

SKELETON SLOT – – zapomenutá anténa (1)

Jindra Macoun, OK1VR

Popisuje se konstrukčně jednoduchá, dvousměrná, horizontálně polarizovaná anténa, vhodná pro vyšší KV pásma. Nárokují svislou plochu o rozměru $0,2 \lambda \times 0,66 \lambda$. V otočném uspořádání se její konce otáčejí pouze na poloměru $0,1 \lambda$. Ve volném prostoru má anténa zisk 5 dBi ve dvou protilehlých směrech. V optimální provozní výšce nad reálnou zemí je možno počítat se ziskem až 10 dBi v příznivé elevaci pro DX spojení. Impedance antény činí 50Ω v jednopásmovém uspořádání, nebo 200Ω při provozu na třech sousedních pásmech. Základní rozměry jsou na obr. 1 a v tab. 1.

Slot anténa byla v amatérské literatuře publikována již v 50. letech [1, 2, 3], [4]. Z té doby také pochází pojmenování, které se zachovalo až do současnosti, i když činnost a uspořádání popisované antény na KV pásma dnes vysvětluje jinak. Pokládáme ji za dvojici celovlnných smyček, které mohou připomínat „kostru štěrbinu“ podle anglického „skeleton slot“.

Slot anténa = = štěrbinová anténa

Nejjednodušší klasickou štěrbinovou anténou je půlvlnný anténní prvek ve tvaru relativně úzké štěrbinu, vyříznutý do („nekonečného“) vodivého povrchu. Na vyzařování této antény se podílejí převážně vř proudy na vodivé ploše v okolí štěrbinu a na její hraně.

Diagram záření této štěrbinu se podobá záření půlvlnného dipólu ve volném prostoru. Štěrbinu však vyzařuje „opačnou polarizaci“, tzn. že horizontální štěrbinu vyzařuje elektrickou složku E s vertikální polarizací a magnetickou složku H s horizontální polarizací. Prakticky to znamená, že pro optimální příjem z horizontální štěrbinu musí být použito opačně orientovaného, tzn. vertikálního dipólu. Vztah mezi dipólem a štěrbinou lze proto označit jako komplementární.

Štěrbinová anténa vyzařuje shodně na obě strany vodivé plochy. Jednostranným uzavřením štěrbinu dutinou dochází k vyzařování jen do volného, neuzavřeného „poloprostoru“. Napájecí i zářivé vlastnosti štěrbinu jsou dány rozložením vř proudů podél štěrbinu. Maximální impedance (asi 500Ω) je mezi napájecími body uprostřed štěrbinu. Ke koncům štěrbinu pak impedance klesá, což tam usnadňuje napájení běžným koaxiálním kabelem.

V praxi se štěrbinu nejčastěji umísťují na vodorovné nebo oblité plochy mobilních prostředků, letadel, raket a družic.

Drátová štěrbinu

Dále popisované uspořádání „drátové“ štěrbinu (skeleton slot antény) poprvé popsal B. Sykes, G2HCG [2]. Vycházel z úvahy, že zmenšováním vodivé plochy až k pouhému ohraničení štěrbinu zůstanou její charakteristické vř vlastnosti zachovány. Měly to potvrdit pokusné konstrukce, realizované původně v pásmu 145 MHz.

Další vývoj vedl k novým konstrukčním modifikacím, komerčně realizovaným na VKV FM pásmu 88 – 108 MHz [3].

Tak se v DL objevila anténa neobvyklého tvaru, tzv. Skeletschlitzantenna (schlitz – něm. štěrbinu), které se dostalo publicity i u nás, což vedlo ke zkráceným informacím o údajně výjimečném zisku. „Chodivá“ verze antény se nakonec uplatnila jako společný budící prvek dvou nad sebou umístěných pasivních direktorových řad Yagihio antény

pro VKV FM pásmo. Tento budící prvek již nebylo možné považovat za štěrbinu, ale spíše za velkou smyčkovou anténu, jejíž princip i způsob vyzařování byl na stránkách časopisů PE i AR již vysvětlován [8, 9] a simulacími programy doložen.

Znovu jej stručně připomeňme.

Zmenšováním plochy kolem štěrbinu až k pouhému vodivému ohraničení se z původní štěrbinové antény stává půlvlnná, na obou stranách zkratované vedení, které je také možné považovat za dvojici proti sobě umístěných čtvrtvlnných vedení, resp. za dvojici půlvlnných smyček, považujeme-li za půlvlnný obvod čtvrtvlnného vedení. Celý obvod takové dvojice je proto jednovlnný, takže se z něj stává celovlnná smyčka (big loop, popisovaná v [8]). Ta však musí být širší než původní relativně úzká štěrbinu, aby se dosáhlo dobré účinnosti.

Z rozložení vř proudů podél smyčky je zřejmé, že při napájení uprostřed jedné vodorovné strany vyzařují soufázově pouze obě vodorovné části smyček, zatímco se záření z vertikálních částí navzájem ruší. Anténa se tak prakticky jeví jako dvojice čtvrtvlnných soufázových zářičů, vzdálených navzájem $\lambda/4$.

Popisovaná skeleton slot anténa je pak uspořádáním dvou celovlnných smyček těsně nad sebou, tedy se společným středním napájecím prvkem. Vzniká tak konstrukčně jednoduchá tříčlenná (tříprvková) soufázová řada, kterou lze snadno namodelovat a ověřit některým z dostupných anténních programů.

Napájecí vlastnosti

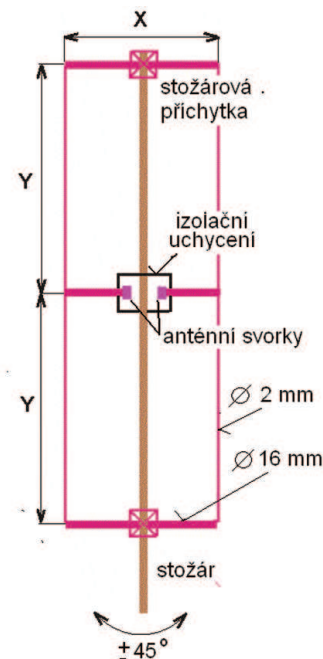
Je-li obvod smyčky celovlnný, je smyčka v rezonanci a její svorková impedance se bude blížit pouhému reálnému odporu. Jeho velikost pak bude závislá především na poměru délek (X/Y). U čtvercové smyčky ($X/Y = 1$) činí tato impedance asi 140Ω .

Obdélníková smyčka bude mít reálnou složku impedance vyšší při poměru délek $X/Y > 1$ a nižší, bude-li $X/Y < 1$. Při požadované impedanci 50Ω činí poměr stran $X/Y = 0,6$. Předpokládá se napájení uprostřed vodorovné smyčky o délce X.

U dvojice těsných smyček (dle obr. 1) se uvedená impedance vlivem vzájemné vazby prakticky nezmění. Jedna smyčka, ale i celá dvojice tedy bude „štíhlejší“. Anténu lze provozovat jako jednopásmovou bez použití ATU s impedancí 50Ω , nebo jako třípásmovou s výhodnější impedancí 200Ω pro snadnější doladění nezbytného ATU.

Zářivé (směrové) vlastnosti

jsou závislé na instalaci antény. Ve volném prostoru bude mít anténa v obou rovinách „osmičkový diagram“ s maximy oriento-

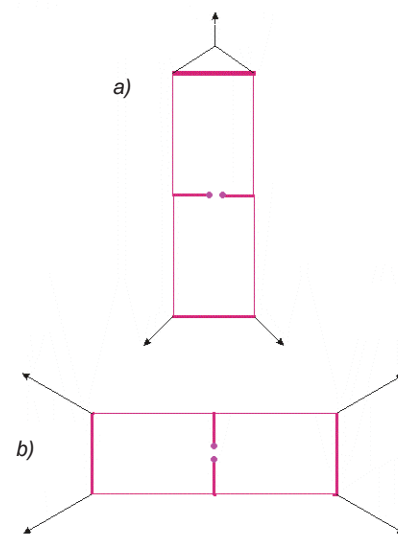


Obr. 1. Skeleton slot anténa. Celkové uspořádání na otočném stožáru. Hlavní rozměry X a Y dle tab. 1 jsou znázorněny v poměrném měřítku

vanými kolmo k ploše antény. Předpokládáme-li horizontální polarizaci aktivních prvků (dle obr. 1), bude se záření v horizontální (azimutální) rovině (E) blížit záření zkráceného dipólu ($L = 0,2 \lambda$) s úhlem záření 86° . Ve vertikální (elevační rovině) bude diagram záření štíhlejší, 78° , působením trojice soufázově napájených, i když zkrácených dipólů. Za těchto podmínek bude mít anténa zisk asi 5 dBi. Vlivem země se úhel záření v elevační rovině zúží a odkloní směrem „nahoru“ v závislosti na provozním kmitočtu (pásmu) a výšce antény nad zemí. (Napájecí a zářivé vlastnosti antény budou podrobněji probány v druhé části článku).

Konstrukce antény

je poměrně jednoduchá bez kritických rozměrů. V podstatě ji tvoří vodorovné tři prvky, nejlépe duralové trubky, které jsou (u otočné verze) ve svém středu upevněny k nosnému stožáru ve vzájemných vzdá-



Obr. 2. Závěsná instalace antény polarizované horizontálně (a), vertikálně (b). Při závěsné instalaci dle b) mohou být všechny vodiče antény drátové

nostech Y dle tab. 1. Na svých koncích jsou vodivé spojeny svislými drátovými vodiči s konci napájecího prvku, který je ke stožáru upevněn izolovaně, tak aby k němu mohl být připojen napáječ nebo symetizační člen. Horní i dolní zářič mohou být ke stožáru upevněny vodivě. Průměry prvků ani svislých vodičů nejsou kritické. Vodrové prvky mají průměr 12 až 16 mm. Svislé vodiče mají průměr 2 mm.

Při stálé instalaci antény se doporučuje dobrá mechanická i protikorozní ochrana všech elektrických i mechanických spojů. Zároveň je třeba zabezpečit napáječ, zejména symetrický (který musí být veden v jisté stálé vzdálenosti od stožáru), proti kmitání ve větru, které obvykle způsobí přerušování vodičů. Pro pokrytí celého azimutu (360°) postačí u dvousměrné antény otáčení o 90°.

Anténu je možné instalovat též jako závěsnou, bez nosného stožáru (obr. 2 a). V závěsné instalaci ji lze provozovat i s vertikální polarizací (obr. 2 b) např. při expedičním vysílání na pásmu CB. Její směřování pak bude ostřejší, protože se do azimutální roviny „otočí“ užší úhel záření v rovině H, tzn. v rovině kolmé na prvky. Pro zachování

Kmitočet	14 MHz	18,1 MHz	21 MHz	24,8 MHz	28 MHz
λ [m]	21,43	16,57	14,28	12,1	10,71
X [m] (0,196 λ)	4,2	3,25	2,8	2,37	2,1
Y [m] (0,329 λ)	7,05	5,45	4,7	3,98	3,52
2 Y [m] (0,658 λ)	14,1	10,9	9,4	8	7

Tab. 1.

příznivého úhlu elevačního však musí být anténa umístěna výše.

Rozměrová tabulka

Udává délky X a Y vodorovných prvků a svislých vodičů ve vlnové délce (λ) odpovídající uvedeným kmitočtům (pásmům), a dále skutečné délky v m.

Poměr délek svislých vodičů a vodorovných prvků při zachování celovlnného obvodu jedné smyčky $[(2 \times 0,196 \lambda) + (2 \times 0,329 \lambda)] = 1,05 \lambda$ je zvolen tak, aby svorková impedance antény činila 50 Ω .

Literatura

[1] Ramsay, J., F.: US patent 2,755,465 – brit. Prior 1949.

[2] Sykes, B., G2HCG: Skeleton Slot Aerials. RSGB Bulletin. January 1953.

[3] Dent, H., B.: Skeleton Slot Aerial. Wireless World. Vol. 60, August 1954, s. 399 – 401.

[4] Krischke, A.: Rothammels ANTENNEN-BUCH. DARC Verlag, Baunatal, 12. vydání.

[5] Capstick, B., G3JYP: The HF Skeleton Slot Antenna. RadCom. RSGB 1996.

[6] Dodd, P., G3LDO: The Skeleton Slot Antenna. ARRL Antenna Compendium. Vol. 6, 1999, s. 70 – 73.

[7] Dodd, P., G3LDO: Building successful HF Antennas. RSGB, Aug. 2008, s. 109 – 112.

[8] Macoun, J., OK1VR: Anténa Big Loop. PE 10 a 11/2007.

[9] Macoun, J., OK1VR: Yagiho antény se smyčkovými prvky. AR B 1/1982, s. 28 – 30.

Ad: Mini-Whip – anténa vzbuzující vášně [5]

Vyjádřím se k několika kurzívou označeným formulacím z uvedeného článku [5], které jsou dle mého názoru nepřesné, neúplné, popř. chybné, takže ovlivňují srozumitelnost článku.

Akceptuji tím sdělení autora v úvodu, „že se rád nechá poučit“, popř. „přijímá jiný názor doložený na principu matematického řešení, nebo alespoň návrhu příslušných rovnic“. Problematiku elmag. pole a jeho složek, která je podstatou sporu o správný výklad činnosti antény MW, a to nejen v uvedeném článku, však není účelné řešit matematicky na stránkách PE. Většinu čtenářů by to ani nezaujalo. Proto v závěru odkazuji zájemce na příslušné kapitoly v dostupné publikaci J. Myslíka o teorii elmag. pole [6].

Požadovaná „shovívavost k přesnosti používaných termínů“ není dle mého názoru na místě, protože přesnost používaných termínů může vést k chybné či nepřesné interpretaci textu. Škoda, že autor nedoplnil text článku výsledky svých experimentů a měření.

Dále již tedy jen některé citace a vyjádření k nim:

1. U MW neplatí tzv. princip reciprocity.

Princip reciprocity znamená, že diagram záření vysílací antény je shodný s diagramem příjmu téže antény pracující jako přijímací. Tzn. že mezi vysílací a přijímací anténou není žádný rozdíl z hlediska jejich diagramů záření, resp. příjmu. Vyřadíme-li u antény MW elektronické obvody, které diagram záření neovlivňují, můžeme anténu teoreticky použít i pro vysílání se stejným diagramem záření.

2. O MW také nelze hovořit jako o aktivní anténě.

Anténu, která je integrací elektronických stavebních prvků s anténní strukturou lze považovat za anténu aktivní. Většinou jde o přijímací anténu s malým (krátkým) anténním prvkem. U aktivní přijímací antény nemusí být přijímané signály vždy zesilovány, ale požaduje se zpravidla jen impedance přizpůsobení k napájecí, resp. k přijímací. Integrovaný anténní zesilovač tam pracuje se „zesílením“ jedna, nebo i menším [1].

3. Není účelem, aby koaxiální kabel přijímal nějaké signály.

Obecně se na funkci přijímací (ale i vysílací) antény může a musí, nebo nemá či nesmí podílet (povrch) stínění koaxiálního kabelu. Závisí to na typu antény. Vnější a vnitřní povrch stínění jsou od sebe vysokofrekvenčně odděleny skin-effektem stínění. V proudy na povrchu stínění koaxiálního kabelu nemohou indukovat v proudy uvnitř koaxiálního kabelu.

4. (Anténa MW) Přijímá elektrostatičku složku elmag. pole.

Elmag. pole žádnou elektrostatičku složku nemá. Podmínky pro přenos vlny energie (např. k MW anténě) zabezpečí na větší vzdálenost pouze dvě navzájem kolmé složky elmag. pole, elektrická a magnetická, které spolu s Pointingovým vektorem tvoří elmag. vlnu, dopadající na přijímací anténu. K přenosu vlny energie na větší vzdálenosti proto nelze využít elektrostatičké pole, které se šíří jen indukci nábojů z relativně blízkých zdrojů. Podle Coulombova zákona je intenzita siločar elektrostatičké pole nepřímo úměrná druhé mocnině vzdálenosti, takže se vzdáleností rychle klesá.

5. Pokud bylo před bouřkou, byla často intenzita elektrostatičké pole tak vysoká, že stačilo tasit meč a pozvednout ho proti obloze. Na konci meče se vytvořil poskakující plamínek („Eliášův oheň“), což byl elektrický výboj, kdy intenzita elstat. pole byla vyšší než dielektrická pevnost vzduchu. Staří piráti tak vlastně vytvořili první MW, neměli ale přijímač ani neměli koho poslouchat.

Takže dnes tedy již můžeme „tasit“ malou (MW) anténu, připojit k ní koaxiálním kabelem přijímač a poslouchat prostřednictvím elektrostatičké pole vzdálené rozhlasové stanice a majáky na DV a SV pásmech. Ve skutečnosti posloucháme tyto stanice prostřednictvím pole elektromagnetického. Pokud by přijímací anténa byla (např. při bouři) zároveň pod vlivem silného pole elektrostatičké, tak bychom díky rušení (QRN) tyto stanice vůbec neslyšeli.

6. Je známo, že MW nepřijímá v uzavřené místnosti. Je to proto, že uzavřená místnost se z elektrostatičké hlediska chová jako vnitřek uzavřené vodivé koule, kdy intenzita elektrostatičké pole klesá lineárně k nule ve středu místnosti.

Uzavřená (obytná) místnost rozhodně není z hlediska pronikání elektrostatičké ani elektromagnetického pole ekvivalentní vodivé kouli, resp. tzv. Faradayově kleci, která se používá k vytvoření prostoru bez nežádoucích polí při zkoušení a měření vř. zařízení. MW nepřijímá dobře v uzavřené místnosti proto, že se tam kolem celé anténní struktury MW také nevytvoří elmag. pole s koncentrací siločar na konci (neexistujícího) vertikálního úseku „zmuchlaného“ koaxiálního kabelu. Mimo to, se uvnitř budov výrazně zvyšuje hladina rušení, což téměř vždy přispívá k horšímu poměru signál/šum. To je také jeden z důvodů, proč MW přijímá lépe ve volnějším prostoru.

7. Na anténu s nulovou délkou, nepřipojenou

k napájecí nulové délce nemůžeme aplikovat jakoukoliv anténní teorii...

Anténa MW ani její napáječ však nemají nulovou délku. Anténa MW je k napájecí připojena, a to prostřednictvím obvodů integrované elektroniky.

Mezi závěry článků [4] a [5] je nicméně „shoda“ v koncentraci siločar elektrického pole a hypotetického elektrostatičké pole na konci vertikálního úseku koaxiálního kabelu, tzn. v místě připojení anténní „plošky“. K této zvýšené koncentraci dochází právě konfigurací celé anténní struktury včetně napájecího kabelu, přesněji jeho vertikální části. To je také jeden důkaz rozhodujícího (ale často popíraného) vlivu koaxiálního napáječe (přesněji jeho stínění) na intenzitu přijímaných signálů.

Při simulaci antény je použití anténního programu EZNEC limitováno minimálním kmitočtem (f_{min}), na kterém se při dané délce nejkratšího anténního zářiče zkrátí délka jediného segmentu pod 0,05 λ , což již nepřiznivě ovlivní kvantitativní hodnocení posuzované antény.

Závěrem doporučuji všem, u kterých anténa MW „vzbuzuje vášně“, aby si s chladnou hlavou znovu prostudovali uvedené články i doporučenou literaturu. Najdou tam odpověď na otázku, jak MW principiálně funguje, resp. zjistí, že anténa MW funguje normálně, tzn. jako unipólová (a elektronická) anténa, instalovaná ve volném prostoru nad zemí. Nedílnou částí takového unipólu je tzv. protiváha, kterou zde představuje optimálně vedený koaxiální kabel, resp. jeho vhodné uzemnění stínění.

Uveřejněné články:

[1] Voráček V., OK1XVV: Aktivní anténa Maxi-Whip. PE 2/2009.

[2] Procházková, M.: Mini-Whip z pohledu anténáře. PE 11/2009.

[3] Honzík, K., OK1XKH; Kaplan, J., OK1MES; Boháč, J.: Mini-Whip – ostře sledovaná anténa. PE 1/2010.

[4] Procházková, M.: Mini-Whip – ostře sledovaná anténa (2). PE 2/2010.

[5] Balhar, V., OK1SVB: Mini-Whip – anténa vzbuzující vášně. PE 4/2010.

Doporučená literatura:

[6] Myslík, J.: Elektromagnetické pole – základy teorie. BEN 1998 (s. 12 – 15, s. 28 – 29 a celá 6. kapitola).

[7] Szanto, L.: Maxwellovy rovnice. BEN 2003.

OK1VR