

Anténa Moxon

Jindra Macoun, OK1VR

Moxon's Rectangle (Moxonův obdélník), zkráceně Moxon, je principiálně jednoduchá, zpravidla horizontálně polarizovaná, 2prvková anténa Yagi, se zmenšeným (půdorysným) rozměrem. Anténa zabírá menší prostor než klasická 2prvková „yagina“, protože koncové úseky obou prvků jsou proti sobě pravouhře zalomeny. Je typickým představitelem rozměrově malých a konstrukčně jednoduchých směrových antén, vhodných spíše na vyšší pásma KV, pro které se ujal název MINIBEAM.

Autorem antény je Leslie A. Moxon, Bsc, CEng, MIEE, donedávna nejstarší britský radioamatér a zároveň erudovaný odborník v oblasti antén a vf techniky. Narodil se 15. března 1909. Elektrotechnické inženýrství absolvoval (Bsc) v roce 1929. Následovala další odborná studia, po nichž nastoupil do Murphy Radio Ltd., kde byl zodpovědný za vývoj rozhlasových přijímačů a související techniky. Od roku 1941 pracoval na tajných britských radarových projektech. Byl členem významných odborných institucí Royal Naval Scientific Service a British Institute of Electrical Engineers.

Na amatérských pásmech byl „Less“ činný již v roce 1928 pod značkou G6ZN.

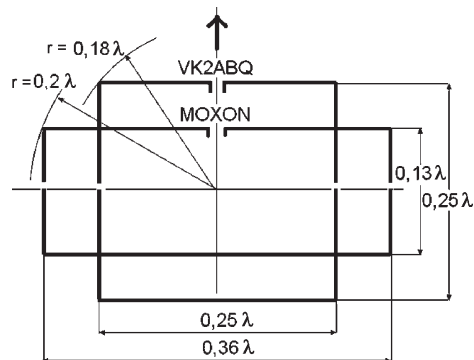
Princip antény, která právem nese jeho jméno, publikoval v QST [1] roku 1932 jako modifikaci původního projektu Freda Catona, VK2ABQ. V 70. a 80. letech pak přispíval vynikajícími články

o anténní problematice do časopisů RadCom a Ham Radio. Velmi populární jsou dvě vydání jeho knihy „Antennas for all Locations“ z roku 1982 (RSGB). Zemřel ve svých 95 letech 3. března 2004.

Anténa VK2ABQ

Anténu VK2ABQ lze považovat za výchozí model, ze kterého je odvozen Moxonův obdélník. Není sice tak populární, nicméně je to anténa zajímavá a rozšířená. Proto ji úvodem zmiňujeme.

Principiálně je to 2prvková anténa Yagi s roztečí $0,25 \lambda$ mezi napájeným půlvlnným zářičem – dipólem a nenapájeným reflektorem. Oba prvky jsou k sobě pravouhře zalomeny tak, že jejich střední, rovný úsek je dlouhý jen čtvrtvlnu – $0,25 \lambda$ ($\lambda/4$). Zalomené, $0,125 \lambda$ ($1/8 \lambda$) dlouhé koncové úseky obou prvků pak „vypĺňují“ (s nepatrnou izolační mezerou



Obr. 1. Obrysové rozměry antén typu VK2ABQ a Moxon (optimalizovaný L. B. Cebikem, W4RNL) jsou zobrazeny v poměrném měřítku

mezi konci) jejich čtvrtvlnnou rozteč (obr. 1). Celá anténa je vlastně zformována do tvaru celovlnné čtvercové smyčky – quady, s rozměrem $0,25 \lambda \times 0,25 \lambda$, o které zde bylo již podrobně referováno [2].

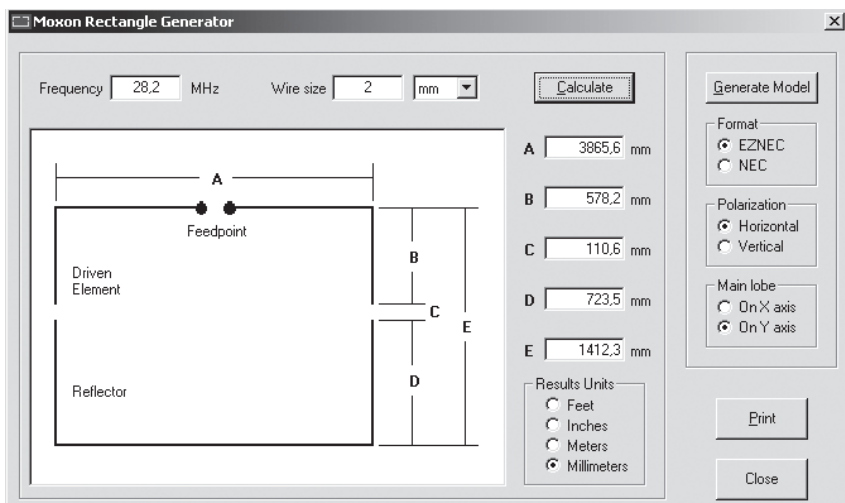
S nepřerušenými prvky by tato quad-anténa zářila kolmo k rovině smyčky, tzn. „nahoru“, do elevace 90° . Dva izolátory ji však dělí na dvojici shodných půlvlnných (rezonančních) prvků. Kapacita izolátorů i vzájemná vazba zavádí mezi vf proudy obou zalomených prvků fázový posun, který mění záření této dvojice na jednosměrné v horizontální rovině.

U klasických dvouprvkových Yagihových antén s rovnými prvky se fázového posunu vf proudů a tím i jednosměrných účinků dosahuje prodloužením reflektoru (nebo zkrácením direktoru) spolu s roztečí obou prvků.

Zatímco se shodnými půlvlnnými prvky původní antény VK2ABQ (obr. 1) lze počítat s max. ziskem do 5 dBi, max. činitelem zpětného záření/příjmu (předozadním poměrem) do 12 dB a se svorkovou impedancí antény $110 + j 30 \Omega$ až $160 + j 150 \Omega$, tak u antény, jejíž rozměry nejsou omezeny shodnou délkou prvků, neměnou roztečí a daným (čtvercovým) tvarem, lze směrové a impedanční vlastnosti ovlivňovat, resp. optimalizovat několika rozměry – (rozdílnou) délkou obou prvků, jejich roztečí i kapacitou konců. Taková anténa proto může vykazovat výhodnější elektrické parametry. Dokazují to parametry antény Moxon, o které se v dalším zmíníme.

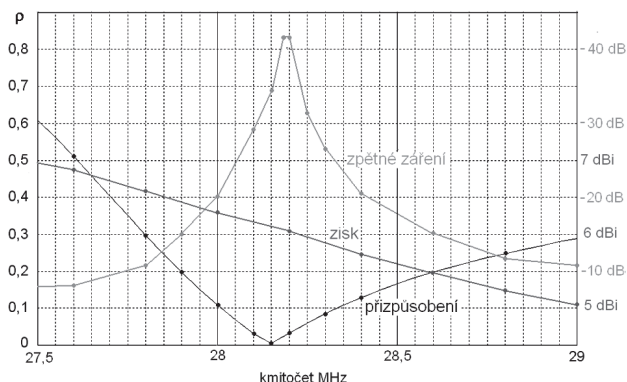
Autor původní antény VK2ABQ nicméně realizoval svůj záměr navrhnout a sestavit jednoduchou, snadno zhotavitelnou směrovou anténu s relativně dobrými vlastnostmi na pásmo 14 MHz. Její drátové prvky napnul mezi konce dvou nevodivých, vzájemně kolmých, $0,35 \lambda$ dlouhých nosníků. V otočném uspořádání tak pro pásmo 14 MHz získal „čtvercovou“ směrovku $0,25 \lambda \times 0,25 \lambda$ s poloměrem otáčení asi $0,18 \lambda$, resp. 3,8 m, zatímco u klasické 2prvkové „yaginy“ s rovnými prvky a roztečí $0,25 \lambda$ se koncové body otáčejí na poloměru o 2 m větším.

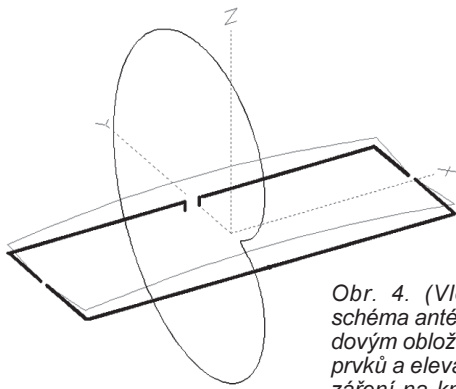
Stejnou (elektrickou) délkou půlvlnných drátových prvků, jejichž konce jsou spolu mechanicky spojeny, ale zároveň elektricky izolovány (původně odvětnými knoflíky, proto „knoflíková anténa“), se s drátovými vodiči $\varnothing 2$ mm dosahuje v podmínkách volného prostoru výše zmíněných maximálních parametrů.



Obr. 2. Okno programu MoxGen (Moxon Rectangle Generator). Vypočtené rozměry platí na kmitočtu 28,2 MHz s drátovým vodičem $\varnothing 2$ mm

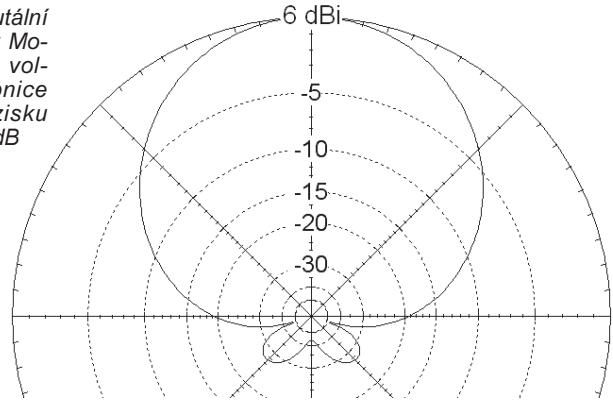
Obr. 3. Průběhy zisku (dBi), zpětného záření (dB) a přizpůsobení (vyjádřeného činitelem odrazu ρ) na impedanci 50Ω v pásmu 27,5–29 MHz u antény Moxon (podle rozměrů na obr. 2). S lineární stupnicí činitele odrazu ρ místo obvyklého činitele stojatých vln σ (ČSV) lze do společného grafu zakreslit průběhy dalších parametrů. Pro přepočítání ρ na σ (ČSV) platí vzorec: σ , resp. ČSV = $(1 + \rho)/(1 - \rho)$. Např. $\rho 0,5$ je ČSV 3, nebo ČSV 2 je $\rho 0,33$





Obr. 4. (Vlevo) Pohledové schéma antény Moxon s proudovým obložím zalomených prvků a elevačním diagramem záření na kmitočtu 28,2 MHz

Obr. 5. (Vpravo) Azimutální diagram záření antény Moxon (podle obr. 2) ve volném prostoru. Stupnice „-dB“ se vztahuje k zisku antény, který činí 6 dB



Kontrolní simulace programem EZ-NEC prokázala, že na 28,2 MHz se s půlvlnnými drátovými vodiči (\varnothing 2 mm) elektrické vlastnosti antény podstatně nemění při změně izolační mezery mezi konci zalomených prvků z 5 mm (!) na 250 mm, tzn. z $0,0005 \lambda$ na $0,002 \lambda$. Zisk se zvýší z 4,6 dBi na 4,9 dBi, zpětné záření se sníží z -10,75 dB na -11,75 dB a impedance se změní z $160 + j 42 \Omega$ na $120 + j 36 \Omega$.

Anténa se využívá spíše jako **vícepásmová**. Maximální rozměry nosné konstrukce jsou proto navrženy pro dvojici drátových prvků na nejnižší pásmo, obvykle na 14 MHz. Další dvojice prvků na vyšší pásma jsou pak upevněny na tatáž zkřížená ráhna soustředně, tzn. „uvnitř antény“ na 14 MHz. I když vzájemná vazba mezi soustřednými anténami víceméně degraduje výše uvedené parametry, tak je v praxi jako vícepásmová použitelná i používána.

Podrobný popis prakticky realizované vícepásmové antény VK2ABQ, včetně naměřených parametrů, má na svých webových stránkách OK1MMN [3].

Anténa Moxon

Moxon's Rectangle (Moxonův obdélník) je rovněž jednoduchá horizontálně polarizovaná 2prvková anténa Yagi se zalomenými prvky.

Zkrácení antény, přesněji zkrácení obou prvků, je u antény Moxon také omezeno rozměrem prostoru, do kterého se oba prvky lámou/ohýbají. Je jím rozteč obou prvků, která spolu s jejich celkovou délkou a koncovou kapacitou určuje směrové i impedanční vlastnosti antény.

Pracuje-li anténa jako dvojice zářič-reflektor, mohou jednosměrné účinky zabezpečit různé rozteče obou prvků, a to v rozsahu $0,1$ až $0,25 \lambda$. Požadavky na optimalizaci impedančních ($Z_a = 50 \Omega$) a směrových parametrů (zisk G a ČZP) pak ztuzují tento rozsah roztečí na hodnoty kolem $0,14 \lambda$. „Vyplní-li“ tuto rozteč (k sobě) zalomené části obou prvků bez vzájemného dotyku konců, pak budou oba anténní prvky, přesněji jejich rovné a navzájem rovnoběžné střední úseky, prakticky zkráceny právě o tuto rozteč, tzn. na délku $0,4$ až $0,25 \lambda$, resp. na délku $0,36 \lambda$ při optimální rozteči $0,14 \lambda$.

Ve skutečnosti budou zkráceny o něco méně, protože je třeba počítat s jistou minimální izolační mezerou mezi konci zalomených prvků. Uvádí se, že je poměrně kritická, zvláště u tlustších prvků.

Největšího, 50% zkrácení rovných prvků (tzn. na délku $0,25 \lambda$) se dosáhne s roztečí $0,25 \lambda$, tzn. s plošným rozměrem antény $0,25 \lambda \times 0,25 \lambda$. V tomto uspořádání ji původně také navrhl VK2ABQ, jak bylo v předchozí kapitole již podrobněji zmíněno.

Různé typy 2prvkových minibeams [4] se od sebe co do zisku znatelně neliší. Rozdíly jsou maximálně dvouděciblové, což se v provozu sotva pozná.

V praktickém provozu se ale jeví zřetelně příznivěji dobře přizpůsobené antény s výraznými jednosměrnými účinky, tzn. s vysokým činitelem zpětného záření/příjmu (ČZP), resp. vysokým předozadním poměrem (angl. front-to-back ratio).

Optimálně uspořádaný Moxonův čtyřúhelník tyto požadavky splňuje. Počítačové simulace potvrzují výborné vlastnosti Moxonem navržené antény. L. B. Cebik, W4RNL, ji podrobil analýze a navrhl algoritmus pro výpočet optimálních rozměrů. D. Maguire, AC6LA, pak sestavil malý výpočetní program **MoxGen** (Moxon Rectangle Generator). Jako samospustitelný ZIP soubor (20 kB) jej lze stáhnout ze stránek autora [5], kam byl umístěn 10. 12. 2004.

Na obr. 2 vidíme jediné okno programu MoxGen. Po zadání kmitočtu v MHz a průměru obou prvků (v mm nebo podle AWG) spočítá tento program všechny rozměry (A, B, C, D, E) nezbytné pro sestavení antény, nikoliv však elektrické parametry antény. Program MoxGen ovšem může následně vygenerovat model antény se všemi elektrickými parametry v numerickém i grafickém vyjádření ve formátu EZ s nainstalovaným programem EZNEC, nebo ve formátu NEC pro použití s NEC-Win softwarem, popř. s jiným generickým NEC programem instalovaným v počítači.

Instalace některého z uvedených programů v PC je proto nezbytná při simulaci případných rozměrových změn, zvláště pak při volbě různých (tzn. neshodných) průměrů jednotlivých částí (A, B, C, D, E), kterých se má v zamýšlené konstrukci použít.

Vypočtené rozměrové údaje (obr. 2) platí s drátovými Cu vodiči \varnothing 2 mm na kmitočtu 28,2 MHz. Počítač samozřejmě vygeneruje numerické rozměry na desetiny mm. To však neznamená, že musí být při realizaci přesně dodrženy. Je to ostatně nereálné a zbytečné. Příkladně to dokládají grafické průběhy sledovaných elektrických parametrů v pásmu 27,5 až 29 MHz na obr. 3.

Zatímco zisk i přizpůsobení antény se v uvedeném pásmu výrazně nemění, má činitel zpětného záření podstatně úzkopásmovější charakter. Protože je z provozních hledisek považován za významný, můžeme modelováním antény posoudit, který z rozměrů jej hlavně ovlivní. Ten pak je možno považovat za nejkritičtější.

Rada výpočtů prokázala, že jednosměrné účinky s maximálním potlačením zadního laloku ovlivňuje především (celková) optimální délka reflektoru. Změna rozteče a tím i změna kapacity mezi konci zalomených úseků se na vypočtené úrovni zadního laloku naopak výrazněji neprojeví, bude-li se vypočtená rozteč zvětšovat. Menší rozteč začne zpětné záření zhoršovat. Z toho lze usuzovat, že pro maximální ČZP nesmí kapacita mezi konci zalomených částí překročit jistou mez (obr. 4, 5).

Dokladem kvality a značného rozšíření antény Moxon jsou desítky amatérských internetových stránek s popisy a fotografiemi nejrůznějších konstrukcí na KV i VKV pásmu, a to včetně pásma PMR. Do vyhledávače Google stačí zadat „MOXON ANTENNA“.

V češtině najdeme podrobné konstrukční popisy Moxonů např. na vynikajících stránkách OK1CJB (14 MHz) [8] nebo na stránkách FRANTY CV (pásmo PMR!!) [9].

Literatura

- [1] Moxon, L., A., G6ZN: Two-Element Driven Arrays. QST 7/1932.
- [2] Macoun, J., OK1VR: Anténa Big Loop (1). PE 10/2007.
- [3] Vávra, A., OK1MMN: Modifikace drátové směrovky VK2ABQ a její praktické řešení, <http://anteny.webz.cz/articles/cz/vk2abq.html>
- [4] Bocek, J., OK2BNG; Škácha, J., OK1DMU: Magické dvoelementové směrové antény na KV. Radioamatér 1 až 6/2002 (zejména části 1, 4 a 6).
- [5] Maguire, D., AC6LA: <http://www.dxzone.com/dx9316/ac6la-moxgen.html> nebo <http://www.qsl.net/ac6la/moxgen.html>
- [6] Moxon, L., A., G6ZN: High Performance Small Beams. Ham Radio 3/1979.
- [7] Baker, A., KG4JJH: A 6 meter Moxon Antenna. QST 4/2004.
- [8] Janata, J., OK1CJB: Radioamatérský občasník, <http://www.ok1cjb.cz/>
- [9] Franta CV: <http://www.dusoft.cz/PMR/Moxon/Moxon.htm>