

Anténní soustavy z celovlnných smyček (2)

Jindra Macoun, OK1VR

Článek navazuje na 1. část (PE-AR 5/2012) dalšími informacemi o vlastnostech anténních soustav z celovlnných pravoúhlých smyček – quadů. Uvádějí se směrové a impedanční vlastnosti několika konfigurací. Rozměry ve vlnových délkách usnadňují realizaci podobných sestav na různých kmitočtových pásmech.

Krátká rekapitulace

Úvodem připomeňme závěr první části o nejužívanější soustavě celovlnných pravoúhlých smyček, o dvoučlenné anténně BIQUAD (jinak také Twin-Diamond-Quad, Doppelquad nebo Doppelrhombus), dále 2Q.

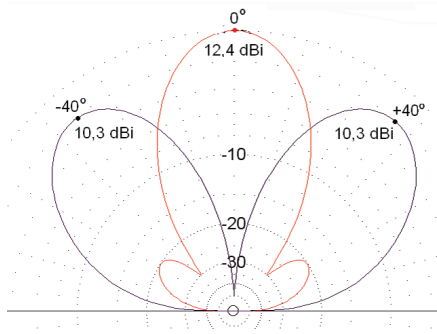
- Z hlediska zisku činí optimální vzdálenost mezi vzájemně přilehlými vrcholy dvou celovlnných pravoúhlých smyček přibližně $0,5 \lambda$. Není to rozměr kritický, ale při napájení obou smyček uprostřed půlvlnného symetrického spojovacího vedení lze jeho vlnovou impedanci, tzn. vlnovou impedanci obou čtvrtvlnných (a transformačních) úseků celou dvojici snadněji přizpůsobit.

- Zisk této optimalizované dvojice – opt2Q s oddělenými smyčkami, umístěné před plošným reflektorem, činí až 12,4 dBi, je tedy až o 2,3 dB vyšší než zisk obvyklého uspořádání antény opt2Q – s dvojicí smyček těsně přilehlých (viz tab. 2 v 1. části).

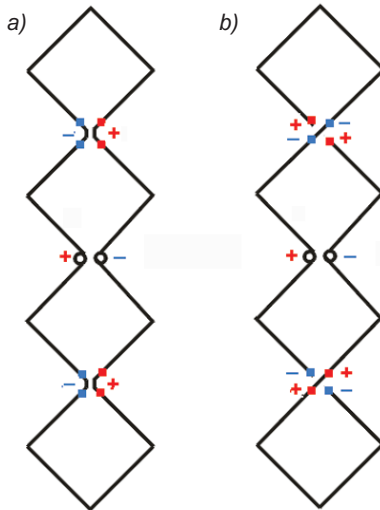
- Uspořádání s oddělenými smyčkami patrně nebyla publikována. Výjimkou jsou některé aplikace na WIFI pásmo 2,4 GHz (obr. 1) pro místní síť s horizontální polarizací. Horizontální polarizace omezuje rušení a podporuje přesnost přenosu dat na pásmu, „přeplněném“ vertikálně polarizovanými signály.

Anténa QUADROQUAD

Snaha o další zvýšení zisku antény 2Q vedla k čtyřsmyčkové anténě QUADROQUAD – 4Q. Principiálně je to čtyřčlenná soustava soufázově napájených pravoúhlých celovlnných smyček. Podmínka soufázového napájení je nezbytná pro zlepšení směrovosti i při větším počtu dílčích antén v soustavě.



Obr. 3. Diagramy záření antény 4Q (dle obr. 2) při soufázovém (červená) a protifázovém (černá) napájení vnějších smyček. Platí v rovině H, tzn. v elevační (svislé) rovině při horizontální polarizaci antény



Obr. 2. Schéma čtyřsmyčkové antény 4Q. Při soufázovém napájení musí být na stejnolehých vstupních svorkách všech smyček zabezpečena stejná fáze „překřížením“ napájením vnějších smyček. V místě překřížení není spodní vodič přerušen

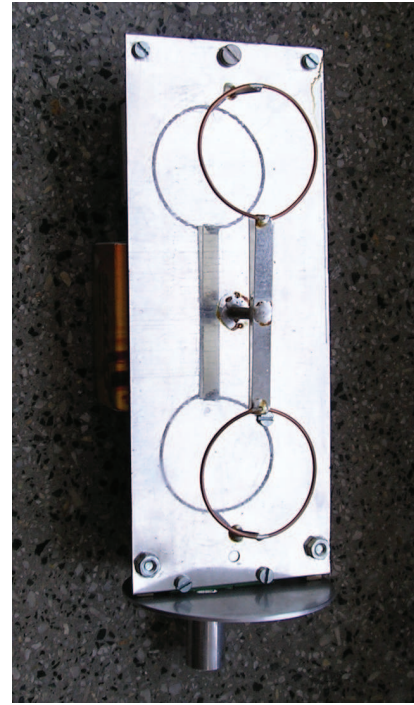
Při společném napájení čtveřice těsně uspořádaných celovlnných smyček 4Q lze tuto podmínku splnit pouze sfázováním obou vnějších „sériově“ připojených smyček s paralelně spojenými (a společně napájenými) smyčkami vnitřními. Provede se to oboustranným „překřížením“ vodičů spojujících vnější a vnitřní smyčky. Názornější představu nabízí obr. 2.

Na symetrických výstupech vnitřních smyček je proti vstupním svorkám posunuta fáze právě o půlvlnu, tzn. o 180° . Schematicky je to označeno znaménky + a -. Aby se na stejnolehých svorkách vnějších smyček objevila shodná fáze se vstupem vnitřních smyček, musí se tam proto spojit protilehlé svorky. Pak bude mít anténa vyšší zisk v jediném maximu elevačního diagramu (obr. 3).

Pro tuto úpravu se ujal název QUADROQUAD (4Q). Elektrické parametry jsou uvedeny ve srovnávací tabulce (tab. 1) na následující stránce.

Při prostém paralelním spojení všech stejnolehých svorek by vnější smyčky nebyly napájeny soufázově s vnitřními a diagram by byl dvoulobový s výrazným minimem ve směru zamýšleného spojení (obr. 3). V tomto případě by byla tato horizontálně polarizovaná anténa při jednosměrné komunikaci prakticky nepoužitelná.

Za vhodných okolností je v tomto případě použitelná jako vertikálně polarizovaná dvousměrná anténa, s přijatelným

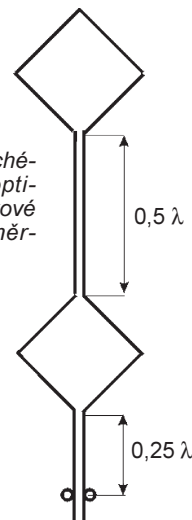


Obr. 1. Dvojice kruhových smyček před plošným reflektorem – optimalizovaná anténa BIQUAD – (opt2Q) na pásmo 2,4 GHz (WIFI) s horizontální polarizací. Vlastnosti celovlnných (přesněji jedno-vlnných) kruhových smyček se prakticky neliší od smyček čtvercových – quadů

ziskem kolem 10 dBi do každého z obou laloků s azimutovým rozdílem 80° . Anténa se však musí otočit kolem vodorovné osy, kolmé k plošnému reflektoru, o 90° .

Optimalizovaný QUADROQUAD

Poznatky o vlivu vzájemných roztečí dílčích antén na směrové vlastnosti celé anténní soustavy platí obecně. Uplatníme je i u původní úpravy čtyřčlenné soustavy 4Q s těsně přilehlými smyčkami, připojíme-li a zároveň prostorově oddělíme obě vnější smyčky půlvlnným symetrickým vedením, které nám také otočí fázi o dalších 180° , takže pro soufázové napájení vnějších smyček již není nutné vodiče křížit. Tuto modifikaci čtyřčlenné soustavy pravoúhlých celovlnných smyček považujeme za optimalizovanou anténu –



Obr. 4. Rozměrové schéma jedné poloviny optimalizované čtyřsmyčkové antény opt4Q v poměrném měřítku

1	2	3	4	5	6	7	8
anténa	s_λ	G [dBi]	θ_{3H}°	θ_{3E}°	f_{res}	Z_Ω	postr. lal./H
1 x quad	—	9,0	81,3	66,4	$1,05 f_0$	93	žádné
2 x quad (2Q)	0	10,1	59	66,4	$1,02 f_0$	68	žádné
2 x quad (opt2Q)	1 x 0,5	12,4	31,6	66,4	$1,05 f_0$	85	-10,4/±58
4 x quad (4Q)	3 x 0	12,5	32,6	66,4	$1,00 f_0$	155	-20,0/± 59
4 x quad (opt4Q)	3 x 0,5	15,5	14,6	66,4	$1,04 f_0$	110	-12,5/±25
2Q (3 refl. prvky)	0	9,1	64,5	70	$1,02$	50!	žádné

opt4Q. Směrové vlastnosti této úpravy jsou zřejmé z číselných parametrů v tab. 1 a z diagramů na obr. 5.

Proti původní úpravě s těsně přilehlými smyčkami se u antény opt4Q zvyšuje zisk o 3 dB, takže může činit až 15,5 dBi.

Symetrické vedení

Půlvlnné vzdálenosti mezi celovlnnými smyčkami usnadňují přizpůsobení celé soustavy.

Využívá se transformačních vlastností půlvlnných vedení, transformujících impedance vnějších smyček antény na vstupní svorky smyček vnitřních v poměru 1:1, a to nezávisle na vlastní vlnové impedanci.

Pak se vhodnou vlnovou impedancí středního symetrického spojovacího vedení, tzn. jeho dvou čtvrvlnných transformačních úseků celá anténa přizpůsobí k vlnové impedanci napáječe.

Výpočty i praxe ukazují, že u takto uspořádaných soustav lze vycházet z impedance jednotlivých dílčích antén. Jejich fyzická půlvlnná vzdálenost totiž omezuje vzájemnou vazbu, která impedanci velmi blízkých smyček ovlivňuje.

U všech částí modelovaných antén, včetně spojovacích symetrických vedení se použilo stejných vodičů o průměru $0,01 \lambda$. U vlastních antén – čtvercových smyček, je na uvažovaných pásmech tento průměr z konstrukčních hledisek reálný.

Mezi vodiči s $\varnothing 0,01 \lambda$ symetrického vedení a osovou roztečí $0,02 \lambda$ je mezera „jen“ $0,01 \lambda$. Vzdušné vedení těchto rozměrů má vlnovou impedanci asi 160Ω . S těmito parametry symetrických vedení jsou také vypočteny impedance ziskové optimalizovaných antén opt2Q a opt4Q, uvedené v tab. 1. Je zřejmé, že požadovanou svorkovou impedanci 50Ω , popř. 75Ω zabezpečí půlvlnné ($= 2x \lambda/4$) transformační vedení mezi vnitřními smyčkami s menší vlnovou impedancí než se zvolenými 160Ω . Realizace menší vlnové impedance symetrického vedení s tenčími drátovými vodiči je s ohledem na malou osovou rozteč vodičů (mezeru) obtížná. Praktickým řešením jsou pásková vzdušná vedení (viz obr. 1).

Parametry optimalizovaných antén

Poznámky k tab. 1 (podle sloupců):

1. Typ antény.
2. Rozteč (mezera) s_λ mezi vzájemně blízkými konci dílčích antén.
3. Zisk záření (soustavy) v dBi.
4. Úhel záření v rovině H, tzn. ve svislé (elevační) rovině je ovlivňován vzájemnou roztečí dílčích antén.
5. Úhel záření v rovině E, tzn. ve vodorovné (azimutální) rovině je konstantní, protože se v této rovině rozměr soustavy nemění.

6. f_{res} je rezonanční kmitočet celé soustavy vzhledem k jmenovitému kmitočtu f_0 , na který je anténa navržena (počítána).

7. Svorková impedance Z_Ω , přesněji rezistance celé soustavy v rezonanci, tzn. na kmitočtu f_{res} platí s dále uvedenými rozměry, vyjádřenými ve vlnové délce:

- Obvody čtvercových smyček $o = 1 \lambda$ ($4x \lambda/4$).
- Rozteč vzájemně přilehlých vrcholů dílčích antén $s = 0$ a $0,5 \lambda$.
- Průměr vodičů anténních smyček a vodičů symetrických vedení je shodný $d = 0,01 \lambda$.
- Osová rozteč vodičů symetrických vedení $a = 0,02 \lambda$, mezera mezi oběma vodiči je tedy $0,01 \lambda$.
- Vlnová impedance všech symetrických vedení činí $Z_0 \approx 160 \Omega$.
- Výška dílčích antén nad plošným reflektorem $v = 0,15 \lambda$.

8. Úroveň postranních laloků – dB v rovině H, tzn. ve svislé rovině a jejich úhlová orientace vzhledem k maximu je doplňující směrovým parametrem. Všeobecně platí, že **maximálního zisku** se u anténní soustavy sestavené z dílčích antén, napájených **se stejnou fází a amplitudou**, dosahuje s takovou **roztečí dílčích antén, při které se úroveň postranních laloků blíží k -10 dB**.

Z některých provozních hledisek však nemusí být taková úroveň postranních laloků přijatelná.

S využitím uvedených údajů lze navrhnout jiné modifikace anténních soustav, popř. přidat k používaným další dvojice celovlnných smyček.

Anténa 2Q s 3prvkovým reflektorem

Na nižších pásmech VKV (145 MHz, 435 MHz nebo pásma TV) je nesnadné realizovat tyto soustavy s plošným reflektorem. Počítačové simulace, ověřené praxí, ukazují, že i s malým počtem **laděných, optimálně umístěných** reflektorových prvků mohou mít tyto soustavy vyhovující vlastnosti.

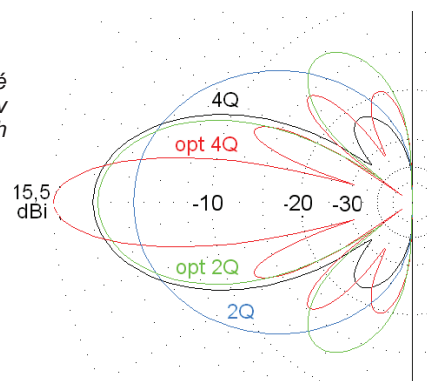
Např. jednoduchý BIQUAD (2Q) musí mít alespoň 3 samostatné, $0,5 \lambda$ dlouhé, rovnoběžné reflektorové prvky ($\varnothing 0,01 \lambda$) ve vzdálenosti $v = 0,13 \lambda$ od roviny čtvercových smyček s obvody $o = 1,02 \lambda$. Vzájemná rozteč těchto tří symetricky umístěných reflektorových prvků činí $\pm 0,25 \lambda$ od středu soustavy (obr. 6).

Délky reflektorů i jejich vzdálenost od smyček ($v = 0,13 \lambda$) jsou nastaveny tak, aby i s přijatelným činitelem zpětného záření (-17 až -20 dB) činila svorková impedance antény 50Ω .

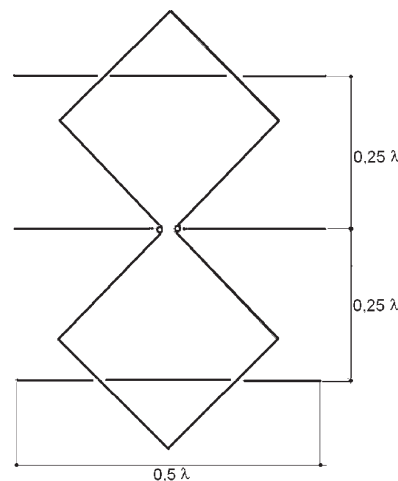
Impedanční širokopásmovost pro ČSV ≥ 2 , vztažená k jmenovitému kmitočtu, překrývá rozsah $0,96 f_0$ až $1,1 f_0$.

Proti parametrům antény 2Q s plošným reflektorem (tab. 1) má anténa asi

Tab. 1. Elektrické vlastnosti soustav z kosočtvercových smyček



Obr. 5. Elevační diagramy záření dvoučlenných a čtyřčlenných soustav celovlnných smyček v původním (2Q, 4Q) a optimalizovaném uspořádání (opt2Q a opt4Q)



Obr. 6. Rozměrové schéma dvousmyčkové antény 2Q s laděným tříprvkovým reflektorem. Žádný z reflektorů není přerušen

o 1 dB menší zisk a poněkud větší úhly záření. Tyto změny odpovídají menší účinné ploše antény bez plošného reflektoru.

Literatura

[1] Macoun, J., OK1VR: Anténní soustavy. AR B 1/1982, s. 14 – 25 (směrové vlastnosti, laděné a neladěné napájení atd.).

[2] Macoun, J., OK1VR: Anténní soustavy. AR B 1/1984, s. 10 – 22 (podrobný konstrukční popis anténní soustavy pro příjem TV).

Uvedené články jsou k dispozici na DVD Amatérské radio 1952 až 1995, vydaném v r. 2007 společností AMARO.

Článek [2] je pak také na CD ROM, přiloženém k 3. vydání publikace:

Procházka, J.: Antény. Encyklopedická příručka. BEN – technická literatura, Praha 2005.

Oprava

V 1. části článku v PE-AR 5/2012 (str. 32, ve středním sloupci) má správně být:

„Menší průměr vodičů rezonanční kmitočty snižuje. Při průměru $d \leq 0,005 \lambda$ je $f_{res} = f_0$, takže obvod smyčky nemusí být pro dosažení rezonance korigován a odpovídá jmenovitému kmitočtu f_0 , na který je anténa navržena.“