

Magnetická smyčková anténa prakticky (5)

Jindra Macoun, OK1VR

Článek se vrací k problematice autorezonančních smyčkových antén [1]. Popisuje alternativní zapojení, umožňující přeladění rezonančního kmitočtu, a pokračuje popisem několikapásmové smyčkové antény, odvozené z antény autorezonanční.

Za autorezonanční smyčkové antény považujeme smyčkové antény zhotovené z koaxiálního kabelu, doladěné do rezonance kapacitou vnitřního vodiče anténní smyčky, připojenou paralelně ke svorkám této smyčky. „Jednopásmová nevýhoda“ je kompenzována snadným zhotovením, jednoduchým uspořádáním bez ladicího kondenzátoru na vysoké vř. napětí a bez mechanických převodů a elektronických obvodů, nezbytných u dálkového ovládání/ladění vícepásmových smyčkových antén. Není to řešení „up to date“, nicméně vlastnoruční zhotovení relativně účinné smyčkové antény „klasický“ KV provoz v omezených prostorových podmínkách umožňuje.

Potvrzují to i provozní zkušenosti OK1IM, který s horizontální jednopásmovou smyčkou (\varnothing 127 cm) přeladovanou na jednotlivá pásma pevnými koaxiálními kapacitami [2] navázal v době pandemie covidu-19 na pásmech 7, 10, 14 a 18 MHz 541 „klasických“ CW spojení s 53 zeměmi WAC.

Zapojení smyčky

„Ladicí“ kapacitu koax. kabelu anténní smyčky můžeme připojit ke svorkám smyčky různým způsobem. Popíšeme připojení I., II., III., IV (obr. 1).

I. Ke svorkám anténní smyčky **galvanicky (vodivě)** připojíme celou délku vnitřního vodiče, tzn. jeho **maximální kapacitu**. Anténní smyčka tak může být z jediného kusu koax. kabelu (obr. 1a).

II. Ke svorkám anténní smyčky připojíme **galvanicky (vodivě)** dvě poloviny celkové délky vnitřního vodiče, tzn. opět jeho **maximální kapacitu**. Anténní smyčka je v tomto zapojení proto rozdělena na dvě poloviny spojené koaxiální spojkou (obr. 1b).

III. Ke svorkám anténní smyčky připojíme **galvanicky (vodivě)** jen polovinu délky vnitřního vodiče, tzn. jeho **poloviční kapacitu**. Anténní smyčka je opět rozdělena na dvě poloviny spojené koaxiální spojkou (obr. 1c).

IV. Ke svorkám anténní smyčky připojíme/navážeme **kapacitně** celou délku vnitřního vodiče, přerušeno na protilehlé straně anténních svorek, tzn. jeho **čtvrtinovou kapacitu** (obr. 1d).

Anténní smyčka je vždy naladěna na stejný kmitočet, i když se zvětšuje její průměr a tím i indukčnost. K rezonanci proto postupně dochází s nižší kapacitou (viz tab. 1).

O rozměrech a účinnosti

Relativně malou účinnost smyčkových antén zvyšuje průměr smyčky a průměr vodiče smyčky. Proto volíme

průměr smyčky co největší, ovšem s přihlédnutím k prostorovým možnostem. Pro vnitřní nebo „balkónovou“ instalaci lze od pásma 7 MHz realizovat poměrně účinné smyčky s průměry do 200 cm, uspořádané tak, aby („napětové“) svorky anténní smyčky byly vždy ve „volném prostoru“, na protilehlé straně od upevňovací konstrukce a napájecích i ovládacích obvodů ladění.

Takové smyčky prakticky nemění své naladění se změnou umístění a ovládání, tedy ani při manuálním ladění rukou operátora. Proto popisujeme podrobný návrh smyčkových antén III. a IV. zapojených jednak podle obr. 1c a 1d, a pak upravených pro doladování, viz obr. 2c a 2d.

Návrh antény III. na 7 MHz podle obr. 1c a 2c

Z online MLA kalkulačky [3] odečteme na zvoleném rezonančním kmitočtu $R_{rez} = 7,035$ MHz pro jednozávitovou anténní smyčku z 75 Ω koax. kabelu (\varnothing stínění 8 mm) a průměry $D = 90$ až 200 cm, resp. obvody $O = 283$ až 630 cm tyto výchozí údaje v tab. 1:

A – průměr smyčky (D), B – délka koax. kabelu smyčky (O_D), C – indukčnost (L), D – rezonanční kapacita (C_{rez}), E – účinnost (η).

Ve sloupcích F až H jsou vypočtené rezonanční kapacity C_{rez} použitého koax. kabelu pro tři různé smyčky, přesněji pro 3 průměry (D), resp. 3 délky obvodů (O) smyčky:

F – kapacita celé délky připojeného koax. kabelu (obr. 1a),

G – kapacita poloviny délky připojeného koax. kabelu (obr. 1b),

H – kapacita celé délky kapacitně vázaného koax. kabelu (obr. 1d).

Ve sloupcích F, G a H v tab. 1 **najdeme kapacitu koax. kabelu smyčky, při které se blíží rezonanční kapacita smyčky C_{rez} kapacitě koax. kabelu C_{rez} .** Tato kapacita je součinem jeho délky v cm s kapacitou 0,67 pF/cm, tzn. kapacitou použitého 75 Ω koax. kabelu s PPE (PE pěnovým) dielektrikem na 1 cm. Průměry smyčky D nebo obvody smyčky O_D s přibližně shodnými kapacitami C_{rez} mají v tab. 1 stejnou barvu.

Skutečné rozměry smyček v cm, určené grafickou interpolací podle [2], jsou

$D = 90,5$ a $O_D = 284$, $D = 123$ a $1/2 O_D = 386$, $D = 168$ a $1/2 O_D = 528$.

Délky (O) a kapacity (C_{rez}) aktivních („kapacitních“) úseků, včetně koncových PL-konektorů u antén, naladěných na 7,035 MHz a zapojených podle obr. 1a, b, c, d, činí:



Obr. 3. Magnetická smyčková anténa pro 7 MHz (podle obr. 1c) z koax. kabelu 75 Ω , 3/8 Penflex, resp. čs. ekvivalentu VCCZE 75-6,5 z (bývalého) Kablo Bratislava v instalační poloze

1a) $O = 284$ cm a $C_{rez} = 185$ pF;
1b) $O = 2 \times 142$ cm a $C_{rez} = 2 \times 93$ pF;
1c) $1/2 O = 144$ cm a $C_{rez} = 129$ pF;
1d) $O = 528$ cm a $C_{rez} = 79$ pF.

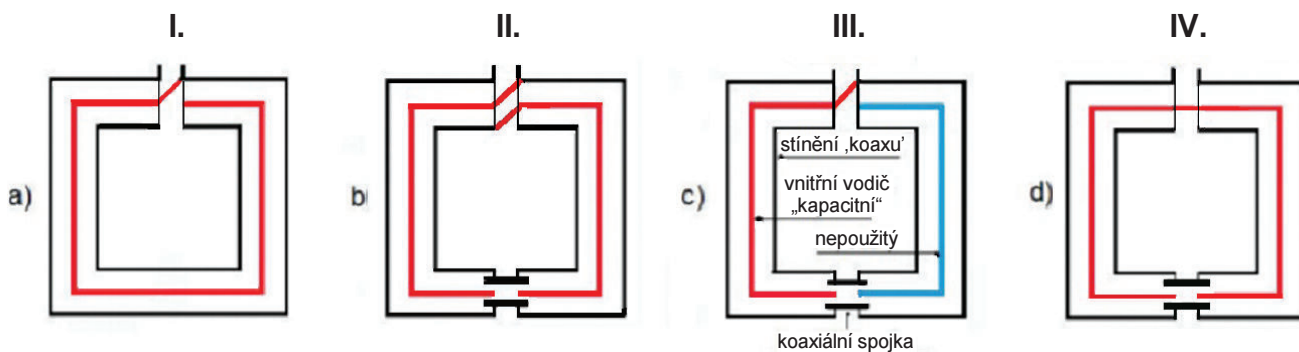
Ve všech případech by měla smyčka rezonovat na stejném kmitočtu. Její vypočtená účinnost se však bude se stoupajícím průměrem D zvyšovat z asi 5 % na 22 % (teoretických). Vypočtená účinnost nezahrnuje ztráty přechodových odporů, ztráty dielektrika koax. kabelů a ztráty přizpůsobením. Dokonalou konstrukcí a přizpůsobením lze tyto případné ztráty minimalizovat.

Kdyby byla stejná anténní smyčka zhotovena z 50 Ω koax. kabelu o shodném vnějším průměru stínění (\varnothing 8 mm), měla by i stejnou indukčnost, takže by rezonovala na stejném kmitočtu. Při koaxiálním napájení by však docházelo k rezonanci s kratšími délkami koax. kabelu, tzn. s anténními smyčkami menších průměrů a tím i nižších účinností. Kapacita 50 Ω koax. kabelů je totiž vyšší – 1,01 pF/m. **Proto jsou pro koaxiální smyčkové antény, doladované kapacitou vnitřního vodiče, vždy výhodnější koax. kabely s vyšší impedancí, tedy s menší kapacitou pF/m. Odolávají také vyššímu průraznému vř. napětí.**

Anténa sestavená podle vypočtených rozměrů zpravidla rezonuje na poněkud nižším kmitočtu, vlivem malé případné vlastní kapacity smyčky, která rezonanci snižuje. Zkrácením délky kapacitního koax. kabelu v poměru žádaného a naladěného kmitočtu se dosáhne potřebné korekce.

V původním návrhu zapojení III. podle obr. 1c jsou obě poloviny anténní smyčky v neutrálním bodě spojeny koaxiální PL-spojkou (redukci UHF/UHF). Tato úprava ztěžuje výše zmíněnou korekci rezonanční délky koax. kabelu, protože se anténa musí rozpojit, odpájet konektory, zkrátit koax. kabel a znovu připojit konektory.

Ve 2. návrhu podle obr. 2c (zapojení III.) proto byla původní redukce nahra-



Obr. 1a. Galvanické (kontaktní) připojení celé délky vnitřního vodiče ke svorkám anténní smyčky

Obr. 1b. Galvanické (kontaktní) připojení dvou polovin vnitřního vodiče ke svorkám anténní smyčky

Obr. 1c. Galvanické (kontaktní) připojení poloviny délky vnitřního vodiče ke svorkám anténní smyčky

Obr. 1d. Kapacitní připojení celé délky vnitřního vodiče ke svorkám anténní smyčky. Vnitřní vodič je na protilehlé („neutrální“) straně anténní smyčky přerušen

Antény jsou znázorněny zjednodušeně čtvercovým tvarem bez vazební smyčky, přiléhající k neutrálnímu bodu anténní smyčky.

A	B	C	D	E	F	G	H
D [cm]	O _D [cm]	L [μH]	C _{rez} [pF]	η [%]	C _{rez} [pF]	C _{rez} [pF]	C _{rez} [pF]
90	283	2,7	188,3	4,7	185	94,5	47,2
100	310	3,1	165,9	6,4	209,5	104,6	52,3
120	380	3,8	133,3	10,5	256,5	128,2	64,1
14	440	4,6	110,9	15,8	297	148,5	75,2
160	500	5,4	94,6	21,9	337,5	68,7	84,4
180	570	6,2	82,3	28,5	384,7	192,3	96,2
200	630	7,0	72,7	35,3	425	212,6	106,3

Tab. 1. Fyzické a elektrické parametry zde popisované MLA

zena PL-T-spojku [redukcí UHF/UHF Z/ZZ (T) fy Rasel]. Kapacitní koax. kabel anténní smyčky je opět připojen jen k jedné straně redukce, ale zároveň je vyveden na střední UHF konektor T-redukce. Vnitřní vodič koax. kabelu druhé „neaktivní“ poloviny anténní smyčky není opět využitý, proto není vůbec spojen s kolíky obou UHF konektorů.

Kapacitu aktivní poloviny koax. kabelu anténní smyčky tak lze snadno měnit („doladovat“) délkou doladovacího kabelu připojeného ke střednímu konektoru T-redukce.

Příklad: Anténa podle obr. 1c rezonuje na 7,035 MHz s kapacitou $C_{rez} = 129$ pF.

Na kmitočku 5,35 MHz rezonuje s $C_{5,35} = 224$ pF, tedy s přídavnou kapacitou $C_p = C_{5,35} = 224$ pF - 129 pF = 95 pF, tj. s 96 cm doladovacího 50Ω koax. kabelu s 1,01 pF/m (RG 213).

Na 3,55 MHz rezonuje s kapacitou $C_{3,55} = 508$ pF, tedy s přídavnou kapacitou $C_p = 508$ pF - 129 pF = 379 pF, tj. s 383 cm stejného 50Ω koax. kabelu.

Pokud by se doladovalo 75Ω koax. kabelem, byl by 1,5x delší vzhledem k nižší kapacitě na metr (0,67 pF/m).

K doladění lze použít také pevných (keramických) nebo proměnných (vzduchových) kondenzátorů zapojených mezi střední vodič T-redukce a stínění.

Návrh antény IV. podle obr. 1d a 2d

Můžeme-li z prostorových důvodů zvětšit průměr antény na 168 cm, zvýšíme tak její účinnost na stejném kmitočtu 2,8x, tzn. téměř o 3 dB (viz tab. 1). Anténní smyčku proto zapojíme IV. způsobem podle obr. 1d. Celkové uspořá-

Obr. 2c. Doladění autorezonanční anténní smyčky koaxiálním vodičem (nebo jiným kondenzátorem), připojeným ť koaxiální T-spojku na konec polovin vnitřního vodiče v neutrálním bodě

Obr. 2d. Ladění anténní smyčky proměnným kondenzátorem se ť split-státorem zapojeným v neutrálním bodě k přerušným koncům kapacitně vázaného vodiče

dání/konstrukce smyčkové antény se tím prakticky nemění.

Modifikovaná úprava IV. podle obr. 2d, kdy využijeme **sériového spojení pevného a proměnného kondenzátoru k přeladění několika pásem**, již původní jednoduchou **konstrukci antény změní**.

Ke svorkám anténní smyčky opět připojíme/navážeme kapacitně celou délku vnitřního vodiče přerušeného na protilehlé straně anténních svorek. Mezi přerušené konce **připojíme stator proměnného duálního kondenzátoru**.

Ladící kapacitu anténní smyčky tak tvoří **sériové zapojení dvojice pevných (koaxiálních) kondenzátorů s dvojicí kondenzátorů proměnných** (obr. 2d).

Rozsah přeladění smyčkové antény s danou indukčností je pak dán poměrem maximální a minimální kapacity celého obvodu.

Je omezen konstantní sériovou kapacitou koaxiálních úseků, zvětšenou o počáteční kapacitu („otevřeného“) proměnného duálního kondenzátoru, tzn. o kapacitu mezi oběma statory.

Maximálního přeladění v zapojení IV. tedy dosáhneme s minimální pevnou kapacitou koaxiálních úseků (použijeme koax. kabel s velkou vlnovou impedancí (75 Ω) a minimální kapacitou („otevřeného“) duálního proměnného kondenzátoru.

Dalšího zvětšení ladícího rozsahu – tzn. přeladění většího počtu KV pásem

lze dosáhnout snížením pevné koaxiální kapacity, tzn. připojením duálního kondenzátoru blíže k anténním svorkám, popř. přímo na anténní svorky. Tím však anténa pozbývá žádoucí necitlivosti na změny umístění a ovládní.

Rozložením rezonanční koaxiální kapacity podél celé anténní smyčky se **sníží i nároky na vf napěťovou odolnost v celém obvodu**. Pro ladění tak vyhoví i duály „retro“ rozhlasových DV/SV/KV přijímačů s kapacitou 2x 500 pF a malými mezerami mezi rotorovými a statorovými deskami. Vzdušná mezera mezi rotorovými a statorovými deskami se v sériovém split-zapojení zdvojnásobí a odolá vyššímu vf napětí.

Kdo nenajde mezi „šuplíkovými“ zásobami kondenzátor TESLA PN 705 05 s max./min. kapacitou 2x 15 až 500 pF, resp. 2x 5 až 250 pF ve split-zapojení, může využít stránek www.loop2er.cz nabízejících mezi součástkami pro home made MLA antény menší a modernější duály s kapacitou 2x 475 pF.

Odkazy

- [1] Macoun, J.: Magnetická smyčková anténa prakticky (3). PE-AR 10/2019.
- [2] Macoun, J.: Magnetická smyčková anténa prakticky (4). PE-AR 04/2020.
- [3] www.comtech.vsb.cz/MLAcalc
- [4] www.1728.org/resfreq.htm

(Pokračování)