

Dvoupásmová anténa Moxon

Jindra Macoun, OK1VR

Článek se zabývá uspořádáním a optimalizací rozměrů antén Moxon pro pásmo 28 a 50 MHz, instalovaných na společné nosné konstrukci. Takovou sestavu již můžeme považovat za vícepásmovou (dvoupásmovou) anténu. Oproti dříve popsaným vícepásmovým anténám (OCF, Windom, W5GI apod.), kdy jeden anténní systém pracoval s větším či menším omezením (obvykle s rozdílnými směrovými vlastnostmi) na několika pásmech, jde u této anténní sestavy o dvě samostatné antény, které by si měly zachovat původně shodné vlastnosti, a to i při napájení společným napáječem. Zda je to reálné, posoudíme v toto článku.

Na dvojici zkřížených izolačních ráhnen antény Moxon [PE 03/2011] pro pásmo 28 MHz lze „soustředně“ upevnit další dva drátové prvky stejné antény pro pásmo 50 MHz, jak to schematicky znázorňuje obr. 1.

Dříve zmíněný program MoxGen ovšem nepočítá rozměry obou antén na společné konstrukci, kde se vzájemně ovlivňují. V takovém uspořádání pravděpodobně nebudou zabezpečovat rozměry samostatných antén původně shodné elektrické parametry. Proto byly obě antény ve společné sestavě znovu namodelovány, aby se zjistily aktuální elektrické parametry, a následně se jejich rozměry i způsob společného napájení upravily.

Obvyklé experimentální ověřování a optimalizace elektrických (zejména směrových) vlastností antén se v amatérských podmínkách zpravidla provádí metodou „pokus – omyl“. Je to však postup velmi zdoluhavý a vůbec nezaručuje, že bude nakonec nalezeno optimální řešení. Což platí zvláště na KV pásmech.

Dnes můžeme i v amatérských podmínkách využívat různé simulační programy, které namodelují téměř každou (i zcela nesmyslnou) anténu a vypočtou její elektrické parametry.

Využili jsme této možnosti pro určení vzájemných vlivů obou antén na společné konstrukci s cílem zvolit takové uspořádání, které by výrazně nezhoršilo původní příznivé vlastnosti každé antény, za které považujeme **velmi dobré přizpůsobení (ČSV) a vysoký činitel zpětného záření/příjmu (ČZZ/ČZP)**. Dále popsaný po-

stup může být inspirací při řešení podobných problémů s jinými anténami na jiných pásmech.

Výchozí rozměry **A, B, C, D a E** (dle obr. 1), vygenerované programem MoxGen pro každé pásmo, jsou v tab. 1. Platí na kmitočtech 28,2 a 50,1 MHz s průměrem Cu vodiče 2 mm. (Zároveň jsou tam červeně uvedeny opravené rozměry antén na společné konstrukci, podle následného textu.)

Ověřování elektrických vlastností

- Celá sestava byla namodelována (EL-NEC+ V.5.0) s rozměry samostatných antén, vypočtenými programem MoxGen pro každé pásmo.
- Poté byl proveden výpočet elektrických parametrů každé antény na společné konstrukci a porovnán s „referenčními“ hodnotami „single“ antén ve volném prostoru (viz též graficky vyjádřené parametry antény Moxon v PE-AR 3/2011).
- Potvrdil se předpoklad, že menší vnitřní anténa prakticky neovlivní elektrické vlastnosti a tím ani původní rozměry větší vnější antény pro pásmo 28 MHz. Délka dipólu vnitřní antény je na kmitočtu 28,2 MHz jen délkou „čtvrtvlnnou“ ($0,26 \lambda$). Vykazuje tak na tomto kmitočtu (pásmu) vysokou kapacitní reaktanci, (-j 750 Ω), která reálnou impedanci (50Ω) vnější antény neovlivňuje. Elektrické parametry vnější antény pro 28 MHz

Rozměr	28,2 MHz		50,1 MHz	
A	3866	3866	2170	2170
B	578	578	318	170
C	110	110	70	224
D	724	724	408	402
E	1412	1412	796	796
U_{28}	4114	4114		
U_{50}			2312	2312
$\varnothing d$	2		2	

Tab. 1. Původní rozměry single antén (vlevo) a jejich opravené hodnoty na společné konstrukci (vpravo) jsou zaokrouhleny na 2 mm. U antény pro 28,2 MHz se původní rozměry nemění

se proto nemění a její původní rozměry by měly zůstat zachovány.

- Naopak větší vliv se očekával v opačném případě, kdy delší prvky 28MHz antény svojí elektrickou délkou $0,84 \lambda$, popř. $2 \times 0,42 \lambda$ na kmitočtu 50,1 MHz (při nezapojených svorkách dipólového zářiče) změnil původní vlastnosti antény vnitřní. Tento předpoklad se potvrdil. Vzájemná vazba obou antén zhoršila zejména přizpůsobení 50MHz antény, zatímco směrové vlastnosti se prakticky nezměnily. Korekcí délky zalomených částí (rozměr B_{50}) zářiče „vnitřní“ antény se její přizpůsobení (ČSV) poněkud zlepšilo, ale nikoliv až k žádoucí hodnotě ČSV ≤ 2 .

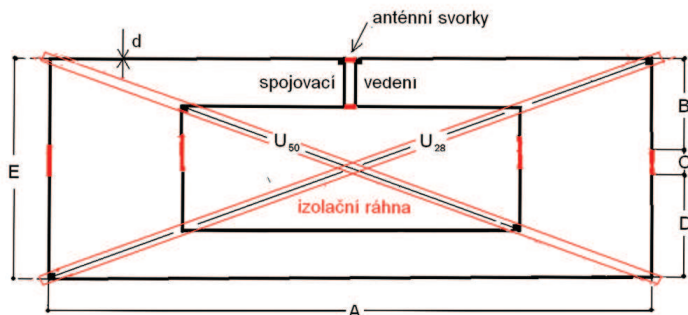
- Uvedené postupy, porovnávající vlastnosti antén v podmínkách volného prostoru, přinesly tyto výsledky:

EI. parametry samostatných antén:

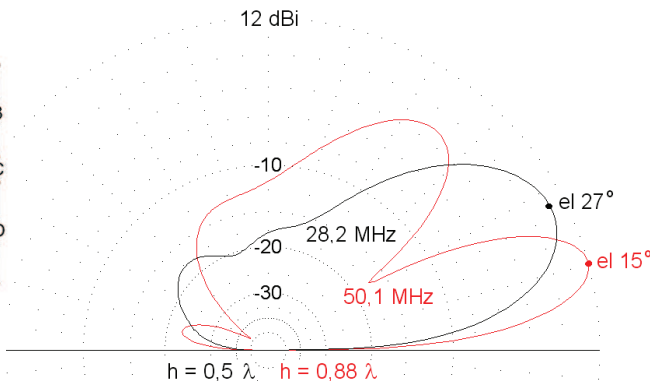
	28,2 MHz	50,1 MHz
Zisk G_i	6,0 dBi	6,0 dBi
Činitel zpětného záření (ČZZ)	36,1 dB	39,7 dB
Přizpůsobení – $\text{ČSV}_{50\Omega}$	<1,1	<1,1

Výpočet rozměrů programem MoxGen přináší na obou pásmech shodné elektrické parametry. Číselné údaje jsou zaokrouhleny na desetiny. Považujeme je za parametry referenční.

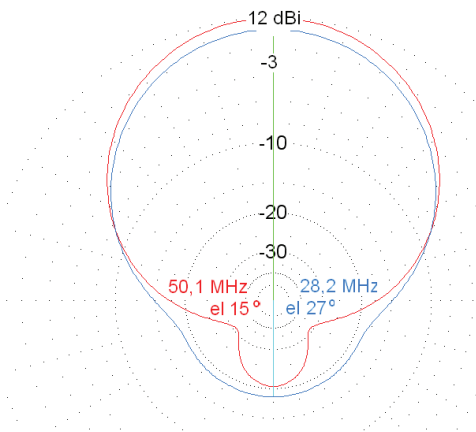
(Rozměry A, B, C, D a E samostatných antén se shodují s údaji v PE-AR 11/2011 na str. 31.)



Obr. 1. Schéma dvoupásmové antény Moxon s rozměry podle tab. 1. Červeně jsou znázorněny tyto izolační části: Spojovací/napínací prvky mezi zalomenými konci zářičů a reflektorů; distanční rozpěrky symetrického spojovacího vedení; izolační nosná ráhna. Z rozměrů A, E, U_{28} a U_{50} lze navrhnout nosnou konstrukci antény



Obr. 2. Z elevačních diagramů dvoupásmové antény Moxon, instalované ve výšce 5,3 m nad reálnou zemí (tzn. ve výšce $0,5 \lambda_{28}$ a $0,88 \lambda_{50}$), lze odečíst maximální zisk v elevacích 27° a 15° . Tvar elevačních diagramů a optimální elevační úhly v jiných výškách lze odečíst z diagramů v PE 11/2011



Obr. 3. Azimutální diagramy záření této antény v optimálních elevačních rovinách 27° na kmitočtu 50,1 MHz a 15° na 28,2 MHz jsou prakticky shodné

EI. parametry samostatných antén na společné konstrukci (dle obr. 1) při rozpojených svorkách nenapájené antény:

	28,2 MHz	50,1 MHz
Zisk G_i	6,0 dBi	6,5 dBi
Činitel zpětného záření (ČZZ)	37 dB	14,0 dB
Přizpůsobení – – ČSV _{50Ω}	1,1	2,1

Parametry vnitřní antény se podle předpokladů mění. Obě poloviny zářiče vnější „desítkové“ antény totiž působí na kmitočtu 50,1 MHz jako 2členný skupinový direktor, s „direktorovými“ délkami 2x (1933 + 578 mm), tj. 2x 0,418 λ. Zvyšuje se tím zisk vnitřní antény o 0,5 dB, ale zároveň snižuje ČZZ na 14 dB, protože dvojice těchto „direktorů“ část záření „vrací zpět“. Vzájemná vazba se zářičem vnitřní antény pak zhoršuje její přizpůsobení – ČSV = 2,1.

● Uvedené poznatky by platily při nezávislém napájení každé antény samostatným napájecím nebo při přepínaném připojení jediného napáječe přímo na svorky každé antény.

Z provozních důvodů je však žádoucí realizovat napájení obou antén společně jedním koaxiálním napájecím.

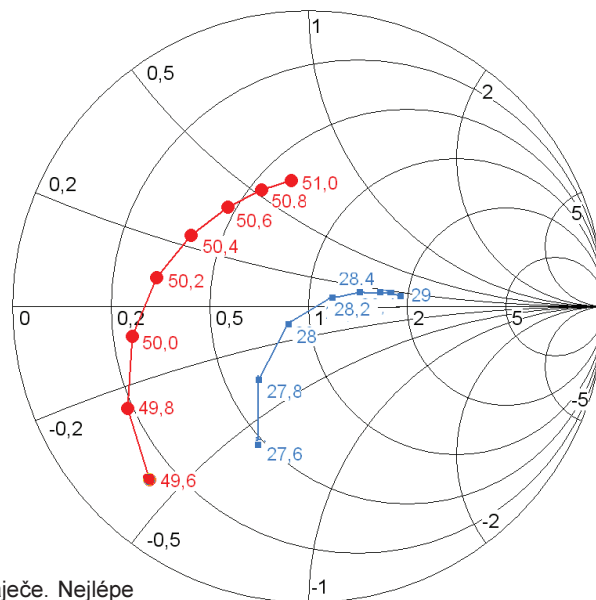
Společné napájení obou antén

● Z několika možností je při amatérské realizaci nejjednodušším řešením spojení obou antén krátkým symetrickým vedením (obr. 1), ke kterému se ve vhodném místě připojí společný napáječ. Mechanická jednoduchost této úpravy je „elektricky“ složitá, protože obě antény jsou spolu galvanicky spojeny a svými rozměry, resp. impedancemi ovlivňují poměry na spojovacím vedení a v místě napájení.

Po několika výpočetních pokusech bylo nakonec pro praktickou realizaci zvoleno napájení celé sestavy na svorkách vnější, „desítkové“ antény, spojené s opravou rozměrů zalomených úseků antény na 50 MHz. Tak zůstaly zachovány původní příznivé a prakticky **shodné směrové vlastnosti** na obou pásmech.

EI. parametry obou antén spojených symetrickým vedením (dle obr. 1) se mění

Obr. 4. (Vpravo) Impedance dvoupásmové antény Moxon v pásmech 27,5 až 29 MHz a 49,5 až 51 MHz na vnějších svorkách symetrického spojovacího vedení z Cu vodičů Ø 2 mm s roztečí 60 mm. Impedance je normována na 50 Ω



podle místa připojení napáječe. Nejlépe se projevilo napájení na svorkách vnější antény:

a) Parametry antény ve volném prostoru:

	28,2 MHz	50,1 MHz
Zisk G_i	6,0 dBi	6,2 dBi
Činitel zpětného záření (ČZZ)	30 dB	26 dB
Přizpůsobení – – ČSV _{50Ω}	<1,1	3,3

b) Parametry antény nad reálnou zemí ve výši $h = 5,3$ m, tj. $0,5 \lambda_{28}$ a $0,88 \lambda_{50}$:

	28,2 MHz	50,1 MHz
Zisk G_i	11 dBi	12 dBi
Činitel zpětného záření (ČZZ)	21 dB	23 dB
Přizpůsobení – – ČSV _{50Ω}	<1,1	3,45
Elevace max. zisku	27°	15°

Výše uvedené parametry platí po úpravě rozměrů vyznačených v tab. 1 červeně.

$Z_a = 14,5 \pm j 0$ je vypočtená svorková impedance celé anténní sestavy na kmitočtu 50,1 MHz. Není tedy ideální. Na anténním vstupu koaxiálního napáječe se na vlnové impedanci 50 Ω objeví ČSV = 3,45.

Problém tohoto nepřizpůsobení lze řešit několika způsoby:

a) Nejjednodušší, tzn. bez dalších úprav – se připojí koaxiální napáječ 50 Ω (přes širokopásmový symetrický obvod – feritový proudový balun) přímo na svorky antény a využije se „příznivého“ vlivu vlastního útlumu koaxiálního kabelu, který snižuje ČSV u transceiveru na přijatelnější hodnotu, kterou pak již snadno dopřizpůsobí ATU u TRXu. Např. 15 m koaxiálního kabelu RG-58 snižuje ČSV = 3,45 na 2,6 (viz výpočet programem TLD v PE 10/2010).

b) Protože impedance antény má na kmitočtu 50,1 MHz jen reálnou složku $R = 14,5 \Omega$, můžeme ji transformovat na přijatelných 43 Ω čtvrtlenným transformátorem s vlnovou impedancí 25 Ω, který lze snadno realizovat dvojicí paralelních (miniaturních) 50ohmových koaxiálních kabelů typu RG-174, resp. VFSP-50-1,5. Jejich skutečná délka bude činit 105 cm (teflonové dielektrikum, $k = 0,7$) nebo

99 cm (PE dielektrikum, $k = 0,66$). ČSV na výstupu z tohoto transformátoru pak bude <1,2 na kmitočtu 50,1 MHz.

Tento transformátor ale zároveň nepříznivě ovlivní původně velmi příznivou impedanci v pásmu 28 MHz. Jeho elektrická délka 0,14 λ tam „přetransformuje“ původně reálnou impedanci $Z = 50 \Omega \pm j 0$ do nepříznivé kapacitní reaktance $Z = 0,37 - j 0,25$ na Smithově diagramu, resp. na $Z_{50} = 18,5 - 12,5 \Omega$ s ČSV = 2,8. Útlum stejného kabelu snižuje ČSV na přibližně polovičním kmitočtu jen na 2,3, takže se opět uplatní ATU.

c) Anténářsky „nejčistší“ je poněkud složitější připojení obou antén ke společnému napájecí pomocí selektivní kmitočtové výhybky (diplexeru) vstupní a výstupní impedancí 50 Ω. Zmíněným čtvrtlenným kabelovým transformátorem, stočeným do několikazávitové cívky (která „nahradí“ balun), připojíme svorky vnitřní antény na jeden (koaxiální) vstup kmitočtové výhybky. Tato změna však vyžaduje opravu rozměrů zalomených úseků vnitřní antény tak, aby $B = 342$, $C = 60$, $D = 394$. Jejich součet, rozměr $E = 796$ se nemění. Vnější anténu připojíme ke druhému vstupu výhybky krátkým koaxiálním kabelem s proudovým balunem 1 : 1 na svorkách vnější antény. Obě antény teď budou přizpůsobeny k vlnové impedanci 50 Ω. Od výhybky pak už vede společný koaxiální napáječ k TRXu. Nepřekročí-li poměr oddělovaných/slučovavých kmitočtů 1 : 1,8, lze výhybku zhotovit poměrně snadno z několika úseků koaxiálního kabelu [1]. Každý selektivní obvod v napájecím systému, tzn. i zmíněný čtvrtlenný transformátor však omezí šířku přenášených pásem.

Po zvážení všech „pro a proti“ se pro amatérskou realizaci jeví jako **kompromisně přijatelné napájení celé anténní sestavy společným koaxiálním napájecím, připojeným na svorky vnější antény dle obr. 1** s tím, že nepříznivé přizpůsobení v pásmu 50 MHz se bude řešit pomocí ATU až u transceiveru.

Literatura

[1] Macoun, J.: Kabelové selektivní výhybky. AR-B 1/1984, str. 58 až 62.

