

# O vícepásmových anténách (2)

## Antény WINDOM

Jindra Macoun, OK1VR

V první části článku (PE 1/07) jsme uvedli, že „vícepásmovost“ KV antén se posuzuje z hlediska napájení (přizpůsobení) a z hlediska vyzařování (diagramy záření). Obvykle se za vícepásmovou považuje anténa, která je přijatelně přizpůsobena na několika KV pásmech, ale její vyzařovací vlastnosti se již nesledují. V dalším se pokusíme přiblížit diskutovanou problematiku prakticky, posouzením elektrických vlastností antén typu WINDOM na několika pásmech.

### Trochu historie

V poslední době je v radioamatérské literatuře častěji zmiňována anténa WINDOM a její modifikace. Poprvé ji popsal L. G. Windom, W8GZ, jako půlvlnnou anténu s jednodrátovým napáječem [1]. Původci jednodrátového napájení byli ve skutečnosti jeho dva přátelé, J. Byrne, W8DKZ, a E. F. Brooke, W8DEM, posluchači elektrotechniky na Ohio State University. „Jednodrátové napájecí vedení“ bylo tématem jejich závěrečné práce pod vedením prof. W. L. Everitta, který spolu s E. F. Byrnem zpracoval toto téma jen o měsíc později v prestižním IRE Proc. [2]. L. G. Windoma ctí publikované prohlášení, že se sám za autora antény nepokládá.

Aktuálně popisované, ale i komerčně produkované „windomky“ se od původního provedení s jednodrátovým napáječem liší způsobem napájení. Je sice opět excentrické, tzn. že horizontální zářič je napájen přibližně v jedné pětině až třetině své délky, kde je rozdělen izolátorem na dvě části. Napáječem již není jediný vodič, ale běžné souosé nebo symetrické vedení.

Principiálně je to tedy již jiná anténa. Zatímco původní anténa WINDOM je napájena „proti zemi“ a její napáječ je ve skutečnosti více či méně vyzařující částí anténní struktury, jsou její aktuální modifikace anténami s nevyzařujícím napáječem. Dnes jsou většinou navrhovány, popisovány a provozovány jako antény „vícepásmové“, zahrnující i nová WARC pásma. Proto jsou oblíbené.

Hlavním argumentem, podporujícím toto uspořádání, je omezení rizik spojených s vyzařováním vln energie z jednodrátového napáječe v bezprostřední blízkosti operátora a jeho zařízení.

Přestože je to tedy již jiná anténa, tak jí původní pojmenování WINDOM zůstává pro excentrické napájení, jak je poprvé zveřejnil L. G. Windom. V literatuře se již setkáváme s názvem COAX-FEED WINDOM (koaxiálním kabelem napájená windomka), nebo výstižněji - OCF-DIPOL (z anglického Off-Centre-Feed dipol = excentricky napájený dipól [3]).

V ARRL Antenna Book jsou již obě modifikace uváděny samostatně a společně pak zařazeny do kategorie antén vícepásmových.

Mezi evropskými amatéry jsou koaxiálním kabelem napájené windomky známy spíše jako FD-antény (Fritzels-Dipol antény) podle K. Fritzela, DJ2XH, který je

od roku 1971 produkuje komerčně. Např. FD4 je čtyřpásmová, koaxiálním kabelem napájená windomka. Pro úplnost dodáváme, že v USA se názvem FD-anténa označuje spíše anténa pro populární Polní dny na KV pásmech (Field Day anténa).

### Anténa WINDOM s jednodrátovým napájením

Bude poučné, vrátíme-li se nejprve k původní verzi výkladu o windomce s jednodrátovým napáječem, jak je uveden např. v knize Amatérské krátkovlnové antény [4], ale i v encyklopedické příručce Antény [5] nebo v nedávno publikovaném článku na stránkách OK QRP INFO [6]. Podrobněji pojednává původní anténu WINDOM český překlad ARRL Antenna Book, který vyšel pod názvem Antény amatérských vysílačů péčí ČAV již v roce 1947 [7]:

*Anténa WINDOM je půlvlnný horizontální zářič napájený libovolně dlouhým vodičem, tzv. jednodrátovým napáječem. Jestliže má prostý vodič vlnovou impedanci  $Z_0$  přibližně 500  $\Omega$ , pak jej lze použít jako napáječ, připojíme-li jej k anténě v bodě, kde se jeho vlnová impedance shoduje s impedancí antény měřené v tomto bodě proti zemi. Pro půlvlnný zářič je tento bod ve vzdálenosti 0,18  $\lambda$  od konce antény, tzn. přibližně v jedné třetině (36 %) její délky. K přesnému určení místa připojení lze použít vhodné indikátory stojatých vln na tomto napáječi, popř. další indikátory rozložení proudu ve vlastním zářiči (mohou jimi být i malé žárovky, jak to např. popisuje OK1JSI [6]). V optimálním uspořádání jednodrátový napáječ příliš nevyzařuje (?) a ne deformuje vyzařovací diagram horizontální antény. Windomka byla původně používána jen jako jednopásmová, většinou v pásmu 3,5 MHz. Později se ukázalo, že excentrické napájení umožňuje přijatelné přizpůsobení i na některých harmonických pásmech. Anténa pak již byla popisována a provozována jako „vícepásmová“.*

Podle nových poznatků, ověřených pomocí simulačních programů (např. MMANA, EZNEC, 4NEC2 aj.), kterých dnes využívají k analýze a návrhu antén rovněž radioamatéři, můžeme doplnit charakteristiku původní antény WINDOM asi v tomto smyslu:

Anténa WINDOM je rezonanční, zpravidla horizontální zářič, napájený jednodrátovým napáječem (tzn. prostým vo-



Obr. 1. Titulní strana časopisu QST, kde byla po prvé popsána anténa WINDOM

dičem) v místě, kde se jeho vlnová impedance shoduje s reálnou složkou impedance antény, měřené proti zemi. Reaktanční složka impedance je u rezonující antény nulová, takže napáječ je zatížen prakticky jen reálným odporem. Za těchto podmínek pak na napáječi nevzniknou vlny stojaté, nýbrž postupné. Rozložení vln proudů podél jednodrátového napáječe je tedy víceméně konstantní (viz obr. 2 b, e). Napáječ nicméně vyzařuje, což sice přispívá k všesměrovějšímu vyzařování antény, ale objevují se potíže, spojené s nežádoucím pronikáním vln energie až k radiokomunikačnímu zařízení a k dalším přístrojům a počítačům v ham-shacku. Příjem pak nepříznivě ovlivňuje zvýšená hladina rušení a šumů, které k nestíněnému napáječi pronikají z rušivých zdrojů těsnou vazbou s okolními, většinou vertikálními vodiči.

Jednodrátový napáječ, tzn. jediný, nad zemí vedený vodič (horizontální, vertikální či nakloněný), může být použit jako napájecí vedení s malými ztrátami, neuvážujeme-li jeho „ztráty“ vyzařováním. Jeho vlnová impedance  $Z_0$  závisí na výšce nad zemí, průměru a délce. Země (nebo jiná protiváha) je vlastně druhým vodičem tohoto „vedení.“ Při výpočtu vlnové impedance jednodrátového napáječe se vychází z upraveného vzorce pro dvoudrátové vedení, jehož druhý, „podzemní“ vodič je „zrcadlovým obrazem“ vodiče nadzemního. Vlnová impedance kolísá kolem hodnot 400 až 600  $\Omega$ , vyhovujících impedanci antény v místě napájení.

Tato impedance se podél půlvlnné antény zvyšuje z minimálních hodnot uprostřed zářiče na stovky  $\Omega$  až k $\Omega$  na jeho koncích. V místě napájení je proto impedance této antény vždy podstatně vyšší než ostatní ztrátové odpory, takže anténa pracuje s téměř 100 % účinností. Všechno v výkon je tedy vždy (někam) vyzářeno.

Pokud je jednodrátový (obvykle vertikální) napáječ připojen až na konci (horizontálního) zářiče, stává se z antény WINDOM invertovaná L-anténa (obr. 2 a, d), popř. anténa LW (Long Wire) na pásmech vyšších. Je-li vertikální napáječ připojen uprostřed horizontálního dipólu,



vzniká klasická, vertikálně polarizovaná T-anténa, resp. vertikální zářič s kapacitní zátěží (obr. 2 c, f). Pokud je zářič proti napájecí fyzicky krátký, redukuje se celá anténní struktura na pouhý vertikální zářič.

Připomínáme, že anténa WINDOM s jednodrátovým napáječem je napájena „proti zemi“. Tuto zemi v lepším případě nahrazujeme umělou zemí – protiváhou z několika radiálních vodičů. Vzhledem k velké impedanci antény WINDOM v místě jednodrátového napájení nejsou požadavky na umělou zem velké. Postačí několik radiálních vodičů o délce  $0,1 \lambda$  na nejnižším kmotočtu, tak aby ztrátový odpor této protiváhy nepřekračoval  $10 \Omega$ . Je to účinnější řešení než „země“ realizovaná elektrovednou nebo jinou vodivou domovní sítí. Anténa WINDOM s jednodrátovým napáječem je proto i s poměrně skromným zemním systémem účinným zářičem.

Na vstupu napáječe je ovšem vždy nezbytný dolaďovaný LC obvod pro transformaci impedance z přibližných  $500 \Omega$  na vlnovou impedanci běžného koaxiálního napáječe, tzn. výstupní impedanci vysílače –  $50 \Omega$ . S přihlédnutím k této skutečnosti není tedy klasická windomka z hlediska napájení anténou vícepásmovou.

Napájecí vlastnosti antény WINDOM, včetně parametrů přizpůsobovacích obvodů lze ze zadaných rozměrů přibližně stanovit programem **WINDOM 2.exe** [8], který je nyní k dispozici i na stránkách <http://www.aradio.cz>.

Program WINDOM 2.exe je samorozbalovací, okamžitě použitelný. Neinstaluje se. Po stažení se pouze uloží na disk. Startuje se dvojklikem na ikonu. „Chodí“ i na starších počítačích s Win 95.

#### Číselně se zadávají tyto údaje:

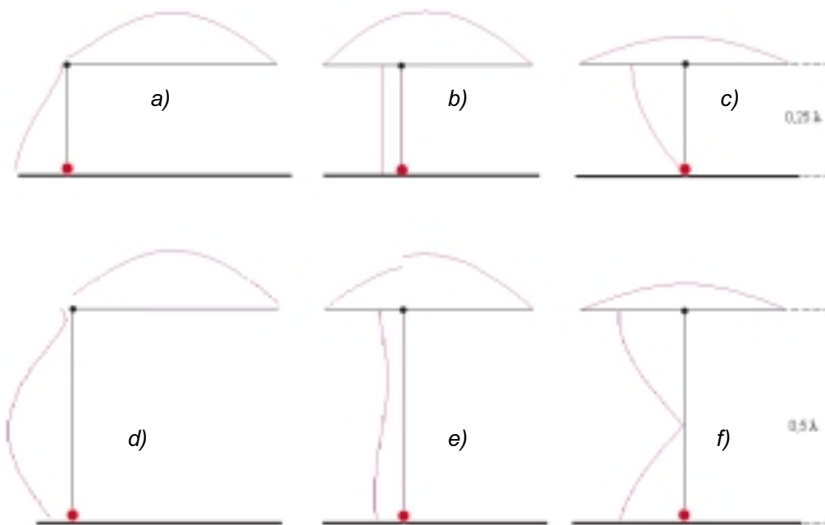
Délka zářiče [m], vzdálenost napájecího bodu od středu zářiče [m], délka vertikálního vodiče – napáječe [m], průměry obou vodičů [mm] a ztrátový odpor protiváhy [ $\Omega$ ].

#### Program vypočte:

Vlnovou impedanci napáječe i zářiče [ $\Omega$ ], složky impedance (rezistanci a reaktanci [ $\Omega$ ]) v místě připojení napáječe k anténě a rovněž na vstupu napáječe. Dále sériovou kompenzační reaktanci na vstupu napáječe [ $\mu\text{H}$  nebo  $\text{pF}$ ] nebo parametry L-článku [ $\mu\text{H}$  a  $\text{pF}$ ] pro přizpůsobení k vlnové impedanci  $50 \Omega$ . Navíc pak ještě účinnost antény v %, resp. ztrátu ve stupních „S“.

Všechny zadávané a vypočtené parametry jsou zobrazeny v jediném okně (obr. 3). Každý ze zadávaných parametrů lze snadno měnit dvojicí číselových kláves a současně

Obr. 3. Hlavní okno programu WINDOM 2 se všemi zadanými a vypočtenými údaji



Obr. 2. Rozložení vř proudů podél půlvlnné antény, napájené jednodrátovým napáječem o délce  $0,25 \lambda$  a  $0,5 \lambda$ . Vypočteno a zobrazeno programem EZNEC.

Shoduje-li se vlnová impedance jednodrátového napáječe s impedancí antény v místě napájení, nevznikají stojaté vlny, impedance antény se beze změny přenáší na vstup napáječe nezávisle na jeho délce (obr. 1 b, e).

Transformační vlastnosti téhož napáječe závisí při neshodných impedancích na jeho délce, takže podél napáječe vzniknou stojaté vlny (obr. 1 a, c, d, f), vyzařování napáječe je intenzivnější a impedance na vstupu napáječe nabývá extrémních hodnot.

Čím je napáječ delší (na vyšších harmonických pásmech), tím více vyzařuje a nepříznivě ovlivňuje záření vlastní antény.

sledovat vliv změn na vypočtených hodnotách.

Číselnicovými klávesami „1“ a „2“ by se měla nejprve optimalizovat výchozí délka zářiče tak, aby byl na zvoleném kmotočtu v rezonanci, čili aby reaktanní složka impedance byla v napájecím bodě minimální. Pak už je možné posouvat napájecí bod klávesami „5“ a „6“ do místa s impedancí shodnou s vlnovou impedancí napáječe, který jí pak nezávisle na své délce přeneše na vstupní svorky, tzn. na vstup přizpůsobovacího obvodu.

Program WINDOM 2 nepočítá zářivé vlastnosti antény.

## Literatura

[1] Windom, L. G., W8GZ: Notes on Ethereal Antennas – Practical Design Data for the Single-Wire-Feed Hertz Antenna. QST, Sept. 1929.

[2] Everitt, W. L.; Byrne, J. F.: Single-Wire Transmission Lines for Short-Wave Antennas. Proc. IRE, Oct. 1929.

[3] Straw, R. D., N6BV; Beezley, B., K6TSI, Hall, L. G., K1TD: The ARRL Antenna Book. 17.ed., 1997.

[4] Ikrényi, I.: Amatérské krátkovlnové antény. Bratislava, ALFA, 2. vyd., 1972.

[5] Procházka, M.: Antény – encyklopedická příručka. Praha, BEN - technická literatura, 3. vyd., 2005.

[6] Šolc, I., OK1JSI.: Jak jsme si kdysi hráli s anténami. OK QRP INFO, č. 57/2005.

[7] Topinka, Otto, OK1TO: Antény amatérských vysílačů. 2. svazek knižnice ČAV, 1947.

[8] Edwards, R. J., G3FGQ: WINDOM 2.exe - program pro výpočet půlvlnných antén WINDOM s jednodrátovým napáječem.

```

C:\DOCUME~1\p\lochawindom2.exe
A. Overall dipole length, metres . 42.65      D. Wire diameter, mm ... 2.00
B. Offset from dipole centre, mtrs 4.85      E. Ground loss, ohms ... 5.8
C. Length of vertical wire, metres 21.37      F. Frequency, MHz ..... 3.500

Length of short side of tap = 16.48 metres. Long side length = 26.18 metres
Electrical length of dipole = 0.498 waves. Length of vertical = 0.249 waves.
Zo of dipole = 594 ohms. Zo of vertical = 542 ohms.
Dipole tap input resistance = 592 ohms. Tap input reactance = 1 ohms.

Input resistance at base = 505 ohms. Input reactance = -103 ohms.
Tune out base input reactance with 4.7 micro-henrys in series with wire.
Note: This tuning component is omitted when an L-network is used.

Radiating efficiency = 95.7 % equivalent to a loss of 0.8 'S' units.

----- L-NETWORK COMPONENTS TO MATCH BASE IMPEDANCE TO 50 OHMS -----
Series component = 7.0 micro-henrys in series with transmitter.
Shunt component = 249 pico-farads in shunt with antenna.

Vary length of dipole: 1.2 Vary vertical length: 3.4 Vary offset: 5.6
Vary ground loss ohms: 7.8 Vary freq slow: 9.0 Vary freq fast: 0.P
Hit A..F to change input data. S(start again), Q(quit program) ....

```

