

# Anténní soustavy z celovlnných smyček (1)

Jindra Macoun, OK1VR

**Článek pojednává o elektrických vlastnostech anténních soustav z celovlnných (přesněji jednovlnných) čtvercových (kosočtvercových) smyček. Jsou to antény, které se používají na amatérských pásmech VKV a UKV, na pásmech pro bezdrátový internet (WIFI), na pásmech mobilních operátorů (GSM), ale i pro příjem TV. Typickými představiteli jsou BIQUAD a QUADROQUAD, sestavené ze dvou a čtyř kosočtvercových smyček. Malé rozměry, usnadňující amatérskou realizaci na dm a cm vlnách, ovlivnily jejich rozšíření. Můžeme na nich demonstrovat obecnou problematiku spojenou s praktickou realizací malých anténních soustav.**

Anténní soustava (antenna array) je soubor shodných individuálních (díličích) antén, uspořádaných podle určitých zásad. Zpravidla tak, aby se jejich elmag. pole sečetla v žádaném směru a zrušila ve směru (směrech) nežádaných. Taková anténní soustava pak může vykazovat vysokou směrovost s odpovídajícím ziskem.

Maximální směrovosti a zisku se dosáhne:

- Bude-li **vzájemná vzdálenost individuálních antén optimální**, tzn. že bude respektovat jejich zářivé vlastnosti, vyjádřené diagramy záření v rovině řazení těchto antén.

- Budou-li všechny individuální antény **napájeny stejnou fází** (soufázově) a pokud možno **i stejným výkonem**.

- Bude-li celá anténní soustava **impedančně přizpůsobena** k použitému vf napájecí.

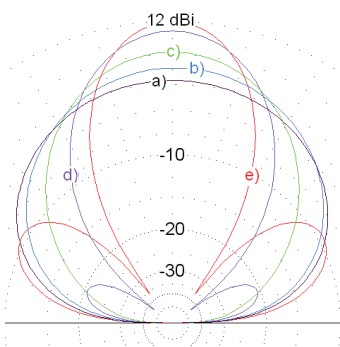
Při praktické realizaci může být některý z požadavků preferován.

## Vzájemná vzdálenost individuálních antén

Má významný vliv na zářivé vlastnosti anténní soustavy a tím i na přírůstek zisku proti jediné anténě.

Úvahám o vlivu vzdálenosti mezi individuálními anténami napomůže představa tzv. „efektivní plochy antény“, ke které se později vrátíme.

Zatím k těmto úvahám přispějí rozměrová schémata jednoduchých (dvoučlenných) anténních soustav (obr. 1 a 3) s tabulkovými přehledy číselných parametrů



Obr. 2. Diagramy záření antén dle obr. 1 a) až f) v rovině H, tzn. ve svislé (elevační) rovině, kolmé k ploše reflektoru. Platí v podmínkách volného prostoru, tzn. bez vlivu země

elektrických vlastností (tab. 1 a 2), kterých lze využít při realizaci smyčkových soustav typu MULTIQUAD.

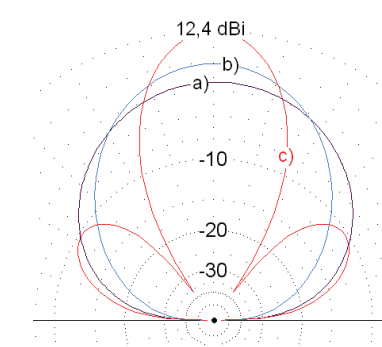
Čtvercová smyčka (quad) i kosočtvercová smyčka (diamond) jsou rovnostranné smyčky, které se liší orientací svých stran nebo úhlopříček vůči zemi. Čtvercová pravoúhlá smyčka quad je napájena uprostřed vodorovné nebo svislé strany. Kosočtvercová smyčka diamond (nemusí být pravoúhlá) je napájena ve vrcholu stran. Jednovlnný obvod obou smyček je prakticky shodný.

Umístěním napájecích svorek spolu s orientací napájeného prvku je určena polarizace antény. Běžně se ale pro oba typy pravoúhlých smyček používá název QUAD.

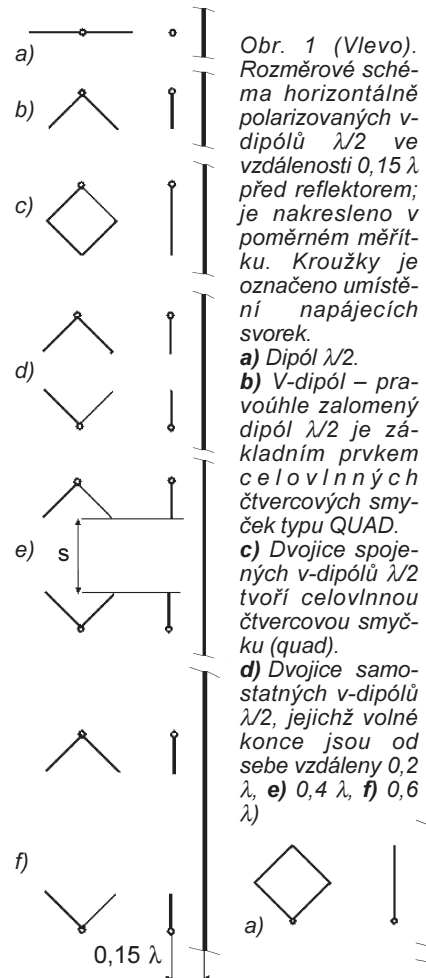
Na obr. 1 je rozměrové schéma horizontálně polarizovaných, půlvlnných dipólových v-antén, umístěných ve vzdálenosti  $0,15 \lambda$  před plošným reflektorem. Tuto vzdálenost považujeme za optimální z hlediska směrovosti i přizpůsobení. Kroužky označují napájecí svorky.

Charakter plošného reflektoru prakticky splňuje plocha, oboustranně přesahující vodorovný rozměr antény (soustavy) o  $\geq 0,25 \lambda$  a svislý rozměr antény o  $\geq 0,5 \lambda$ . Může ji také tvořit vodivá síť s oky, popř. víceprvkový reflektor s roztečí vodorovných prvků  $\leq 0,1 \lambda$ . Všechny vodiče anténních prvků mají průměr  $0,01 \lambda$ .

Protože všechny rozměry jsou vyjádřeny vlnovou délkou odpovídající jmenovitému kmitočtu  $f_0$ , pro který je anténa navrhována, lze jich použít při praktickém návrhu antén na různá pásma VHF a UHF, a to i s přijatelným průměrem an-



Obr. 4. Diagramy záření antén dle obr. 3 a) až c) v rovině H, tzn. ve svislé (elevační) rovině, kolmé k ploše reflektoru. Platí v podmínkách volného prostoru, tzn. bez vlivu země



Obr. 3 (Vpravo).

Rozměrové schéma celovlnných smyček ve vzdálenosti  $0,15 \lambda$  před plošným reflektorem je nakresleno v poměrném měřítku. Kroužky je označeno umístění napájecích svorek.

a) Celovlnná smyčka (quad). b) Dvojice spojených celovlnných smyček, tzv. BIQUAD, se společným napájením.

c) Dvojice samostatných celovlnných smyček s optimální roztečí  $s_\lambda = 0,5 \lambda$  napájecích svorek ve vzájemně přilehlých vrcholech smyček

ténních prvků  $\varnothing = 0,01 \lambda$  na pásmech 435 MHz ( $\varnothing$  6 až 8 mm), GSM ( $\varnothing$  2 až 3 mm), 2450 MHz ( $\varnothing$  2 až 1,5 mm).

Na obr. 2 jsou spolu uspořádány (elevační) diagramy záření horizontálně polarizovaných antén (dle obr. 1) ve svislé rovině, kolmé k ploše reflektoru.

V tab. 1 jsou pro vzájemné porovnání uvedeny číselné parametry směrových a napájecích vlastností všech antén z obr. 1, doplněné o antény s roztečemi  $0,1 \lambda$ ,  $0,3 \lambda$ ,  $0,5 \lambda$  a  $0,7 \lambda$ . Můžeme je považovat za výchozí typy díličích smyčkových antén znázorněných na obr. 3.

Tab. 1. Elektrické vlastnosti soustav z půlvlnných v-dipólů dle obr. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	anténa	$s_\lambda$	G [dBi]	$\theta_{3H}^\circ$	$\theta_{3E}^\circ$	$f_{res}$	$Z_\Omega$	postr. laloky/H
a)	dipól $\lambda/2$	–	8,6	99,4	63	$0,87 f_0$	31	
b)	1 v-dipól	–	8,3	96,8	70	$0,93 f_0$	45	
c)	2 v-dipóly	0 *	9,0	81,3	66	$1,05 f_0$	93	nejsou
	2 v-dipóly	0,1	9,5	71,2	66	$0,96 f_0$	77	nejsou
d)	2 v-dipóly	0,2	10,2	60,0	66	$0,95 f_0$	65	nejsou
	2 v-dipóly	0,3	11,0	51,0	66	$0,98 f_0$	56	> -30 dB
e)	2 v-dipóly	0,4	11,5	43,8	66	$0,98 f_0$	48	-20,0 dB/±72°
	2 v-dipóly	0,5	11,9	38,4	66	$0,98 f_0$	43	-13,2 dB/±64°
f)	2 v-dipóly	0,6	12,0	34,0	66	$0,98 f_0$	39	-9,5 dB/±60°
	2 v-dipóly	0,7	12,0	30,4	66	$0,98 f_0$	38	-6,9 dB/±56°

\*) Spojením dvou v-dipólů se vytvoří smyčková anténa – QUAD.

V tab. 2 jsou pak za stejných podmínek uvedeny stejné číselné parametry směrových a napájecích vlastností smyčkových antén podle obr. 3.

#### Poznámky k tab. 1 (podle sloupců):

1. Označení antény podle obr. 1.
2. Typ antény.
3. Vzdálenost (mezera)  $s_\lambda$  mezi vzájemně blízkými konci dílčích antén.
4. Zisk antény (soustavy) v dBi (v maximu hlavního laloku) stoupá s rostoucí vzdáleností přizpůsobených dílčích antén.
5. Úhel záření v rovině H, zde ve svislé (elevační) rovině se s rostoucí roztečí dílčích antén zmenšuje. Zároveň se zvětšuje „plošný rozměr“ soustavy.
6. Úhel záření v rovině E. Zde ve vodorovné (azimutální) rovině je konstantní, protože se v této rovině rozměr soustavy nemění.
7.  $f_{res}$  je rezonanční kmitočet každé dílčí antény vzhledem k jmenovitému kmitočtu  $f_0$ , na který je anténa navržena (počítána). Rezonuje-li anténa na nižším kmitočtu (na delší vlně), než pro který byla navržena ( $f_0$ ), tak je vlastně elektricky delší a musí být pro dosažení rezonance uvedeným koeficientem zkrácena. Pokud rezonuje na kmitočtu vyšším, musí být uvedeným koeficientem prodloužena.
8. Kromě antény b) – quada, jsou ostatní dílčí antény samostatnými půlvlnnými v-dipóly, jejichž koncové kapacity délku prodloužují, takže pro dosažení rezonance musí být zkráceny.

Anténa b) je celovlnná smyčka (quad). Je to vlastně také dvojice dipólových antén, které tvoří „jednovlnnou“ uzavřenou smyčku ( $s = 0_\lambda$ ), takže bez koncových kapacit. Tyto antény, resp. jejich obvod se z hlediska impedance proto jeví jako kratší a musí být pro dosažení rezonance prodloužovány ( $f_{res} > f_0$ ). To však neznamená, že anténa mimo rezonanci je anténou nefunkční. Malé rozdíly v délkách smyček jejich vyzařovací vlastnosti prakticky neovlivní.

8. Impedance  $Z_\Omega$ , přesněji rezistance každé dílčí antény v rezonanci, tzn. na kmitočtu  $f_{res}$ . Na svých svorkách se pak anténa jeví jako reálný odpor s nulovou nebo nepatrnou reaktancí, což v praxi usnadňuje její napájení a tím i přizpůsobení v anténní soustavě.

9. Úroveň postranních laloků -dB v rovině H, tzn. ve svislé rovině a jejich úhlová orientace vzhledem k maximu je doplňujícím směrovým parametrem. Všeobecně platí, že **maximálního zisku** se u anténní soustavy sestavené z dílčích antén, napájených se **stejnou fází a ampli-**

**tudou**, 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.

#### Poznámky k tab. 2 (podle sloupců):

1. Označení antény podle obr. 3.
2. Typ antény: Dílčí antény jsou sice dále nazývány quady, i když jsou to vzhledem k jejich orientaci i umístění napájecích svorek antény kosočtvercové – diamond.
3. Vzdálenost (mezera)  $s_\lambda$  mezi vrcholy dílčích smyčkových antén, ve kterých je každá smyčka napájena.
4. Text k sloupcům **4 až 6** je v podstatě shodný s poznámkami k tab. 1.
5.  $f_{res}$  je rezonanční kmitočet každé smyčky vzhledem k jmenovitému kmitočtu  $f_0$ , pro který je navržena (počítána).
6. Rezonuje-li na nižším kmitočtu (na delší vlně), než pro který byla navržena ( $f_0$ ), tak je vlastně elektricky delší a musí být pro dosažení rezonance uvedeným koeficientem prodloužena.
7. Pokud rezonuje na kmitočtu vyšším, musí být uvedeným koeficientem zkrácena.
8. V obr. 3 jsou všechny dílčí antény smyčkami, které se jeví jako kratší, protože je žádné koncové kapacity neprodloužují, takže musí být pro dosažení rezonance prodlouženy uvedenými koeficienty.
9. To však opět neznamená, že anténa mimo rezonanci je anténou nefunkční. Vyzařovací vlastnosti tyto malé změny v rozměrech zářičů prakticky neovlivní.
10. Uvedené rezonanční kmitočty platí pro předpokládaný průměr vodičů  $d = 0,01 \lambda$ . Větší průměr vodičů rezonanční kmitočet snižuje. Při průměru  $d = 0,02 \lambda$  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.
11. Také text k sloupcům **8 a 9** je v podstatě shodný s poznámkami k tab. 1.
12. Z číselných údajů v obou tabulkách je zřejmý tento závěr:
  - Z hlediska zisku činí optimální vzdálenost mezi vzájemně přilehlými vrcholy dvou smyček přibližně  $0,5 \lambda$ . Není to sice hodnota kritická a závazná, ale usnadňuje napájení této dvojice uprostřed symetrického půlvlnného spojovacího vedení, kdy lze jeho vlnovou impedanci, resp. vlnovou impedanci obou čtvrtvlnných (a transformačních) úseků celou dvojici přizpůsobit.

Článek se zatím podrobněji nezabývá napájením těchto malých soustav. Princi-

Tab. 2. Elektrické vlastnosti soustav z kosočtverečných smyček dle obr. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	anténa	$s_\lambda$	G [dBi]	$\theta_{3H}^\circ$	$\theta_{3E}^\circ$	$f_{res}$	$Z_\Omega$	postr. laloky/H
a)	1 x quad	–	9,0	81,3	66,6	$1,05 f_0$	93	nejsou
b)	2 x quad	0 **)	10,1	59	66,6	$1,02 f_0$	68	nejsou
	2 x quad	0,2	11,2	45	66,4	$1,07 f_0$	118	-30/±74°
	2 x quad	0,3	11,8	39,6	66,4	$1,07 f_0$	101	-19,1/±66°
	2 x quad	0,4	12,2	35,2	66,4	$1,06 f_0$	91	-13,7/±62°
c)	2 x quad	0,5	12,4	31,6	66,4	$1,05 f_0$	85	-10,4/±58°
	2 x quad	0,6	12,4	28,6	66,4	$1,05 f_0$	84	-8,0/±54°
	2 x quad	0,7	10,3	26,0	66,4	$1,05 f_0$	87	-6,38/±50°

\*\*) Spojením dvou smyčkových antén QUAD vznikne „dvousmyčka“ – BIQUAD.

piálně je možné realizovat individuální napájení dílčích antén (s přihlédnutím k uvedené impedanci/rezistanci) samostatnými, stejně dlouhými napájecími, s následnou transformací k jmenovité impedanci napáječe.

K problematice napájení se vrátíme v dalším pokračování spolu s informacemi o čtyřčlenných soustavách typu QUAD-ROQUAD.

*Poznámka na závěr:* Celovlnné smyčky QUAD byly původně navrženy a používány na amatérských KV pásmech. Podrobnosti v dále uvedené literatuře.

#### Literatura

- [1] Macoun, J., OK1VR: Celovlnné smyčky – antény typu QUAD. ELECTUS 1999, s. 65 – 67.
- [2] Krischke, A., DJ0TR/OE8AK: Rot-hammels Antennenbuch. Kap. 15. Groesse Schleifenantennen (Loops), s. 318 – 331.

## Blahopřejeme!



Na elektrotechnické výstavě AMPER (Výstaviště Brno, 20. – 23. 3. 2012) získala nejvyšší ocenění „Zlatý AMPER“ firma FLAJZAR s. r. o. za autoalarm EMA, který jsme čtenářům PE-AR podrobně představili v PE-AR 1 a 3/2012. Blahopřejeme!