

Laděná magnetická anténa

Úvod

Tento článek popisuje základní princip a výhody specifického typu smyčkové antény zvané magnetická anténa *MLA* (Magnetic Loop Antenna). V textu jsou vyzdvíženy základní rovnice vedoucí k praktickému návrhu antény tohoto typu.

Elementární dipól, jakožto základní typ antény, není v určitých případech vždy optimálním řešením, a to zejména při kmitočtech, kdy je anténa prostorově nerealizovatelná. Pro přijímací anténu může být efektivním řešením feritová anténa. Pokud se jedná o vysílací anténu, je snad jediným řešením právě diskutovaná „magnetická anténa“ (magnetic loop antenna). Dostupné publikace, které se zaměřují na teorii antén a elektromagnetického pole, často popisují celou škálu magnetických antén vzájemně se lišící tvarem (některé mohou být čtvercové, kosočtverečné, šesti/osmiúhelníkové) nebo způsobem buzení. Ačkoliv některé anténní parametry jsou závislé na tvaru antény, faktem zůstává, že rozměr takovéto antény je 3–5 % pracovní vlnové délky.

Magnetická anténa (*MLA*) je speciálním typem smyčkové antény. Pokud srovnáme *MLA* s klasickou smyčkovou anténou například quad, dipólem nebo směrovou anténou, je *MLA* především rozměrově efektivnější. Zatímco obvod klasické smyčkové antény je striktně roven pracovní vlnové délce, pro kterou byla anténa navržena, *MLA* používá obvod kolem 0,1–0,2 λ . Nejen malé rozměry jsou hlavní výhodou *MLA*. Výjimečnost *MLA* spočívá také ve schopnosti generovat a zpracovávat pouze magnetickou složku *H* elektromagnetického pole. Díky této vlastnosti je *MLA* necitlivá vůči elektrické složce elektromagnetického pole nežádoucích (rušivých) signálů.

Popis antény MLA

MLA se skládá ze tří základních bloků: hlavní smyčky, ladícího kondenzátoru a budicího obvodu, jak vyplývá z obr. 1a.

Hlavní smyčka

Jak už bylo řečeno v úvodu, obvod hlavní smyčky nesmí přesáhnout 0,1–0,2 λ , aby *MLA* generovala pouze magnetickou slož-

ku a byla necitlivá vůči elektrické složce elektromagnetického pole. Hlavní smyčku tvoří jeden závit zhotovený například stíněním koaxiálního kabelu, což je kompromisní řešení pro první otestování *MLA*. Profesionální řešení se realizuje např. měděnou trubkou. Snahou je minimalizovat

zmenší prostorové nároky na *MLA*, ale klesne tím i „energetická výtěžnost“ elektromagnetického pole při příjmu. Počet závitů smyčky se řídí rozměrem smyčky, navrženým kmitočtem a hodnotou ladícího kondenzátoru, nesmí však změnit charakter *MLA* na smyčkovou anténu – stále musí platit $U=0,1-0,2\lambda$. Indukčnost pak roste s kvadrátem závitů [1]: $L'=L.N^2$, kde L' je indukčnost vícezávitové smyčky [μH], L je indukčnost jednoho závitů [μH].

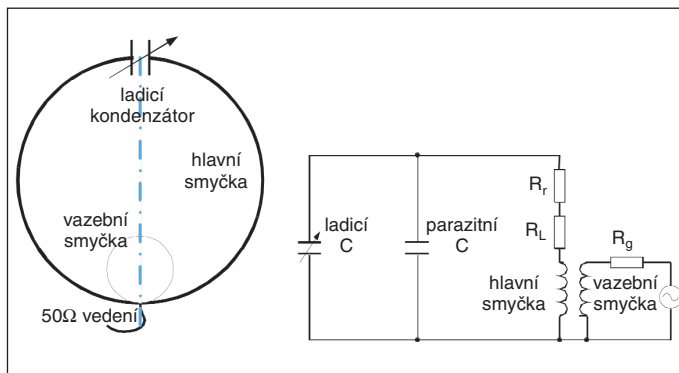
Ladící kondenzátor

Ladící (přesněji spíše doladovací) kondenzátor umožňuje změnu pracovního kmitočtu *MLA* v relativně velké míře. Není problém dosáhnout přeladitelnosti 1:4. Míra přeladění je dána délkou hlavní smyčky U a samotnou hodnotou kondenzátoru. Pro přijímací anténu může být použit klasický laditelný kondenzátor, tak jak ho známe z rozhlasových přijímačů AM, nebo např. varicap. Pokud se *MLA* používá jako vysílací anténa, je nutno brát na zřetel, že smyčka představuje otevřený závit na prázdko, tudíž se na koncích smyčky objeví vysoké napětí (v závislosti na použitém výsílacím výkonu). Proto je kladen značný důraz na dielektrikum použitého kondenzátoru, respektive na elektrickou pevnost vzduchové mezery mezi deskami/elektroda-

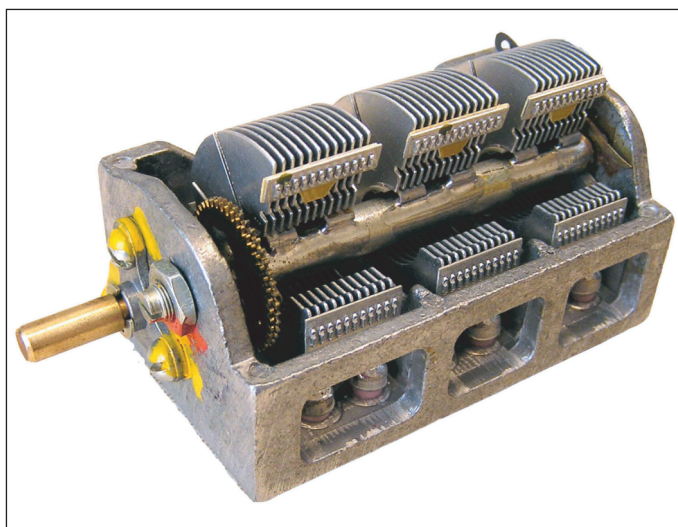
mi otočného kondenzátoru. Je také nutno upozornit na negativní vliv třecích kontaktů, jejichž použití je u *MLA* prakticky vyloučeno. Řešením je použití ladícího kondenzátoru o 2 a více sekcích (dual), který má otočné segmenty (rotor) vodivě spojeny (obr. 2). Jako připojovací body pak slouží statorové části kondenzátoru. Odpovídající hodnota kondenzátoru se při známé hodnotě indukčnosti závitů hlavní smyčky L spočítá z upraveného Thomsonova vztahu: $C=1/(2\pi f_0)^2 \cdot L$ [F],

Budicí obvod

Budicí obvod může být tvořen vazební smyčkou, což je menší smyčka umístěná uvnitř smyčky hlavní, naproti ladícímu kondenzátoru. Existuje několik způsobů jak vazební smyčku navázat na vedení s charakteristickou impedancí 50 W (obr. 3a). Průměr



Obr. 1 Magnetická anténa – konstrukce (vlevo), náhradní obvod (vpravo)



Obr. 2 Třísegmentový ladící kondenzátor

ztráty R_L , které nezanedbatelnou mírou tvoří skinefekt. Vliv skinefektů snížíme zvýšením vodivosti povrchu (hliníková, měděná/postříbřená trubka) či zvětšením plochy povrchu pomocí zvětšení průměru d trubky hlavní smyčky. V dostupné literatuře lze nalézt různé podoby vzorce pro výpočet indukčnosti závitů *MLA*. Autorovi článku se osvědčil tvar rovnice, který popisuje indukčnost jednoho závitů vzduchové cívky:

$$L=0,2 \cdot U \cdot \ln(U/D-1,07) \quad [\text{m}, \text{m}; \mu\text{H}],$$

kde L je indukčnost smyčky [μH], U je obvod hlavní smyčky [m], d je průměr vodiče hlavní smyčky [m].

Pokud navrhujeme *MLA* pro pásma s velkou vlnovou délkou (např. dlouhé nebo střední vlny), je doporučeno použít více než jeden závit hlavní smyčky, jinak budou rozměry antény velké. Tím se sice

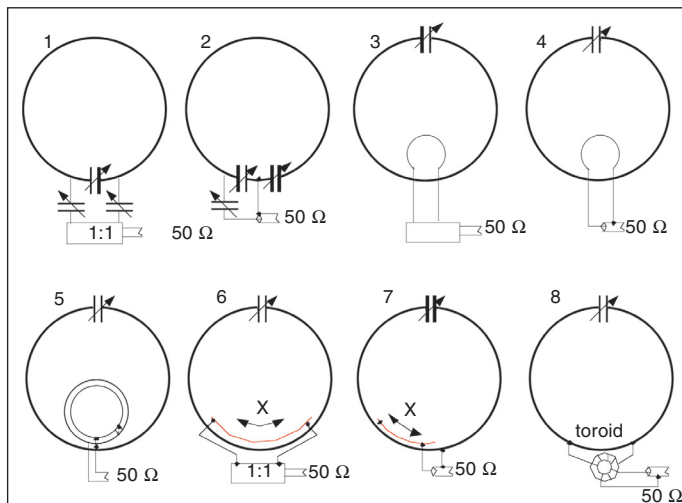
indukční smyčky je obvykle 1/5 průměru smyčky hlavní (obr. 3a–4). Doporučená vzdálenost mezi hlavní a vazební smyčkou je 0–6 cm. Právě tato vzdálenost ovlivňuje výslednou hodnotu činitele stojatých vln (PSV). Nejpoužívanějším typem napájecího obvodu je varianta 5 a 7 na obr. 3a (v detailu na obr. 3b). Zvláštní pozornost si zaslouží právě varianta 7, tzv. „gama napájení“, jež umožňuje jednoduchým způsobem přizpůsobit anténu k napájecímu vedení pomocí změny délky pahýlu X (obr. 3b).

Při modelování *MLA* v simulačním programu MMANA nebo EZNECv5.0 se ukazuje, že dosažitelné zisky u magnetických antén kolísají zhruba od –1,5 dB do 3,5 dB (při vertikální polarizaci) a v pásmu od –8 dB do 5,5 dB (při horizontální polarizaci) – vztaženo k izotropnímu zářiči [7].

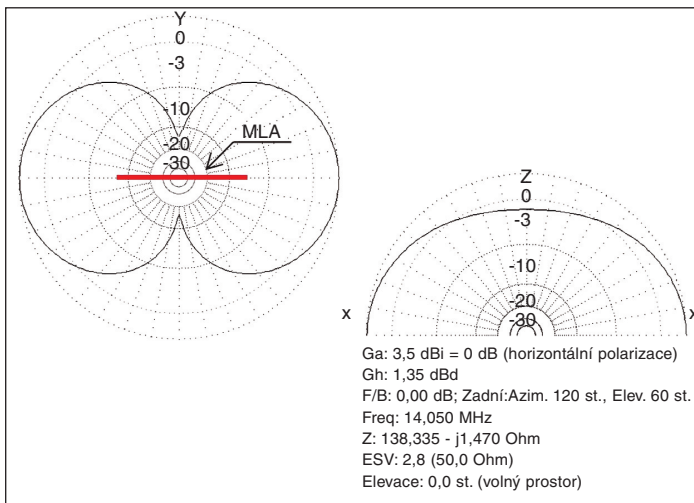
Závěr

Magnetická anténa je zvláštním typem smyčkové antény. Se svými malými

patrně, že pro komunikaci v azimutu 0–360° musí být *MLA* doplněna o anténní rotátor. Proto je *MLA* častou alternativou v místech s omezeným prostorem pro anténu „plné“ délky ($0,25\lambda$, $0,5\lambda$ atd.) a v místech se silným elektrickým rušením. Z uvedených důvodů se právě *MLA* stala velmi oblíbenou u radioamatérů. Uvedený typ antény byl také použit jako VKV mobilní zaměřovač (československý patent č. PV 6719-71) [8].



Obr. 3a Různé typy budících obvodů



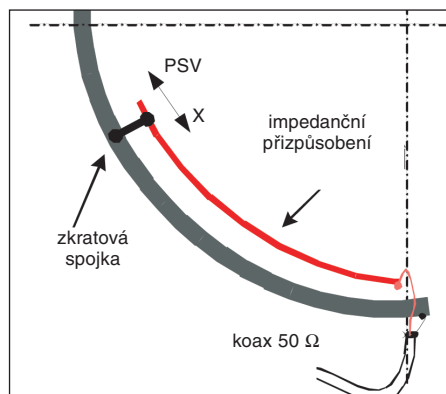
Obr. 4 Vyzařovací diagramy MLA (výstup z programu MMANA)

Anténní parametry MLA

Provedení *MLA* se vyznačuje jistou směrovostí s vyzařovacím diagramem ve tvaru číslice 8 (obr. 4). Taková charakteristika umožňuje zaručený příjem v předozadním směru, zatímco boční směr je značně potlačen (s prakticky potvrzenou předobční citlivostí až –25 dB [9]). Nutno podotknout, že pokud je *MLA* napájena z jiného než koaxiálního napáječe, ztrácí svoji směrovost. Činitel kvality cívky Q je rozhodujícím faktorem udávajícím selektivitu v rezonanci (při pracovním kmitočtu). Ten může u *MLA* dosahovat až hodnoty $Q=1000$ (což bylo prakticky potvrzeno měřeními). Pokud je smyčka zatížena při vysílání vyzařovacím odporem, klesající Q zapříčiní snížení selektivity. Velká selektivita *MLA* potlačuje vyšší harmonické až o 35 dB (ověřeno OK1AYQ). Následují anténní parametry popisující *MLA* (převzato z [3]):

- plocha kruhové smyčky je $A=\pi D^2/4$,
- vyzařovací odpor: $R_r=3,38 \cdot 10^{-8} \cdot (f_0^2 \cdot A)^2$,
- ztrátový odpor: $R_L=9,96 \cdot 10^{-4} \sqrt{f_0} U/d$
- účinnost: $\eta=[R_r/2(R_r+R_L)] \cdot 100 \%$,
- činitel kvality:
 $Q=X_L/2 \cdot (R_r+R_L) \sim f_0/\Delta f \sim f_0/B$,
- směrová funkce: $F=\sin^2 Q$,

kde D je průměr hlavní smyčky [m], f_0 je pracovní kmitočet *MLA* [MHz], B , Δf je šířka pásma antény [Hz], d je průměr vodiče hlavní smyčky [m], Q je úhel vyzařování v rovině x,y .



Obr. 3b Detail č. 7 „gama napájení“

rozměry, možností změny pracovního kmitočtu, selektivitou, jistou směrovostí a necitlivostí na elektrickou složku elektromagnetického pole rušení je možno říci, že „magnetická anténa“ je výhodným (nejlepší) řešením v místech se silným elektrickým rušením nebo jako přenosná anténa. Rozdíl v účinnosti oproti anténě plnohodnotné délky (půlvlnný dipól, GP atd.) umístěné ve stejné výšce je akceptovatelný. Hlavní výhodou zůstává mobilita, vysoká účinnost (vzhledem k mechanické velikosti) a vysoká selektivita způsobená vysokou hodnotou Q . Nevýhodou je pak nutnost doladování *MLA* na pracovní kmitočet. To ovšem dnes lze již poměrně elegantně řešit pomocí dálkově ovládaného ladícího kondenzátoru s krokovým motorem. Z vyzařovací charakteristiky je

Ing. Marek Dvorský
 Vysoká škola báňská Technická univerzita
 Ostrava,
 Fakulta elektrotechniky a informatiky,
 Katedra telekomunikační techniky,
 marek.dvorsky.fe@vsb.cz

LITERATURA

- [1] Pokorný, V.: Radiožurnál 2/2000. Magnetická anténa pro příjem i vysílání.
- [2] Small transmitting loop antennas [online], 2000 [cit. 2007-05-10] Dostupný z <<http://www.dxzone.com>>
- [3] Small High Efficiency Loop Antennas for Transmitting. The ARRL Antenna Handbook: The American Radio Relay League. 1988, č. 15, s. 5–14.
- [4] EZNEC [online] 2000 [cit. 2008-02-15], dostupný na <<http://www.eznc.com/>>
- [5] MMANA [online], 2000 [cit. 2008-02-15], dostupný na <<http://mmhamsoft.amateurradio.ca/mmamain/index.htm>> a <<http://mmhamsoft.amateur-radio.ca/>>
- [6] AA5TB, Small Transmitting Loop Antennas: Also known as Magnetic Loop Antennas [online], 1998, 17. 3. 2008 [cit. 2008-03-18], dostupný na <<http://www.aa5tb.com/loop.html>>
- [7] OK1DMP: Zkušební s magnetickou anténou [online], 2006 [cit. 2008-03-18], dostupný na <http://ok1cjb.nagano.cz/www/?ant%20E9ny:ant%20E9ny_KV:magnetick%20ant%20E9na>
- [8] Procházka, M.: Laděná smyčková anténa pro kv. Sdělovací technika. 1973, č. 7, s. 246–247.
- [9] Loop Antenna [online], 1998 [cit. 2008-05-06], dostupný na <<http://www.ciomazzoni.com/English/Loop%20Antenna.htm>>