti antén

Abychom si v dalším lépe rozuměli, připomeňme, že elektrické vlastnosti antén zjednodušeně dělíme na **vlastnosti napájecí** a **vlastnosti zářivé (směrové)**. Elektrické vlastnosti platí na určitém kmitočtu, v určitém kmitočtovém pásmu nebo na několika kmitočtových pásmech.

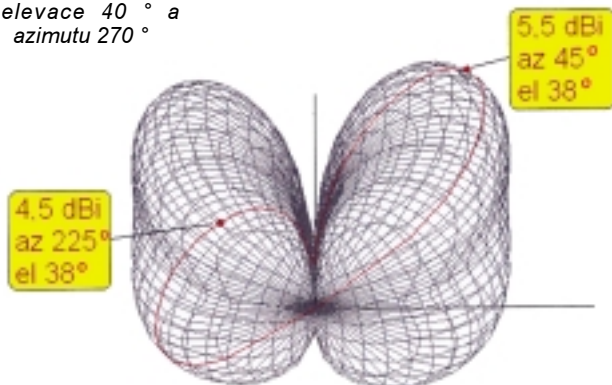
Napájecí vlastnosti jsou charakterizovány **impedancí** antény, nebo jednodušeji **přízpusobením** antény k dané charakteristické (vlnové) impedanci napáječe, vyjádřené **činitelem stojatých vln (ČSV nebo PSV)** na svorkách antény. Pouze dobře přízpusobená anténa ($\text{ČSV} < 1,5$) odebere z vysíláče všechnen vř výkon, a pokud má **dobrou účinnost** (= malé vlastní ztráty), tak jej také (někam) vyzáří. Přízpusobení lze celkem snadno a přesně měřit i v amatérských podmínkách. To je také jeden z hlavních důvodů, proč radioamatéři hodnotí antény převážně z hlediska přízpusobení, resp. napájení, tzn. že **za vyhovující považují anténu, která je na daném kmitočtu (pásmu) přijatelně přízpusobena, a za vícepásmovou pak anténu, která je přízpusobena na několika pásmech** (viz ilustrační obr. 1, ke kterému se v dalším pokračování ještě vrátíme).

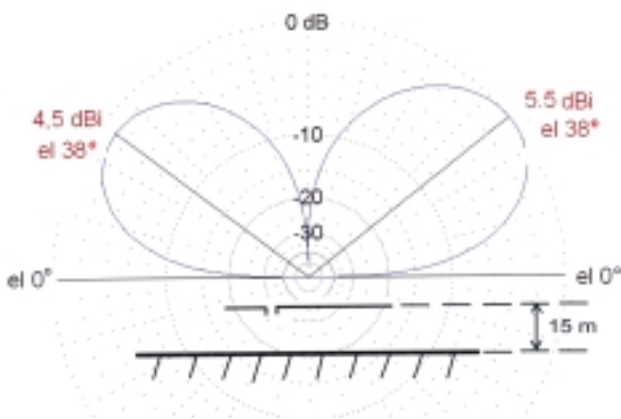
Zářivé (směrové) vlastnosti dobře charakterizuje prostorový, tj. trojrozměrný (3D) **diagram záření** (obr. 2), který se obvykle znázorňuje formou dvou plošných řezů (obr. 3a, b). U antén pro pásmo KV, které jsou provozovány relativně nízko nad zemí, jsou řezy vedeny ve svislé, tj. elevační a vodorovné, tj. azimutální rovině. Číselně vyjadřuje zářivé vlastnosti **zisk antény** (v dB) a **elevační úhel** (el °), odpovídající maximu záření v elevační rovině, jejíž úhlová poloha čili **azimut** (az °) je v horizontální rovině odečítán od vztažného směru (0°) proti směru hodinových ručiček. Vztažným směrem bývá u lineární antény (např. horizontálního drátového dipólu) obvykle její podélná osa. Takže např. azimut elevační roviny, kolmé k podélné ose takové antény, činí 90°, příp. 270° (viz obr. 3). Pro lepší názornost se orientace antény schematicky zakresluje do diagramu záření. U jednosměrné anté-



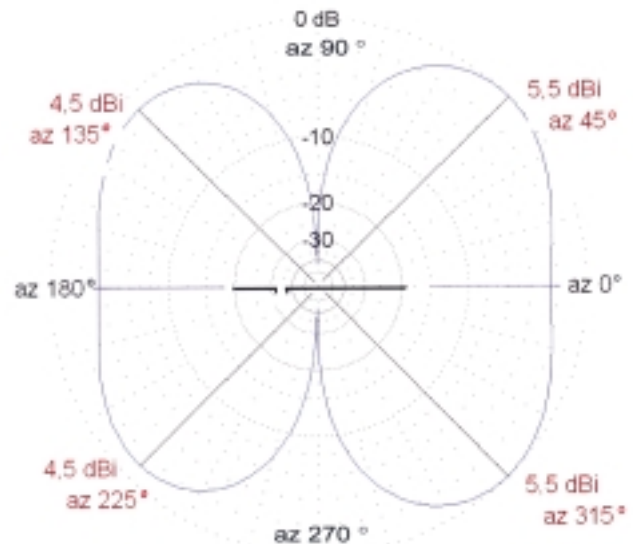
Obr. 1. (Nahoře) Průběh ČSV excentricky napájené půlvlnné rezonanční antény pro 3,5 MHz v pásmu 3 až 30 MHz, vztahující k vlnové impedanci 200 Ω. Vypočtený průběh vícepásmového přízpusobení k 50 Ω napájecí předpokládá použití ideálního širokopásmového transformačního obvodu (1:4) na svorkách antény. Křivka platí pro vodorovný drátový (Cu, Ø 2 mm) dipól o délce 41,2 m ve výši 15 m nad zemí, napájený ve vzdálenosti 8,25 m (20 %) od konce. Všimněme si, že k přízpusobení sice dochází na většině harmonických pásem, ale nikoli na přesných harmonických základního kmitočtu 3,5 MHz [tj. 7 – 10,5 – 14 – (17,5) – 21 – 24,5 a 28 MHz]. Proč tomu tak je, vysvětlíme později

Obr. 2. (Vpravo) Prostorový (3D) diagram záření stejné antény na kmitočtu 7,1 MHz při pohledu „šikmo shora“, tzn. z elevace 40° a azimutu 270°





Obr. 3a. Elevační diagram záření stejné antény (jako na obr. 1 a 2) v azimutu 45° (nebo 315°) vykazuje maximální zisk 4,7, příp. 5,7 dBi při elevaci 38°



Obr. 3b. Azimutální diagram záření v elevační rovině 38° vykazuje 4 téměř shodná maxima zisku v azimutech 45°, 135°, 225° a 315°. Mírnou nesymetrii (1 dB) působí excentrické napájení antény. Z vyzařovacích diagramů je patrné, že pro efektivní DX provoz v pásmu 7 MHz by měla být anténa umístěna ve větší výšce, aby se snížil elevační úhel (38°) maximálního záření. Do azimutů blízkých 90° a 270° pak budou podmínky pro radiokomunikaci minimální v jakékoli výšce

ny se udává ještě **činitel zpětného záření** (v dB). Doplnující informací je pak i **polarizace antény**, určená orientací elektrické složky (vektoru) vyzařovaného elektromagnetického pole vzhledem k zemi.

Zářivé vlastnosti, příp. vyzařovací diagramy i zisk KV antén se v reálných podmínkách měří naopak velmi obtížně. Dnes však můžeme využívat k návrhu antén četných simulačních programů [EZNEC, MANNA, 4NEC2 a další], jejichž pomocí lze zářivé vlastnosti antén určit s větší přesností než komplikovaným a zpravidla nepřesným měřením.

A jsou to právě zářivé vlastnosti, které zásadně ovlivňují směr i dosah radiokomunikace. **I dobře přizpůsobená anténa stěží umožní spojení, pokud nebude vyzařovat žádoucím směrem.** V amatérské praxi se však zpravidla preferují napájecí vlastnosti a na zářivé se zapomíná. Zářivé (směrové) vlastnosti jsou však při návrhu každé antény prioritní záležitostí. Jen ty totiž podmiňují a zaručují komunikaci do žádaných směrů a oblastí.

Profesionálně se ostatně postupuje vždy tak, že se až po nastavení vlastností směrových optimalizují vlastnosti napájecí – přizpůsobení, a to buď na vstupu napáječe (např. pomocí ATU), nebo až na svorkách antény (např. transformací, transformační symetrizací apod.), popř. konstrukční nebo rozměrovou úpravou napájeného prvku. Ale vždy tak, aby se tím neměnily již vypočtené, nastavené či předpokládané vlastnosti směrové (např. u Yagiho antény již neměníme délky a rozteče pasivních prvků). **Zářivé (směrové) vlastnosti antén bychom proto měli obecně považovat za významnější než vlastnosti napájecí, a to i při návrhu či posuzování antén vícepásmových.**

Vícepásmovost antény není běžně a přesně definovaným parametrem. V radioamatérské literatuře se s ním však často setkáváme. Jak a jakými kritérii bychom tedy měli vícepásmovost definovat? Které antény se dnes pokládají za vícepásmové?

Částečnou odpověď na tyto otázky hledáme v amatérském dávnověku, kdy byla pro amatérský provoz uvolněna pouze KV pásma 160 – 80 – 40 – 20 a 10 m. Z jediného, původně krystalového oscilátoru na nejnižším pásmu bylo možné generovat prostým násobením kmitočtu na

ostatní harmonická pásma. Běžně používaný půlvlnný dipól, rezonující na nejnižším kmitočtu, byl pak v rezonanci i na ostatních amatérských a zároveň harmonických pásmech.

Za vícepásmovou byla proto považována každá anténa (tehdy obvykle horizontální drátová), která byla v rezonanci na několika amatérských KV pásmech. Tzn., že její elektrická délka byla vždy celým násobkem základní půlvlnné elektrické délky, odpovídající nejnižšímu provoznímu kmitočtu (pásmu). Taková rezonanční anténa se v každém místě napájení, obvykle uprostřed nebo na konci, ale i mimo střed (např. antény typu Windom), prakticky jeví jako reálný odpor, jehož hodnota je závislá na místě napájení. Tyto okolnosti usnadňovaly napájení tehdy běžnými laděnými symetrickými napáječi, 400- až 600ohmovými „žebříčky“ (koaxiální kabely se ještě nepoužívaly). Délky těchto napáječů byly celistvými násobky základní čtvrtvlnné (transformační) délky, takže na všech harmonických pásmech bylo možno použít buď napěťového čili vysokoimpedančního, nebo proudového čili nízkoimpedančního napájení (popř. střídavě obou způsobů), a tím i shodného anténního vazebního obvodu, i když na každém pásmu znovu doladovaného, příp. přepínaného. Optimální přizpůsobení („naladění“) bylo indikováno maximálním svitem žárovek nebo „neonek“ v napáječích či anténách.

Již tehdy se ovšem vědělo, že na každém z uvedených pásem měla taková anténa jiný diagram záření, tzn. jiné vlastnosti vyzařovací. Protože však byla na všech pásmech v rezonanci, tak byla považována za vícepásmovou. A toto jednoduché kritérium dosud přežívá.

Současný stav

Požadavky na vícepásmovost antén dnes ovlivňují tyto podmínky a okolnosti:

- Výstupní impedance vysílačů (trans-

ceiverů) je na všech pásmech konstantní a činí 50 Ω.

- Anténní napáječi jsou většinou koaxiální kabely libovolné délky s vlnovou impedancí 50 Ω.
- Nároky na přizpůsobení výkonových tranzistorových vf zesilovačů jsou podstatně přísnější než u dříve používaných zesilovačů elektronkových.
- Některá KV pásma uvolněná pro amatérský provoz nejsou již v přesném harmonickém vztahu (obr. 4).
- Používaná radiokomunikační zařízení lze snadno a rychle přepínat na jednotlivá pásma.
- Výkonnější vysílače jsou opatřeny ochranným obvodem, který snižuje jejich výkon při horším přizpůsobení. Často však mají vestavěn automatický anténní přizpůsobovací obvod (transmatch – TRM, nebo antenna tuning unit – ATU), který při každém přeladění vysílače anténu v určitém rozsahu impedancí okamžitě přizpůsobí. Přizpůsobení je indikováno vestavěným indikátorem ČSV.
- Běžně se pak používají samostatné vnější ATU. Vnitřní i vnější ATU lze vypnout (vyřadit), takže na vf výstupu je konstantní impedance 50 Ω.
- Podmínky pro instalaci několika samostatných antén jsou všeobecně nepříznivé.

Jak tedy za současných podmínek posuzovat vícepásmové vlastnosti antén?

Vícepásmovost napájecí (impedanční)

Dnes není obtížné přizpůsobit téměř každou anténu. Lze dokázat, že jednoduchá dipólová anténa může být mnohem kratší než $0,5 \lambda$ a stále bude účinným zářičem. Proto také není nutné, aby byla na nejnižším amatérském pásmu rezonanční – půlvlnnou, takže nebude rezonanční anténou ani na vyšších harmonických pásmech. Na svých svorkách se tedy nebude jevit jako pouhý reálný odpor. Její

impedance bude mít i složku reaktanční, takže ji bude nutné na každém pásmu, popř. kmitočtu „dopřizpůsobit“ výše zmíněnými způsoby. Přizpůsobení takové antény je dokonce snadnější než např. přizpůsobení rezonanční dipólové antény na sudých harmonických kmitočtech (pásmech), kdy její impedance dosahuje při obvyklém středovém napájení několika $k\Omega$.

Uživatel „dopřizpůsobované“ nerezonanční antény si ovšem musí být vědom toho, že vlastně pracuje s „laděnými napáječi“, na kterých jsou stojaté vlny. Impedance vlastní (nepřizpůsobené) antény je totiž transformována napájecím vedením (kabelem) až k ATU u vysílače, tzn. na vstup napáječe, kde teprve dochází k vlastnímu přizpůsobení na 50Ω . Tyto „přizpůsobené“ stojaté vlny na napáječi účinnost napájení antény prakticky nezmenšují, omezují však použití velkých výkonů na běžných koaxiálních napáječích.

Známe sice případy, kdy jednodratová anténní struktura pracuje na dvou nebo třech pásmech s relativně dobrým přizpůsobením bez doladování. Měli bychom však pochopit, že **jednoduché jednodratové „multiband antény“ (např. W5GI, Windom apod.) nemohou být k 50Ω napáječi přizpůsobeny na všech amatérských KV pásmech a zároveň v celém požadovaném kmitočtovém rozsahu každého pásma bez dalších „doladovacích“ (přizpůsobovacích, kompenzačních nebo symetrizačních) obvodů.** (Viz např. obr. 1, kde se přizpůsobené kmitočty harmonických pásem neshodují s přesnými násobky základního kmitočtu 3,5 MHz, takže i tuto vícepásmovou anténu je nutno doladovat.)

Z hlediska napájení lze dnes nicméně provozovat téměř každou anténu jako vícepásmovou, pokud se využije k jejímu „doladování“ výše zmíněných možností.

Při praktickém provozu, zejména soutěžním, kdy se často přechází z pásma na pásmo, a dále při užití vyšších výkonů a zejména pak při ručním (neautomatickém) ladění přizpůsobovacích obvodů budou jistě výhodnější antény s výstupní impedancí, která se bude na všech (soutěžních) pásmech maximálně blížit 50Ω bez dalšího doladování.

Vícepásmovost zářivá (směrová)

Vícepásmová anténa by měla na všech pásmech vyzařovat do stejného nebo stejných směrů.

Obecně jsou zářivé vlastnosti dány rozložením vř proudů podél anténní struktury, které závisí na rozměrovém uspořádání vlastní antény.

Předpokladem pro zabezpečení zářivé vícepásmovosti je proto shodné nebo velmi podobné rozložení vř proudů podél anténní struktury na všech pásmech. Pokud se toho dosáhne, bude mít anténa na těchto pásmech shodný tvar digramu záření, resp. shodný směr maximálního záření (i příjmu). To by mohlo být z obecného hlediska hlavní podmínkou i požadavkem zářivé vícepásmovosti. Na KV pásmech je však třeba počítat s nezanedbatelným vlivem relativně blízké země, která ovlivňuje zejména vyzařování ve vertikální (elevační) rovině a mění tak v závislosti na kmitočtu elevační úhel maximálního záření.

S přihlédnutím ke specifickým podmínkám radioamatérského provozu na KV pásmech, kdy se prakticky ve stejné době střídavě komunikuje na různých pásmech do jiných směrů a jiných vzdáleností, je možné požadavky na zářivou vícepásmovost posuzovat i z tohoto provozního hlediska. Pak by vícepásmová anténa vyzařující na všech pásmech stejným směrem nebyla nejvýhodnější.

Shrňme-li tedy obě zmíněná hlediska, mohli bychom za vícepásmovou považovat také anténu, která bude na každém provozním pásmu přizpůsobena, ale z hlediska vyzařování bude co nejlépe splňovat provozní požadavky ovlivněné aktuálními podmínkami šíření.

Předpokladem pro správnou volbu je tedy znalost vyzařovacích vlastností antén, které by měly splnit provozní požadavky v místních podmínkách.

S některými typy vhodných antén se v dalším seznámíme.

(Pokračování)



Obr. 4 . Znárnňuje „polohu“ a šířku amatérských pásem na vodorovných stupnicích harmonických kmitočtů



Legiš, M.: Televizní technika DVB-T. BEN - technická literatura, 288 stran B5, vázané, obj. č. 121274, MC 299 Kč.

Publikace je koncipována jako souhrn všech dostupných poznatků o digitální televizi, je určena spíše profesionálům a zvědavým amatérům. Autor se snažil, aby bylo vše podstatné po ruce v jedné knize, přičemž je celá problematika probírána do rozumné hloubky.

V úvodních kapitolách najdete základní porovnání mezi analogovou a digitální (pozemní) televizi. Zajímavá je část charakterizující mobilní příjem a jeho výpočty (Dopplerův kmitočtový posuv), tabulky minimálních intenzit pokrytí a další užitečné informace.

Dále jsou postupně rozebrány způsoby komprimování obrazu a zvuku, protichybová ochrana, princip nově vyvinutého systému DVB-H (Handheld) a také nové platformy interaktivní televize MHP.

Zřejmě nejzajímavější je v knize část o měření DVB-T, která vysvětluje význam parametrů a popisuje principy jejich měření (vř parametry a parametry týkající se kanálového kódování). Pro úplnost kniha obsahuje informace o vysílačích DVB-T a problematice sítě SFN.

Velmi prakticky je pojata část, která je zaměřena na problematiku televizních rozvodů signálu DVB-T, často také nazývaných jako domovní rozvody STA. Téma rovněž úzce souvisí s kabelovými rozvody. Kapitola je orientována zejména na zkušenosti s volbou moderních kvalitních prvků a pojednává také o tom, jaké důsledky nesprávná volba přináší.

Zajímavá je příloha, kterou tvoří barevné mapky pokrytí různých oblastí České a Slovenské republiky.

Knihu si můžete zakoupit nebo objednat na dobrou v prodejní technické literatury **BEN**, Věšínova 5, 100 00 Praha 10, tel. 2 7482 0411, 2 7481 6162, fax: 2 7482 2775. Další prodejní místa: Jindřišská 29, Praha 1, Sady Pětatřicátníků 33, Plzeň; Cejl 51 a Veverř 13, Brno, Československá 17, Ostrava, e-mail: knihy@ben.cz, adresa na Internetu: <http://www.ben.cz>. Zásilková služba na Slovensku: **Anima**, anima@anima.sk, www.anima.sk, Slovenskej jednoty 10 (za Národnou bankou SR), 040 01 Košice, tel./fax (055) 6011262.