KONSTRUKČNÍ ELEKTRONIKA A Radio

ROČNÍK VII/2002. ČÍSLO 3

Amatérské RADIO

ŘADA B - PRO KONSTRUKTÉRY

ROČNÍK LI/2002. ČÍSLO 3

V TOMTO SEŠITĚ

Dějiny přenosu zpráv na dálku 1

ANTÉNY (NEJEN) PRO AMATÉRSKÁ PÁSMA

Šroubovicové antény pro přenosné a mobilní radiostanice 3

Čtyřprvková anténa „KRCKA 2“ pro pásmo 145 MHz 26

Všesměrový „duoband“ GP 4xJ - vertikální anténa pro pásma 145 a 435 MHz 28

Seznam článků s anténní tématikou 34

ZAJÍMAVÁ A PRAKTICKÁ ZAPOJENÍ

Napájecí zdroje, nabíječky 35

Různě aplikovaná elektronika 37

KONSTRUKČNÍ ELEKTRONIKA A RADIO

Vydavatel: AMARO spol. s r. o.

Redakce: Radlická 2, 150 00 Praha 5, tel.: (02) 57 31 73 11, tel./fax: (02) 57 31 73 10.

Šéfredaktor ing. Josef Kellner, sekretářka redakce Eva Kelárková, tel. 57 31 73 14.

Ročně vychází 6 čísel. Cena výtisku 36 Kč.

Rozšiřuje PNS a. s., Transpress spol. s r. o., Mediaprint & Kapa a soukromí distributoři.

Předplatné v ČR zajišťuje **Amaro** spol. s r. o. - Michaela Jiráčková, Hana Merglová (Radlická 2, 150 00 Praha 5, tel./fax: (02) 57 31 73 13, 57 31 73 12). Distribuci pro předplatitele také provádí v zastoupení vydavatele společnost Předplatné tisku s. r. o., Abocentrum, Moravské náměstí 12D, P. O. BOX 351, 659 51 Brno; tel: (05) 4123 3232; fax: (05) 4161 6160; abocentrum@pns.cz; reklamace - tel.: 0800-171 181.

Objednávky a predplatné v Slovenskej republike vybavuje MAGNET-PRESS Slovakia s. r. o., Teslova 12, P. O. BOX 169, 830 00 Bratislava 3, tel./ /fax (02) 44 45 45 59, (02) 44 45 06 97 - predplatné, (02) 44 45 46 28 - administratíva; email: magnet@press.sk

Podávání novinových zásilek povoleno Českou poštou - ředitelstvím OZ Praha (č.j. nov 6005/96 ze dne 9. 1. 1996).

Inzerci v ČR přijímá redakce, Radlická 2, 150 00 Praha 5, tel.: (02) 57 31 73 11, tel./fax: (02) 57 31 73 10.

Inzerci v SR vyřizuje MAGNET-PRESS Slovakia s. r. o., Teslova 12, 821 02 Bratislava, tel./ /fax (02) 44 45 06 93.

Za původnost a správnost příspěvků odpovídá autor (platí i pro inzerci). Nevyžádané rukopisy nevracíme.

http://www.aradio.cz; *E-mail*: pe@aradio.cz

ISSN 1211-3557, MKČR 7443

© AMARO spol. s r. o.

Dějiny přenosu zpráv na dálku

Historie elektřiny a magnetizmu

Z historie antén

Všeobecně se předpokládá, že historie antén začíná s historií rádia. Není to však tak docela pravda. Vyjdeme-li ze základní definice antény jako zařízení, které zprostředkovává vyzařování nebo příjem elektromagnetických vln do volného a z volného prostoru, pak podrobnějším průzkumem zjistíme, že se anténám podobná zařízení vyskytovala již několik desítek let před objevem rádia.

Tak již v roce 1842 zpozoroval vynálezce drátového telegrafu J. Henry, že při přeskoku jiskry vznikl v paralelním obvodu umístěném v jiné místnosti proud, který vychýlil magnetku. Na konci svislého vodiče, nataženého se střechy také registroval vzdálené bouřkové výboje. Jiskry vznikající v blízkosti telegrafního vedení se mu podařilo zaznamenat pomocí magnetky a cívky postupně až na vzdálenost 800 m. Z podobnosti se světelnými jiskrami vykřesanými pazourkem usoudil, že se jedná o srovnatelný jev, tj. že příčinou jsou stejné vlny jako vlny světelné, takže vlastně objevil elektromagnetické vlny.

T. A. Edison zjistil až o 33 let později, že zakmitávaní při klíčování je vyzařováno do dálky. V roce 1885 patentoval sdělovací systém, využívající svislých unipólových antén s vrcholovou zátěží.

Elektromagnetické vlny začal systematicky budit, vysílat a přijímat až teprve H. Hertz v roce 1887. Jako vysílače použil dipólovou anténu z měděného vodiče, na jehož koncích upevnil kovové koule. Jiskrovým výbojem v mezeře uprostřed anténu budil. Rezonanční kmitočet antény byl 53,5 MHz. Pro příjem použil obdélníkovou jednozávitovou cívku s jiskřištěm uprostřed jedné strany. Slabý výboj v jiskřišti, pozorovaný v zatemněné místnosti, představoval příjem. Tímto jednoduchým zařízením ověřil Hertz teoretické práce J. C. Maxwella, učiněné o dvě desítky let dříve, a položil tak experimentální základy praktického rádiového vysílání.

Je pozoruhodné, že první Hertzova symetrická anténa, která byla mnohem kratší než délka vlny, je považována za významnou dodnes. Pod názvem Hertzův elementární dipól, což je vzhledem k vlnové délce velmi krátký dipól s konstantním rozložením proudu, se běžně používá při teoretických výpočtech záření antén.

Většinu svých pokusů uskutečnil Herz v pásmu metrových a decimetrových vln a již tehdy použil pro toto pásmo dipól s reflektorem ve tvaru parabolického válce. Bylo to v roce 1888. Parabolický válec byl 2 m vysoký, 0,7 m hluboký a v ústí 1,2 m široký. Pokusy prováděl na vlnové délce 0,66 m.

Ačkoliv to tedy byla anténa poměrně malá, je pozoruhodné, co s tak primitivními prostředky uskutečnil. Předně prokázal optické vlastnosti rádiových vln. Prokázal, že se šíří přímočaře, že tělesa nacházející se v dráze šíření vyvolávají stín, že na vodivých stěnách dochází k odrazům, přičemž úhel odrazu se shoduje s úhlem dopadu, a pomocí stojatého vlnění, vznikajícího interferencí při odrazu, změřil vlnovou délku. Hertzovi významné zásluhy byly oceněny pojmenováním hlavní měrové jednotky kmitočtu jeho jménem.

Hertzem prokázaný kvasioptický charakter rádiových vln vedl jeho následovníky k dalším pokusům s ekvivalenty optických zařízení. Byli to A. Righy z Bologne i jeho žák G. Marconi, který při svých prvních pokusech použil rovněž parabolických válců, a to na vlnové délce 25 cm, o čemž svědčí jeho patent z roku 1896. Experimentovali se sírovými čočkami, trychtýři, kruhovými i čtvercovými vlnovody. Objevem směrového vyzařování otevřeného ústí vlnovodu (resp. dutinového rezonátoru) našli Lodge, Bose a Fleming zářič, který nebyl ekvivalentem optických soustav, a který Hertz neznal.

Tady se téměř na čtyři desetiletí vývoj mikrovlnných antén zastavil. V té době ještě nebyly vytvořeny podmínky pro jejich praktické uplatnění. Je však zřejmé, že již tehdy v devadesátých letech předminulého století, tedy asi před 100 lety, vznikla většina dnes známých základních typů antén.

Vývoj antén a celého rádiového sdělování se však zatím začal ubírat jiným směrem. Marconi, stejně jako Hertz, použil při prvních vysílacích pokusech symetrického dipólu. Brzy však objevil, že uzemněná svislá anténa je stejně účinná - a při tom jednodušší. Stejné antény použil u svého zařízení v roce 1895 i A. S. Popov.

Jak jsme se již zmínili, byly první antény spojeny přímo se zdrojem vf energie. Bylo jím jiskřiště, zařazené do anténního vodiče, který tvořil jeho rezonanční zatěžovací obvod. Pro omezené délky antén se proto také první Hertzova, Marconiho i Popovova spojení odehrávala na VKV. Jakmile se však jedno rameno dipólu prodloužilo a druhé se spojilo se zemí, tj. se svým zrcadlovým obrazem, tak se délka vlny přiměřeně prodloužila. Současně se zvětšil i dosah. Dnes bychom hovořili o anténách typu GP, jejichž nejúčinnější variantou je čtvrtvlnný unipól nad protiváhou. Tehdy to byl pouze vertikální zářič nad zemí, čili Marconiho anténa. Toto pojmenování se užívá dodnes.

Protože v té době bylo ještě mnoho nejasností kolem šíření elektromagnetických vln i v teorii antén, tak se nevědělo, do jaké míry se na stoupajícím dosahu podílí délka vlny, a do jaké míry délka antény. A protože to bylo účinné, prodlužovaly se dále vlnové délky i po 1. světové válce. Vedlo to ke konstrukci mohutných anténních systémů, které však vzdor svým obrovitým geometrickým rozměrům zůstávaly jen zlomkem kilometrových vlnových délek.

Proto měla první anténa, postavená v Anglii (v roce 1901) pro transatlantická spojení 2000 drátů, uspořádaných do tvaru 60 m vysokého válce o průměru 45 m. Následovala vějířová, 48 m vysoká anténa s rozpětím 60 m pro kmitočet 820 kHz. V Kanadě byla pak v roce 1906 postavena 54 m vysoká anténa

s vodorovnou kapacitní zátěží, kterou tvořilo 200 radiálních vodičů 300 m dlouhých. Byla určena pro kmitočet 82 kHz. Tak bychom mohli ve výčtu gigantických anténních systému pokračovat.

Významným pokrokem byly v roce 1897 čtyři patenty Lodgeho. Navrhl dvoukuželový dipól, zařadil do antény středovou zatěžovací (prodlužovací) cívku, použil laděný obvod *LC* na vstupu antény a samostatnou protiváhu. Tak bylo možné anténu ladit, přizpůsobit a zmenšit ztráty v zemi.

V roce 1889 navrhli Brown a Erskine-Murray teoreticky fázovanou řadu. Prakticky ji však realizoval až Ital Artom v roce 1906, když sestavil první dvouprvkovou řadu.

Po úspěšných pokusech se směrovými parabolickými válci se Marconi snažil o realizaci antén se směrovými účinky i v pásmu dlouhých vln. Podařilo se mu to v roce 1906 pomocí dlouhodrátové antény. Její mírně směrová charakteristika byla patrně první změřenou azimutální charakteristikou, která byla publikována. Z uvedené antény se později vyvinuly antény s postupnou vlnou - Beverageova, V-anténa i anténa kosočtverečná (rhombická).

Směrové charakteristiky svislé smyčky se již tehdy používalo k zaměřování. Anténou se při tom otáčelo. V roce 1907 ukázali Bellini a Tosi na možnost zaměřovat bez otáčení antény pomocí dvou vzájemně kolmých rámů s goniometrem. Tohoto zaměřovacího principu se využívá dodnes.

V téže době se také objevily zemnicí systémy, prokazatelně snižující ztráty v zemi. Současně vyšel klasický Zenneckův článek o šíření elektromagnetických vln podél rozhraní země - vzduch.

G. Marconi se v roce 1916 opět vrátil k metrovým vlnám. Spolu s Franklinem pak na vlnové délce 3 m uskutečnili pomocí parabolické válcové antény, vytvořené řadou svislých vodičů, spojení na vzdálenost 32 km. Anténa měla aperturu 2x1,5 m.

Když pak Franklin začal úspěšně pracovat s vlnami patnáctimetrovými, kdy překlenul vzdálenost 125 a 155 km, začala se pozornost postupně odvracet od dlouhých vln ke krátkým.

V předválečném a zejména válečném období se již objevují i antény speciálního určení, jako antény na letadlech, vzducholodích a lodích, které sloužily nejen k radiokomunikaci, ale i k navigaci a dálkovému ovládání. Při zaměřování se podařilo odstranit dvojznačnost zaměření zavedením pomocné antény pro určení smyslu. Bylo zjištěno, že ponorky mohou pod vodou přijímat signály silných dlouhovlnných vysílačů. I v této oblasti válka nesporně ovlivnila vývoj.

Následně se již vytvářely skupiny antén podle jejich použití. Na původní sdělovací antény dlouhovlnné navázaly rozhlasové stožárové antény středovlnné. Požadavky na nerovnoměrné azimutální pokrytí se od r. 1927 již řešily fázovanými směrovými řadami. Na přijímací straně se nadále používaly drátové L-antény, ale také vazby na rozvodnou síť s uzemněním na vodovod.

Z roku 1923 pochází dnes tak populární Beverageova anténa s postupnou vlnou, původně určená pro příjem dlouhých vln.

Další rozvoj antén významně ovlivnily nové poznatky o šíření krátkých vln. Mají na tom zásluhu francouzští a američtí radioamatéři, kteří v roce 1923 navázali prvá mezikontinentální spojení s jednoduchým zařízením a malými výkony. Následně pak byla pro komunikaci na KV pásmech velkým přínosem Franklinova anténa - soufázová řada půlvlnných svislých dipólů, doplněná později reflektory. První komerční antény tohoto typu pocházejí z roku 1926 a byly postaveny k pravidelnému provozu mezi Velkou Británií a Kanadou na pásmech 16 a 32 m.

Horizontální soufázovou řadu pro KV pásmo sestrojili v nižněgorodské laboratoři Bonč-Brujevič a Tatarinov v roce 1925. Následně byly takové antény realizovány firmou Telefunken v Německu.

V roce 1927 publikoval v Japonsku S. Uda zprávu o své směrové anténě, dnes všeobecně známé jako Yagiho anténa. Toto zdánlivě nelogické pojmenování získala tato dnes z nejpopulárnějších antén jen díky tomu, že vešla v širší známost až teprve prostřednictvím anglicky psané zprávy H. Yagiho.

V následujícím období se využívá stále kratších a kratších vlnových délek. Dochází při tom k renezanci antén, které byly objeveny již počátkem století, aniž by byly vytvořeny podmínky pro jejich praktické využití.

Takže až v roce 1931 byl zřízen první „mikrovlnný“ spoj mezi Anglií a Francií na vlnové délce 18 cm. Použilo se parabolických antén o průměru 3 m.

O čtyři roky později začaly pokusy s radiolokací v pásmu VKV s využitím dipólových řad. Kruhovou řadou svislých dipólů bylo v roce 1936 zabezpečeno první TV vysílání v Londýně na kmitočtu 45 MHz. V roce 1937 sestrojil Reber první radioteleskop na 160 MHz, a konečně v roce 1939 se začalo v USA pracovat s trychtýřovými anténami na dm a cm vlnách.

Nejdůležitějším objevem té doby byly rezonanční štěrbinové antény. Na jejich objevu se podíleli i sovětští anténáři Pistolkors a Feld.

Těžiště všeobecné radiokomunikace se přesunulo na pásma KV. Změny podmínek šíření během dne a roku podpořily vývoj širokopásmových KV antén, a tak v roce 1931 přišel Bruce s kosočtverečnou (rhombickou) anténou. O její další zdokonalení se zasloužili zejména sovětští autoři Ajzenberg a Najman formou dvojice soufázově napájených kosočtverců. Zvýšil se tak zisk antény a omezily se postranní laloky. Najman navrhl řazení nad sebou, přičemž výstup z jedné antény byl místo do zatěžovacího odporu přiveden na vstup druhé antény, která byla teprve zakončena odporem. Tentýž autor zavedl výstupní výkon antény zpět na vstup. Oba způsoby přinesly zětšení účinnosti, ovšem za cenu nežádoucí ztráty širokopásmovosti.

V oblasti středovlnných antén se ve 30. letech začalo s používáním protiúnikových systémů, kdy bylo potlačováno vyzařování antén pod vyššími elevačními úhly.

Pro zaměřování se začal používat systém protifázově napájených dvojic dipólů. V podstatě tak byl realizován systém navržený Adcockem již v roce 1919.

Druhá světová válka urychlila přechod k decimetrovým a centimetrovým vlnám, zejména v souvislosti s radiolokační technikou.

O přednostech cm vln se vědělo již dříve, nebyl však ještě k dispozici dostatečně výkonný zdroj pro potřebný dosah. Teprve po sestrojení výkonového magnetronu v roce 1940 nastal rychlý vývoj nejrůznějších reflektorových antén, vlnovodových a trychtýřových zářičů i jejich řad, štěrbin a jejich řad, čočkových antén a dielektrických antén s podélným vyzařováním. S výjimkou štěrbin šlo tedy vesměs o využití principů, s nimž se experimentovalo již na přelomu století.

V 50. letech vznikla zcela nová skupina velmi širokopásmových antén, založených na třech základních principech.

Princip úhlů zabezpečuje kmitočtovou nezávislost antény, jejíž rozměry jsou určeny jenom úhly. Této podmínce např, vyhovuje nekonečný dvojkužel, ale praktickou realizaci umožňuje spíše logaritmická spirála.

Druhý princip se zakládá na konstantní impedanci struktur, vytvářených dipólem a komplementární stěrbinou.

Konečně třetí princip představuje tzv. logaritmicko-periodická struktura, jejíž elektrické parametry se periodicky opakují jako funkce logaritmu kmitočtu.

Na těchto principech byla vyvinuta celá řada kmitočtově nezávislých antén s širokým rozsahem použití. Na rozsazích KV pak otočné logaritmicko-periodické antény dipólové zcela vytlačily územně náročné antény rhombické. Dnes jsou převládajícím typem antén pro širokopásmovou radiokomunukaci v kmitočtovém rozsahu 5 až 30 MHz. Po uvolnění nových pásem WARC se úspěšně uplatňují i při vysílaní amatérském.

Ve stejném období se objevily tzv. antény se zpětným zářením, které se svými směrovými vlastnostmi a přijatelnými rozměry řadí mezi mezi reflektorové antény parabolické a směrové antény Yagiho.

Započal též vývoj fázovaných řad, zejména pro cm vlny, které umožňují vychylovat paprsek vysoce směrové mikrovlnné antény bez mechanického pohybu celého systému.

V 60.letech se objevují první aktivní (či elektronické) přijímací antény, jejichž přínosem je relativně velká citlivost při malých rozměrech, protože použité polovodičové součástky jsou připojeny vhodným způsobem v místě zabezpečujícím optimální přenos přijímaných signálů do vstupní části přijímače.

Další vývoj antén bezprostředně souvisí s novými metodami a možnostmi současného bezdrátového sdělování, jehož specifickým oborem se stalo TV vysílání a datové přenosy. Antény nalezly rozsáhlé použití v radioastronomii, telemetrii a v řadě dalších oborů, včetně fenoménu dnešní doby, v mobilní komunikaci.

Nebylo smyslem tohoto příspěvku podat vyčerpávající přehled o vývoji anténní techniky. Měl spíše připomenout, že mnohé z toho, co se v oboru antén považuje za výsledek prací nedávných let, má svůj původ již v jeho samotných začátcích, byť jen v nějaké základní jednoduché formě.

Závěrem se nemůžeme nezmínit o využití výpočetní techniky, umožňující řešit i na běžných PC problémy, dříve prakticky neřešitelné.

I amatérům jsou dnes dostupné snadno ovladatelné programy pro výpočet a optimalizaci antén. A mohou to být antény zcela nezvyklých i nepravidelných rozměrů, tak jak se v amatérská praxi zejména na KV pásmech vyskytují. Odpadá tak pracné, zdlouhavé a nespolehlivé experimentování při hledání nejvhodnější antény do daných podmínek. Počítač umožní výběr nejvhodnějšího řešení.

Předmětem počítačových analýz a simulací se stávají i klasické antény. Záměrem je objasnit a upřesnit některé vztahy, závislosti a vlastnosti, zejména v reálných provozních podmínkách, které až dosud nebylo možné zjistit obvyklými výpočetními postupy.

Lze říci, že tu vzniká další, a to velmi zajímavá oblast radioamatérské činnosti, spojená se smysluplnějším využitím počítačů.

VR

ANTÉNY (NEJEN) PRO AMATÉRSKÁ PÁSMA

Jindra Macoun, OK1VR

Šroubovicové antény pro přenosné a mobilní radiostanice

K přenosné radiostanici, slangově nazývané hezky česky „ručka“ nebo nepěkně „hendka“ (odvozeno z anglického hand held, označujícího kategorii radiostanic, které se provozují z ruky), dnes neodmyslitelně patří krátká „gumová“ anténa, tzv. pendrek nebo gumík. V cizojazyčné literatuře bychom se setkali s názvy Helix, Helicalcoil, Solenoidwhip, Gummiwendel, Gummiwurst, Rubber Duck, Miniflex apod., přičemž pouze složeniny z výrazů helical, solenoid a wendel odborněji naznačují, že jde principiálně o antény šroubovicové.

A právě tímto typem antén se článek zabývá. Úvodem jsou připomenuty rozdíly mezi dvěma nejužívanějšími typy šroubovicových antén a jsou uvedeny i některé další, všeobecně platné informace. V článku jsou definovány charakteristické vlastnosti šroubovicových antén s radiálním vyzařováním a jejich vztahy k základním rozměrům - tím je usnadněn návrh těchto antén a jejich realizace pro pásma VKV i KV, včetně pásma CB. Jsou popsána některá měření, a to i s ohledem na skromnější možnosti v podmínkách amatérských. Výsledky měření napájecích vlastností názorně doplňují celou problematiku. V závěrečné části článku je zmínka o vyzařovacích vlastnostech přenosných a mobilních antén při praktickém provozu, kdy jsou ovlivňovány tělem operátora, resp. karoserií vozidla.

Nic se nevyrovná tomu, rozumět věcem, které děláte
Peter Norton

Úvod

Rozvoj elektroniky, který umožnil realizaci dnešních malých až miniaturních radiostanic, nebyl zároveň provázen žádoucí miniaturizací antén. A tak po jistou dobu zůstaly klasické (tedy nezkrácené) prutové antény zárukou, že přijímané nebo vysílané signály nebudou nevhodnou náhražkovou anténou degradovány ještě před nebo ihned za anténím konektorem radiostanice.

K běžné provozní praxi tak nezbytně patřil opakovaný rituál vysouvání a zasouvání poměrně dlouhé teleskopické antény do malé radiostanice. Ostatně i naše přenosné radiostanice VXW 020 byly ještě začátkem 90. let provozovány s bičovými (tzv. svazénkovými) anténami, zpravidla nepředpisově zformovanými do jakési smyčky, což byl vlastně laický pokus uživatelů o „miniaturizaci“, když jim poměrně dlouhá anténa z ocelových drátů evidentně ztěžovala provoz.

Nežádoucí disproporce mezi „dlouhými“ anténami a malými radiostanicemi prakticky odstranily krátké **šroubovicové antény s normálovým (kolmým, radiálním) vyzařováním**, jak se dnes běžně užívané „pendreky“ odborně nazývají (obr. 1). Nepracují sice se stejnou účinností jako klasické prutové „čtvrtvlny“, tento handicap však vyvažují malými rozměry, odolností proti vnějším vlivům i nešetrnému zacházení a „přátelským chováním“, neohrožujícím operátora ani okolí.

Ukázalo se, že účinnost šroubovicových antén tohoto typu není - zvláště na pásmech VKV - tak nepříznivá, aby omezovala systémové použití moderních ručních radiostanic, tj. operativní provoz na krátké vzdálenosti (uvnitř budov, v zastavěném terénu apod.). Vysoká citlivost, poměrně značný výkon i frekvenční modulace radiostanic k tomu přispívají. Nehomogenní elektromagnetické pole, které se v takovém prostředí zákonitě vyskytuje, pak vytváří pro použití malých (krátkých) antén příznivější podmínky.

Šroubovicové antény nejsou prvoplánově určeny pro radiokomunikaci na větší vzdálenosti, ale díky zmíněným výborným vlastnostem moderních ručních radiostanic ji v příznivých terénních podmínkách umožňují, jak nám to ostatně potvrzují praktické poznatky z radioamatérských pásem VKV.

Připomeňme, že „pendreky“ se u nás objevily až s dovozem prvních ručních radiostanic pro pásmo CB koncem 80. let, tj. se zpožděním 15 až 20 let.

Obr. 1. „Gumová anténa - pendrek“ na ruční radiostanici DJ-S1. Typické použití malé šroubovicové antény s radiálním (kolmým) vyzařováním

Prvními autory, kteří se obecně zabývali problematikou šroubovicových antén, byli WHEELER 1947 [1], KRAUS 1947 [2] a dále pak KANDOIAN a SICHAK 1953 [3], kteří jako první zkoumali šroubovice s radiálním vyzařováním.

Jejich empirické vzorce pro výpočet nejdůležitějších parametrů šroubovic s normálovým (radiálním) vyzařováním zjednodušil GUERTLER 1972 [4] tak, aby se usnadnil jejich praktický návrh na pásma KV i VKV. Pro uživatele radioamatérských pásem zpřístupnil tuto problematiku D. A. TONG (G8ENN) v časopise RADIO COMMUNICATION až v roce 1974 [5].

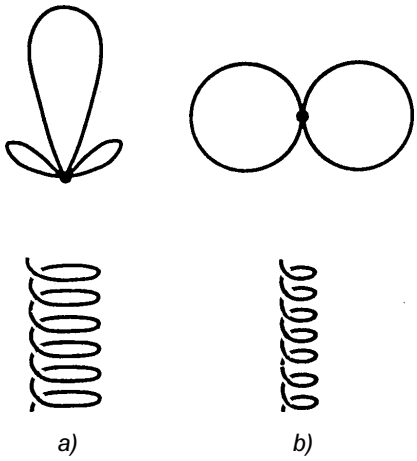
Následně se pak objevují další články v radioamatérských časopisech a publikacích typu HANDBOOK ARRL apod. Nicméně s prvním konstrukčním popisem šroubovicové antény tohoto typu přišel patrně WILSON, a to již v roce 1941 [6], když popsal antény na 4 a 14 MHz. Ostatně většina konstrukčních článků, publikovaných v radioamatérských časopisech, se týká šroubovicových antén pro mobilní provoz na pásmech KV, který je populární zejména v USA. Najdeme je tedy především v amerických časopisech QST a CQ (např. [7], [8], [9]). Některé z těchto konstrukcí jsou pak převzaty a uvedeny i ve známé publikaci ANTENNENBUCH [10].

V současné době se odborné zahraniční periodické publikace zabývají touto problematikou již méně. Snad je to způsobeno tím, že se tyto antény staly samozřejmým příslušenstvím milionů ručních radiostanic (resp. mobilních telefonů), jejichž výrobci si pochopitelně chrání svá know how a nemají zájem o zveřejňování prací svých vývojových laboratoří. To je patrně i jeden z důvodů, proč o nich nenalézáme podrobnější informace ani v našich časopisech (výjimkou je právě publikovaný seriál článků v PE [11], který o nich referuje ve VI. části).

Jsou to nicméně antény zajímavé, použitelné i jako vozidlové antény pro úzká radioamatérská pásma KV, včetně pásma CB. Komu je ostatně známo, že např. populární vozidlová CB anténa STABO DV 27R je vlastně několik metrů dlouhý měděný vodič o průměru 0,3 mm, stočený na průměru 1 mm (!) do šroubovice, která je zalaminovaná do tvaru pružného „biče“ o průměru 4 mm!

V symetrickém „dipólovém“ uspořádání se tyto šroubovice používají v omezených prostorových podmínkách na amatérských pásmech KV jako (náhražkové) antény vysílací.

Dnes je návrh šroubovicových antén usnadněn jednoduchými počítačovými programy [P-1]. V amatérských podmínkách je pak jejich praktická realizace otázkou zručnosti, vynalézavosti, ale zejména přesného „naladění“,



Obr. 2. Dva hlavní způsoby vyzařování šroubovicové antény.
a) axiální (osové) - ve směru podélné osy šroubovice
b) radiální (ve směru poloměru) - kolmé k podélné ose šroubovice

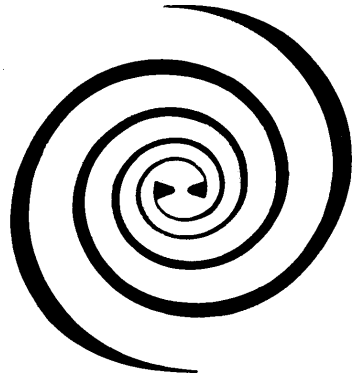
Trocha „teorie“ - jak to vlastně funguje

Vodič stočený do šroubovice může vyzařovat několika způsoby (módy nebo vidy). Pouze dva považujeme za hlavní.

Prvním je vyzařování **axiální (osové),** tj. ve směru podélné osy šroubovice (obr. 2a), druhým je vyzařování **radiální (ve směru poloměru),** tj. kolmé k podélné ose šroubovice (obr. 2b).

Odborně definujeme tyto módy jako **axiální mód** vyzařování a **normálový mód** vyzařování. Pojem normálový je převzat z anglického „normal mod of radiation“, kde normal překládáme jako kolmý. Ostatně z geometrie si ještě pamatujeme pojem normála = kolmice. Českému názvosloví lépe vyhovuje název šroubovice s kolmým vyzařováním.

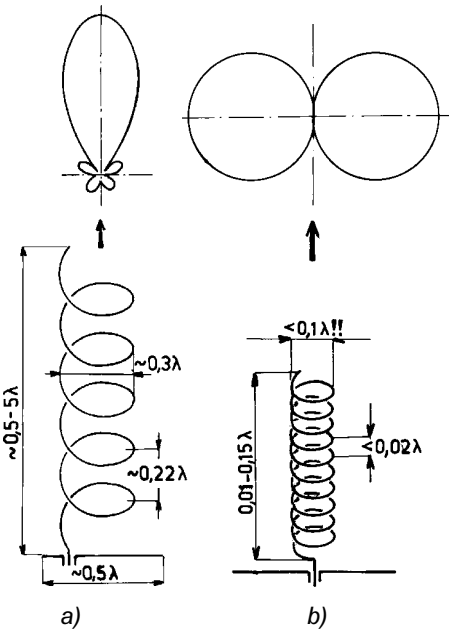
V souvislosti s názvoslovnou problematikou připomínáme, že šroubovicová anténa není anténou spirálovou, jak je také někdy nesprávně nazývána. Spirálová anténa je principielně zcela jiným typem antény [20]. Zpravidla ji tvoří dvojice vodičů svinutých v rovinné nebo kuželové ploše (obr. 3). Jejím geometrickým tvarem je logaritmická (Archimedova) spirála. Spirálová anténa pracuje na principu antény logaritmicko-periodické, tzn., že je to anténa širokopásmová. Diagram záření rovinné spirálové antény je dvousměrný s maximy v ose kolmé k rovině spirály. Je-li z jedné strany uzavřena dutinou, stává se jednosměrnou. Diagram záření kuželové spirálové antény je jednosměrný s maximem ve směru vrcholu kužele. Polarizace je kruhová. Antény se používají zejména v telemetrii a raketové či družicové technice.



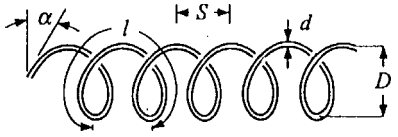
Obr. 3. Spirála není šroubovicí. Spirálovou anténu tvoří dvojice vodičů, svinutých v rovinné nebo kuželové ploše

Podle encyklopedické příručky ANTÉNY [20] jsou šroubovicové antény také nazývány „pružinovými“ (!?!).

Šroubovicová anténa vyzařuje axiálně tehdy, činí-li obvod *C* šroubovice přibližně jednu vlnovou délku (obr. 4a), resp. pohybuje-li se v rozsahu $C = 0{,}8$ až $1{,}3\cdot\lambda$, což odpovídá střednímu průměru šroubovice $D = 0{,}25$ až $0{,}4\cdot\lambda$. Symbol *C* je pro obvod šroubovice zaveden podle anglického Circumference = obvod, symbol *D* pak podle Diameter = průměr.

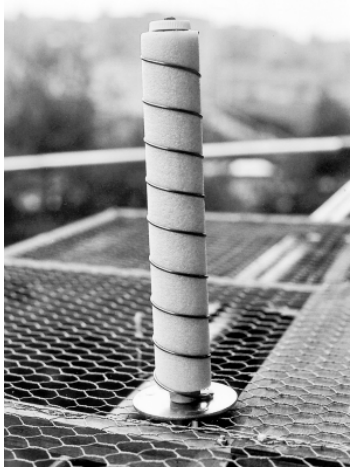


Obr. 4. a) Axiální (osové) vyzařování šroubovicové antény.
b) Radiální (kolmé nebo normálové) vyzařování šroubovicové antény.
Způsob vyzařování (mód) určují hlavní rozměry šroubovic, především průměr vinutí D resp. délka závitu L vzhledem k vlnové délce λ



Obr. 5. Obvyklé značení hlavních rozměrů šroubovice s axiálním vyzařováním

Obr. 6a. Šroubovicová anténa s axiálním vyzařováním, určená pro datové přenosy v pásmu 2,4 GHz (bez ochranného krytu)



Obr. 6b. Tatáž šroubovicová anténa vyzařuje radiálně v pásmu VHF (v okolí 120 MHz)

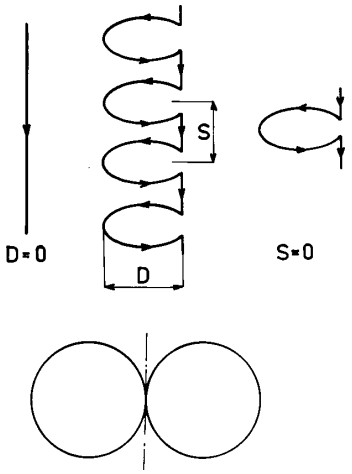
Obvyklé značení rozměrů šroubovice s axiálním vyzařováním je na obr. 5. Rozsah možných průměrů naznačuje, že šroubovice s axiálním módem jsou antény širokopásmové, tedy bez kritických rozměrů. Jejich polarizace je přibližně kruhová a je pravotočivá nebo levotočivá - podle smyslu vinutí z pohledu ve směru maximálního vyzařování.

Pro jednosměrné vyzařování musí být šroubovice doplněna plošným reflektorem o průměru minimálně 0,5·λ.

Šroubovice s axiálním vyzařováním se využívají jako směrové antény na pásmech VKV a UKV, při družicové komunikaci a telemetrii, ale též jako TV antény přijímací. V poslední době se uplatňují pro přenos dat v bezlicenčním pásmu ISM na kmitočtech 2,400 až 2,483 GHz (obr. 6a). Prakticky se konstruují v délkách 0,5 až 5·λ podle požadavků na zisk. Čím je anténa delší, tím větší má zisk.

Tolik tedy alespoň velmi stručně k těmto - řekněme - ***velkým šroubovicím*** s axiálním vyzařováním.

Středem naší pozornosti zůstanou nadále šroubovice podstatně menší, v porovnání s předchozími údaji spíše miniaturní, jejichž elektrické, tzn. vyzařovací a napájecí vlastnosti se od předchozích značně liší, přestože jde o antény téměř stejného tvaru.



Obr. 7. Šroubovicová anténa s kolmým vyzařováním je v podstatě sériovým uspořádáním smyčkových a lineárních antén

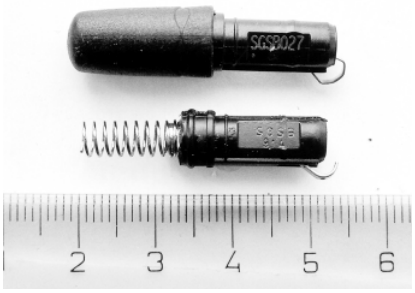
Rozhodujícím rozměrovým parametrem, který ovlivňuje jejich způsob vyzařování, je opět průměr šroubovice.

Šroubovicová anténa vyzařuje radiálně (kolmo nebo **normálově) tehdy, je-li obvod *C* šroubovice pouhým zlomkem vlnové délky** (obr. 4b), resp. je-li $C < 0{,}5\cdot\lambda$, což odpovídá průměru $D < 0{,}15\cdot\lambda$. To jsou ovšem minimální požadavky. V praxi se zpravidla používá rozměrů menších.

Každá šroubovice je vlastně sériovým uspořádáním smyčkových a lineárních antén (obr. 7).

Blíží-li se průměr šroubovice (*D*) nule, mění se šroubovice v prostou anténu lineární. Bude-li rozteč (*S*) mezi závity nulová, vznikne anténa smyčková. Všechny tři varianty mají stejný charakter diagramu záření za předpokladu, že průměr *D* šroubovice, resp. jednozávitové smyčky, bude činit $D < 0{,}15\cdot\lambda$.

Vyzařování těchto ***malých šroubovic*** se tedy podobá vyzařování antén lineárních, tj. jednoduchých přímých vodičů. Při správném uspořádání proto mohou **malé šroubovice tvarem diagramu záření i polarizací vyzařovat stejně jako lineární dipóly λ/2 nebo unipóly λ/4, ale v podstatně kratší fyzické (geometrické) délce**, vyhovující zamýšlenému mobilnímu použití.



Obr. 8. Šroubovicová anténa s kolmým vyzařováním pro pásmo GSM, skrytá obvykle v pouzdru mobilního telefonu

U ručních radiostanic se za přijatelné pokládají délky srovnatelné s výškou radiostanice, tj. přibližně 10 až 30 cm. Vyjádřeno ve vlnových délkách je to asi 0,05 až 0,15·λ na kmitočtech kolem 150 MHz a asi 0,01 až 0,03·λ v pásmu CB. V kmitočtových pásmech mobilních telefonů (900 a 1800 MHz) není již zkracování antén nezbytné, neboť i plné čtvrtvlnné délky (asi 8 a 4 cm) jsou z provozních hledisek přijatelné. Nicméně i tam se těchto malých šroubovic používá, obvykle skrytých v pouzdru telefonu (obr. 8).

Mobilní šroubovicové antény pro amatérská pásma KV, upevněné ponejvíce na nárazníkové nosníky automobilů, mohou mít praktickou délku asi do 2 m, což jsou v amatérském pásmu 3,5 MHz přibližně dvě setiny vlnové délky (0,02·λ) - viz obr. 9.

V souvislosti s dříve definovaným dvojím způsobem vyzařování šroubovicových antén se nabízí teoretická možnost využít tutéž anténu na dvou různých pásmech - jednou jako směrovou, axiálně vyzařující šroubovici na vyšším kmitočtu a podruhé jako všesměrovou, radiálně vyzařující šroubovici na podstatně nižším kmitočtu (obr. 6b).

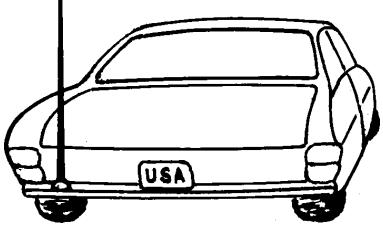
Shodují-li se tedy lineární antény a šroubovice s kolmým vyzařováním (malé šroubovice) tvarem diagramu záření, musí mít též shodný průběh vf proudů i napětí podél své celé délky. To proto, že diagram záření každé antény je dán okamžitým rozložením resp. průběhem vf proudů („proudovým obložením“) podél celé anténní struktury.

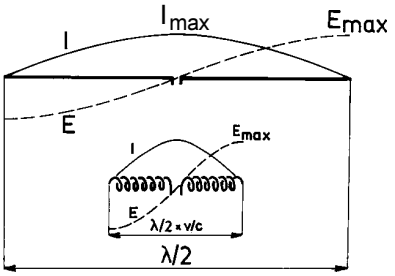
Víme, že rozložení vf proudů podél nezkrácené lineární rezonanční antény - dipólu λ/2, nebo unipólu λ/4 - má sinusový průběh s maximem proudu uprostřed dipólu, resp. v patě unipólu (obr. 10). Sinusový průběh proto musí mít i rozložení vf proudů podél malé ***rezonanční*** šroubovice. Z tohoto hlediska ji tedy můžeme považovat za ***šroubovicový unipól λ/4*** popř. za symetrický ***šroubovicový dipól λ/2*** (s dvojnásobnou délkou).

Vzdálenost mezi sousedními maximy resp. minimy každé sinusové křivky je právě polovinou vlnové délky. Pro každý druh vlnění totiž platí známý vztah mezi délkou vlny (λ), kmitočtem či frekvencí (*f*) a rychlostí šíření (*v*):

$$\lambda = v/f \quad \text{resp.} \quad f = v/\lambda. \qquad (1)$$

Obr. 9. Mobilní antény na KV pásma se (v USA) obvykle upevňují až na nosníky nárazníků, aby se dosáhlo maximální výšky (délky) antény





Obr. 10. Průběh vf proudů (i napětí) podél malých rezonančních šroubovic s kolmým vyzařováním je stejný jako u běžných nezkrácených antén lineárních. V obou případech je průběh sinusový

Při daném kmitočtu f tedy závisí délka vlny λ pouze na rychlosti šíření v. Elektromagnetické vlny se ve volném prostoru šíří rychlostí velmi blízkou hodnotě 300000 km/s. Zpravidla říkáme, že se šíří „rychlostí světla". Symbolem pro rychlost šíření elektromagnetických vln ve volném prostoru je písmeno c. Délka λ_o elektromagnetické vlny ve volném prostoru je tedy:

$$\lambda_o = c/f = 300000/f \quad \text{[mm; MHz]}, \quad (2a)$$

resp.:

$$\lambda_o = 300/f \quad \text{[m; MHz]}. \quad (2b)$$

Protože podél přímého, velmi tenkého vodiče se elektromagnetická vlna šíří jen nepatrně pomaleji než ve volném prostoru, odpovídá s prakticky přijatelnou přesností délka vlny podél přímého vodiče délce vlny ve volném prostoru (zvláště pokud ještě zanedbáme tzv. koncový efekt, tj. zkrácení fyzické délky vlivem koncových kapacit).

Je-li délka vlny podél malé šroubovice menší než ve volném prostoru, znamená to, že se podél šroubovice šíří elektromagnetická vlna pomaleji. Představa o „zpomaleném" šíření podél malé šroubovice se může jevit jako neobvyklá, zatímco „pomalé" šíření elektromagnetických vln v dielektrickém prostředí koaxiálních kabelů je přijímáno zcela samozřejmě. V podstatě se však jedná o tentýž jev. Tzv. činitel zkrácení (k) koaxiálních kabelů (např. k = 0,66 pro PE dielektrikum) zpravidla vnímáme jako poměr fyzické a „elektrické" délky kabelu, respektive jako zkrácení délky elektromagnetické vlny šířící se v dielektrickém prostředí koaxiálního kabelu.

Principiálně se však jedná o poměr rychlostí šíření ve dvou prostředích. V dielektrickém prostředí zmíněného kabelu se elektromagnetické vlny šíří rychlostí 0,66x menší než ve volném prostoru, tj. rychlostí asi 198000 km/s. Tato zmenšená rychlost šíření je definována jako ***fázová rychlost*** v_c.

K čemu nám však bude fázová rychlost šíření při výpočtu rozměrových parametrů malé šroubovice?!

Tak tedy ještě trochu té „teorie".

Jak již bylo řečeno, shoduje se poměr v_c/c s poměrem rezonančních délek lineární antény a malé šroubovice. Chceme-li nahradit lineární unipól $\lambda/4$ o délce (či spíše výšce) h malou rezonanční šroubovicí o délce h_1, musíme znát vztahy mezi poměrem v_c/c a ostatními rozměrovými parametry malé šroubovice, tj. průměrem šroubovice D, průměrem vodiče d, stoupáním závitu S (resp. úhlem stoupání) a celkovým počtem závitů N. (Označení délky symbolem h je odvozeno z anglického height = výška, což názorněji charakterizuje rozměr vertikálně polarizovaného zářiče, zatímco označení l nebo L z anglického lenght = délka se častěji používá pro celkovou délku antény, vodiče apod.)

Při praktickém návrhu malé šroubovice zpravidla vycházíme z provozních a prostorových podmínek i materiálových možností. Proto si nejprve volíme výšku h, pak průměr šroubovice D a průměr vodiče d, a poté hledáme celkový počet závitů N, při kterém má být na daném kmitočtu anténa v rezonanci.

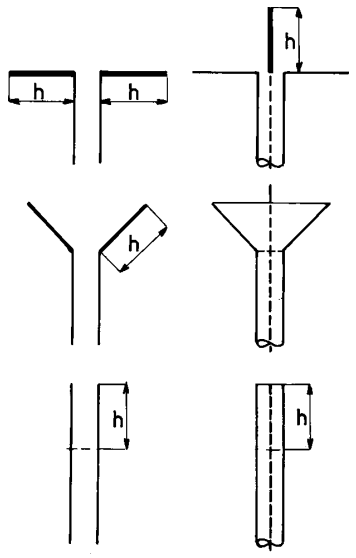
Vyjádříme-li zvolenou výšku h_1 výrazem:

$$h_1 = (\lambda_o/4)\cdot(v_c/c), \quad (3)$$

pak musíme znát vztah mezi fázovou rychlostí v_c a ostatními výše zmíněnými rozměrovými parametry malé rezonanční šroubovice $\lambda/4$.

Našim dalším představám pomůže analogie mezi lineární anténou a vf vedením.

Při výpočtech lineárních antén (unipólů i dipólů) lze vycházet např. z teorie vf vedení, kdy lineární anténu považujeme za stejně dlouhý úsek symetrického vedení, jehož oba vodiče se rozevřou „do přímky" (obr. 11). Lineární anténu můžeme také považovat za souosé vedení shodné délky, jehož vnější vodič (stínicí plášť) má „nekonečný" průměr, resp. se kuželovitě rozevře až do roviny protiváhy (obr. 11).



Obr. 11. Lineární anténu - symetrický dipól nebo unipól - si můžeme představit jako symetrické nebo souosé „rozevřené vedení", resp. jako souosé vedení shodné délky h, jehož vnější vodič (stínění) má „nekonečný" průměr

I v tomto rozměrovém uspořádání platí, že rozevřené „vf vedení", o délce $h = \lambda/4$ (nebo $2\cdot h = \lambda/2$), ve skutečnosti již unipól $\lambda/4$ (nebo dipól $\lambda/2$), se na svém vstupu jeví jako „zkrat", resp. jako sériový rezonanční obvod, zatlumený „užitečným" vyzařovacím odporem (přibližně 35 Ω nebo 70 Ω) a dalšími odpory ztrátovými. U běžného vf vedení je vyzařovací odpor zanedbatelný (souosé vedení prakticky nevyzařuje, symetrické vedení nepatrně) a tak tam převládají odpory ztrátové. U „rozevřeného" vedení vyzařování převládá.

Považujme nadále za prokázané, že pro fázovou rychlost v_c na vf vedení platí vzorec:

$$v_c = 1/\sqrt{(L\cdot C)}, \quad (4)$$

kde L je indukčnost a C kapacita na jednotku délky vf vedení.

Zvyšováním hodnoty součinu $L\cdot C$ se fázová rychlost na vedení snižuje, a to nejen vlivem použitého dielektrika, jehož relativní permitivita ε_r je větší než jedna, ale zejména zvětšením indukčnosti L.

V souosém vedení to prakticky znamená uspořádat vnitřní vodič do tvaru šroubovice. Není to nic neobvyklého ani nového. Souosé kabely se v tomto uspořádání využívají jako tzv. zpožďovací vedení v nejširším kmitočtovém spektru. V oblasti mikrovln je např. šroubovicová zpožďovací struktura základním prvkem mikrovlnné elektronky - permaktronu.

Použití „zpomalovací" šroubovice místo přímého vodiče běžné lineární antény je tudíž analogické použití šroubovice v souosém vedení, jehož vnější průměr je „nekonečný". Šroubovicové uspořádání zpomaluje šíření elektromagnetické vln podél této antény a zkracuje tím její fyzickou rezonanční délku.

KANDOIAN a SIHAK [3] odvodili empirický vztah mezi fázovou rychlostí v_c a rozměrovými parametry šroubovice. TONG, G8ENN [4] jej v roce 1974 upravil pro snadnější výpočet kapesním kalkulátorem (bylo to v době, kdy se počítače PC ještě běžně nepoužívaly).

Při zvolené výšce h_1 se pro celkový počet závitů N vychází ze vztahu:

$$\log n = 0{,}4\cdot\{\log(\lambda_o/h - 4) + \log(\lambda_o/h + 4) + 0{,}5\cdot\log\lambda_o - 3\cdot\log D\} - 1, \quad (5)$$

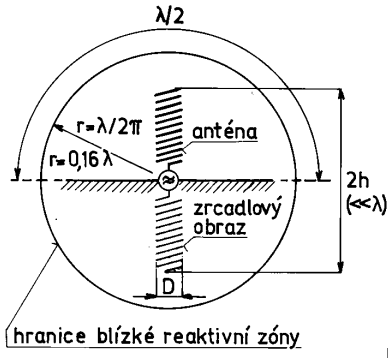
kde n je počet závitů na 1 cm, λ_o je délka nezkrácené vlny v cm a D je průměr šroubovice v cm.

Celkový hledaný počet závitů N je pak:

$$N = n\cdot h_1. \quad (6)$$

Rovnice platí s dostatečnou přesností za předpokladu, že $h_1 \leq 0{,}15\cdot\lambda$.

Výše uvedený vztah je vztahem empirickým. Pojem empirický (čili zkušenostní) znamená, že jde o vzorec odvozený ze zkušeností, tj. z dat získa-



Obr. 12. Definice tzv. malé antény. Malá anténa zabírá jen část sférického kulového prostoru s poloměrem $r = \lambda/2\cdot\pi$, tj. $r = 0{,}16\cdot\lambda$. Obvod této „radiánové koule", ohraničující oblast blízkého reaktivního a nevyzařujícího pole antény, činí jednu vlnovou délku

ných pokusy nebo systematickým měřením. Empirické vztahy vyjadřují s větší či menší přesností závislost proměnné veličiny na jiné veličině a platí jen za určitých předpokladů. Jsou cenné zvláště tehdy, nelze-li z různých důvodů použít teoreticky odvozených vztahů (vzorců). Výpočetní technika dnes využívá praxí ověřených empirických vzorců v poměrně jednoduchých aplikačních programech i pro návrh šroubovicových antén s radiálním vyzařováním [např. P-1].

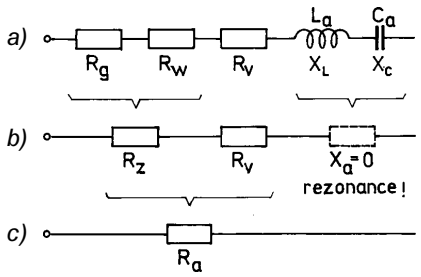
Malé (krátké) antény a jejich vlastnosti

Šroubovice s kolmým vyzařováním, které nazýváme stručně ***malé šroubovice***, řadíme do samostatné ***kategorie malých antén*** [1, 18, 19]. Obecně to jsou antény, které zabírají malou část sférického (kulového) prostoru s maximálním poloměrem $r = \lambda/2\cdot\pi$, resp. $r = 0{,}16\cdot\lambda$. Prakticky to znamená, že největší rozměr malé antény, a to včetně jejího zrcadlového obrazu v anténní protiváze (obr. 12), obvykle nepřesahuje čtvrtinu vlnové délky.

Elektrické vlastnosti malých antén se v mnohém podstatně liší od vlastností ostatních, řekněme běžných antén, jejichž rozměry jsou s vlnovými délkami srovnatelné. Týká se to především vlastností napájecích - tj. impedance, šířky pásma a účinnosti. Tyto vlastnosti si dále postupně probereme.

Impedance

Impedance antény Z_a (uvažovaná i měřená na vstupu antény, tj. v místě napájení) je obecně složena z reálné (odporové) a imaginární - reaktanční (kapacitní nebo indukční) složky. Pokud je anténa v rezonanci, jeví se na svém vstupu pouze jako reálný (činný) odpor, složený z „užitečného" odporu záření (odporu vyzařovacího), na kterém se vf energie vyzáří, a z neužitečných odporů ztrátových, na kterých se vf energie mění v teplo. Náhradní schéma antény je na obr. 13.



Obr. 13. Náhradní schéma antény, která není v rezonanci, je tvořeno sériovým zapojením odporů a reaktancí (a), kde R_g a R_w jsou ztrátové odpory v protiváze (zemi) a ve vodičích, R_v je odpor vyzařovací a X_L a X_C jsou složky reaktanční. V rezonanci (b) se uplatní jen odpor vyzařovací R_v a všechny odpory ztrátové R_z, takže rezonující anténa se na svých svorkách prezentuje jen svým reálným odporem R_a, který je součtem vyzařovacího a ztrátových odporů (c)

Charakteristickou vlastností malých antén je malý, až velmi malý vyzařovací odpor, srovnatelný se všemi odpory ztrátovými. Ztrátovými odpory jsou zejména vysokofrekvenční a činné odpory vodičů, ztráty v izolantech, ztrátové odpory v anténní protiváze popř. další ztráty v přizpůsobovacích obvodech, zpravidla nezbytných pro přizpůsobení tak malých (krátkých) antén.

Ztrátové odpory u malých antén obvykle převládají a snižují tak jejich účinnost, někdy i dosti podstatně. V rámci daných možností se proto využívá všech způsobů, jak vyzařovací odpor malých antén zvětšit a ztrátové odpory zmenšit.

Pro vyzařovací odpor R_v krátké unipólové antény o výšce h nad dokonalou vodivou protiváhou platí vzorec:

$$R_v = 395\cdot(h/\lambda)^2. \qquad (7)$$

Platí s dostatečnou přesností pro $h/\lambda < 0{,}15$. Tak krátký unipól samozřejmě není v rezonanci, v jeho impedanci převládá kapacitní reaktance.

Vyzařovací odpor $R_{vš}$ malé rezonanční šroubovice o stejné výšce h nad toutéž protiváhou je však o 62 % větší a platí pro něj vzorec:

$$R_{vš} = 640\cdot(h/\lambda)^2. \qquad (8)$$

Na obr. 14 je závislost vyzařovacího odporu na délce krátké unipólové a šroubovicové antény znázorněna graficky.

Většího vyzařovacího odporu $R_{vš}$ se u malé šroubovice dosahuje příznivějším proudovým obložením se sinusovým průběhem. Oproti stejně vysokému unipólu je totiž malá šroubovice v rezonanci, takže podél ní vznikne stojatá proudová (i napěťová) vlna, zatímco proudové obložení krátkého unipólu, který pochopitelně v rezonanci není, má tvar štíhlého trojúhelníku, shodného s tvarem proudového obložení podél téže délky h na konci nezkráceného rezonančního unipólu. Velikost vyzařovacích odporů je pak úměrná plochám, které jsou těmito průběhy ohraničeny. Plocha ohraničená sinusovou křivkou je samozřejmě větší, jak je vidět i z obr. 15.

Nahradíme-li u výše zmíněných antén jejich „zrcadlové obrazy" (za protiváhou) identickými anténami, stanou se z nesymetrických krátkých antén - unipólů krátké antény symetrické - dipóly, tj. antény nezávislé na protiváze. Jejich vyzařovací odpor se dvakrát zvětší, protože dvojnásobné budou i plochy, ohraničené křivkami proudových průběhů podél každé z antén, nyní o dvojnásobné délce $2\cdot h$.

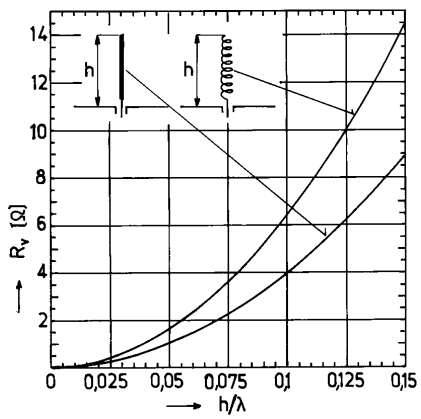
Pro vyzařovací odpory těchto krátkých symetrických antén pak platí:

$$R_v = 790\cdot(h/\lambda)^2 \qquad (9)$$

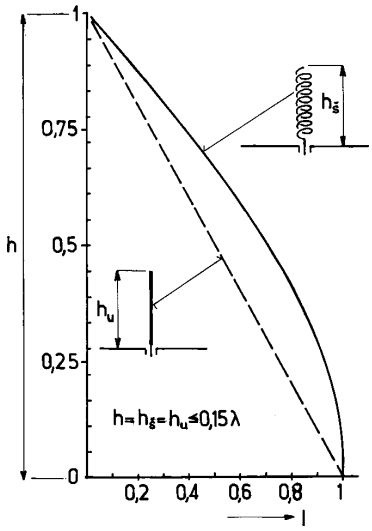
a

$$R_{vš} = 1280\cdot(h/\lambda)^2. \qquad (10)$$

Z uvedených vzorců je zřejmé, že vyzařovací odpor malé šroubovice teo-



Obr. 14. Vyzařovací odpor krátké lineární antény a malé antény šroubovicové závisí na jejich výšce (nebo chcete-li délce) h/λ. Křivky jsou vypočteny podle zjednodušených vzorců (7) a (8) a platí s dostatečnou přesností pro výšky $h/\lambda \leq 0{,}15$



Obr. 15. Stojatá proudová vlna (proudové obložení) podél krátké lineární antény - unipólu - má tvar trojúhelníka a podél malé (čtvrtvlnné) rezonanční šroubovice stejné geometrické délky má tvar sinusový

reticky závisí pouze na její délce (chcete-li výšce) *h* a nikoliv na počtu závitů nebo na délce a kvalitě vodiče, z něhož je navinuta. Např. vyzařovací odpor šroubovicové antény zkrácené na pětinu délky běžného čtvrtvlnného „biče“ (tj. na délku $0{,}25\cdot\lambda/5 = 0{,}05\cdot\lambda$, což je v pásmu 145 MHz asi 10 cm a v pásmu CB asi 55 cm) by měl nad ideální protiváhou teoreticky činit necelé 2 Ω. Pokud by se v obvodu vlastní antény neuplatnily další odpory ztrátové, jevila by se taková šroubovice na výstupní impedanci radiostanice 50 Ω jako zcela nepřizpůsobená. ČSV by bylo > 30. Tato teoretická možnost je ovšem vlastní praxi zcela vzdálená. Anténa se na výstupu radiostanice neprezentuje jen svým odporem vyzařovacím, avšak i všemi odpory ztrátovými, včetně ztrát ve skutečné protiváze, kterou je prakticky použitá radiostanice i s operátorem. Deklarují-li výrobci malých šroubovic pro pásma VKV jejich impedanci jako 50 Ω, pak se této hodnotě přibližují použitím nekvalitních, či spíše ztrátových materiálů. Obvykle použitím ocelových, povrchově nezušlechtěných pružin, zasunutých nebo zavulkanizovaných do černých pryžových pouzder.

Významný vliv materiálů a povrchových úprav vodičů dokumentují křivky vstupních impedancí šroubovicových antén, rezonujících v pásmu kolem 145 MHz, naměřených na téměř ideální rovinné protiváze o rozměrech 1,5x1,5 m (obr. 30). Nezahrnují tedy ještě ztráty působené skutečnou „protiváhou“ - pouzdrem radiostanice s tělem operátora!! Tyto další ztráty jsou významné, ale kvantifikují se obtížně. Na druhé straně se v praxi ukazuje, že vyzařovací odpor antény, umístěné nad konečnou kompaktní protiváhou, jakou je např. pouzdro radiostanice nebo karoserie vozidla, je poněkud větší než vyzařovací odpor vypočtený pro ideální rovinnou protiváhu podle výše uvedených vzorců.

Jak se pak s takovou více či méně přizpůsobenou, anebo zcela nepřizpůsobenou anténou, připojenou prostě koncem šroubovice do zdířky anténního konektoru (tj. bez jakéhokoliv přizpůsobovacího obvodu), vyrovnávají používané radiostanice? Lze říci, že dobře.

Při vysílání zatěžuje krátká, „ztrátami přizpůsobená“ anténa optimálně vysílač radiostanice. Odebere všechen jeho vf výkon, ale vyzáří jej pouze částečně. Jeho zbývající, větší část, ztrátovou anténu jen vyhřívá.

Nepřizpůsobená, ale bezeztrátová anténa optimálně výstup vysílače nezatíží, takže vysilač do antény plný výkon nedodá. Vyzáří se také jen část výkonu, tedy ta část, která se „ztratí“ na malém vyzařovacím odporu antény. Zbytek se vrací a zahřívá koncové polovodičové obvody. I když jim to nesvědčí, snášejí toto tepelné zatížení zpravidla bez újmy, vzhledem k malým výkonům (a spíše krátkým relacím) přenosných radiostanic.

Při koncepci i konstrukci vysílačů přenosných radiostanic se s těmito provozními podmínkami v podstatě počítá. Většinou proto také nemají žádné reflektometrické ochrany, které by při nepřizpůsobené anténě omezovaly výkon a chránily koncové polovodičové obvody před poškozením. Reflektometrickou ochranou jsou chráněny jen koncové stupně výkonnějších vysílačů, které by vysoká teplota zničila. I zde se však setkáváme s novinkami. Např. radiostanice ALINCO DJ–V5 má ochranu, omezující výkon vysílače v závislosti na teplotě koncových tranzistorů. Údaje o okamžité provozní teplotě jsou znázorňovány na displeji. Úpravou provozního režimu je pak možné udržet tepelné zatížení na přijatelné úrovni.

Při příjmu pak přivede jak ztrátová, tak i nepřizpůsobená šroubovicová anténa na vstupní obvody přijímače signály v menší intenzitě než tatáž anténa přizpůsobená nebo než běžná, nezkrácená anténa vnější. Vstupní obvody tak zpracovávají v průměru slabší signály, což omezuje možnost vzniku intermodulačních zkreslení. K témuž přispívá i velká selektivita (resp. úzkopásmovost) krátkých rezonančních šroubovic, která omezuje průnik silných signálů z přilehlých pásem (TV, FM apod.) na vstupní obvody přijímačů v porovnání s „neselektivitou“ resp. „širokopásmovostí“ běžných antén nezkrácených nebo samostatných antén vnějších.

V podstatě tím klesají nároky na některé parametry radiostanic. Někteří výrobci pak s těmito okolnostmi při koncepci ručních radiostanic počítají. Takové radiostanice pak lze provozovat s běžnými nezkrácenými nebo samostatnými vnějšími anténami jen s jistými obtížemi. Je to zdánlivě paradoxní - nekvalitní anténa se jeví jako lepší. Ve skutečnosti je za daných podmínek jen výhodnější. Zdánlivě tu máme opět jeden z paradoxů, rádoby posunujících anténní problematiku do oblasti sci-fi nebo „duchařiny.“ I zde se však objevují odolnější typy radiostanic s vícenásobnými laděnými obvody na vstupech přijímačů (ALINCO DJ-180 a DJ-190), umožňující bezproblémový příjem s plnohodnotnými vnějšími anténami. Zpravidla jde o radiostanice odvozené z profesionálních nebo vojenských řad. **Proto bychom měli při hodnocení různých antén počítat i s vlastnostmi použitých radiostanic, či spíše hodnotit všechny vlastnosti komplexně.**

Z toho, co bylo dosud uvedeno je zřejmé, že hlavním (a praxí potvrzeným) předpokladem dobré funkce malé šroubovice je požadavek, aby byla na daném provozním kmitočtu v rezonanci (tj. ve stavu, kdy vf proudy nabývají ve vlastní anténní struktuře maximálních hodnot), bez ohledu na to, zda je k bezprostředně připojené radiostanici impedančně přizpůsobena.

Bez zřetele na výše zmíněné okolnosti bychom se však měli snažit o profesní anténářský přístup či zásadu a navrhovat a provozovat antény impedančně přizpůsobené. Je to možné (i žádoucí) především u antén, které nejsou připojeny bezprostředně k radiostanici a jsou napájeny koaxiálním kabelem - např. vnější antény vozidlové. Jak již bylo uvedeno, impedanční přizpůsobení není zcela nezbytné u malých šroubovic pro ruční radiostanice na pásmech VKV (potvrzují to výsledky impedančních měření na obr. 34).

S ohledem na malé rozměry antén i radiostanic přicházejí v úvahu následující způsoby přizpůsobení:

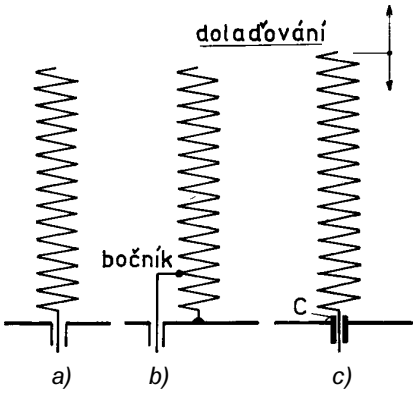
1. Přizpůsobení „optimalizací“ ztrátových odporů v obvodu antény i anténě samé. Jedná se vlastně o jakési „samopřizpůsobení“.

V sérii s malým vyzařovacím odporem krátké rezonanční šroubovice se uplatní ztrátové odpory vodičů, materiálů a protiváhy. Anténu je pak možno vetknout jednoduše přímo do konektoru bez jakéhokoliv dalšího přizpůsobovacího obvodu - viz obr. 16a.

Záměrného zvětšování ztrátových odporů použitím nekvalitních materiálů se využívá hlavně na pásmech VKV, tj. u šroubovic s relativně malým počtem závitů, tedy u antén, jejichž vyzařovací i ztrátové odpory jsou přirozeně malé a nepřizpůsobení za takových okolností je značné. U šroubovicových antén na pásma KV, které mají stovky závitů, postačí k „samopřizpůsobení“ i vodič měděný.

2. Přizpůsobení (napájení) bočníkové (shunt feed) - obr. 16b.

Anténa je svým spodním koncem uzemněna. Střední vodič anténního napáječe je připojen na vnější nebo vnitřní odbočku (tap) uzemněné šroubovice přibližně ve třech až deseti procentech její výšky. Přizpůsobovací obvod (v podstatě autotransformátor) je nedílnou částí anténní struktury. Bočníkové při-



Obr. 16. Tři způsoby napájení a přizpůsobení malé rezonanční šroubovicové antény:
a) napájení bez přizpůsobení (vhodné u antén s velkými ztrátovými odpory),
b) přizpůsobení bočníkové (přizpůsobovací obvod má kritické nastavení a zužuje pásmo, je vhodný u antén instalovaných na pevné protiváze),
c) přizpůsobení paralelním kondenzátorem.
(Viz též obr. 30 až obr. 32 s impedančními křivkami k uvedeným způsobům přizpůsobení)

způsobení dále zužuje již tak velmi úzké kmitočtové pásmo této antény.

3. Přizpůsobení zvláštním přizpůsobovacím obvodem, který není součástí vlastní antény.

Z několika možností se jeví jako nejjednodušší přizpůsobení jedinou součástkou, a to paralelním kondenzátorem na vstupu antény (resp. přímo na výstupu radiostanice) - viz obr. 16c.

Je to však možné pouze za předpokladu, že odporová složka vstupní impedance (u rezonující antény vstupní odpor) bude menší než 50 Ω!! Anténa se pak musí navinout tak, aby byla „delší" a aby její indukční reaktance X_L činila na provozním kmitočtu 50 Ω. Indukční reaktance se vykompenzuje paralelně připojenou reaktancí kapacitní X_C = 50 Ω, takže impedance antény pak bude mít pouze reálnou složku R_A = 50 Ω a anténa bude přizpůsobena.

Protože paralelní kapacita přizpůsobí anténu na vyšším než původně nastaveném vlastním rezonančním kmitočtu (který odpovídal provoznímu kmitočtu radiostanice), je při tomto přizpůsobení nutné snížit rezonanční kmitočet samotné šroubovice tak, aby s paralelním kompenzačním kondenzátorem rezonovala na požadovaném provozním kmitočtu. Potřebná změna kmitočtu je však poměrně malá.

Praktické nastavení optimální kombinace indukčnosti šroubovice (= počet závitů) a paralelní kapacity není zcela jednoduché.

Zvětšení indukčnosti (počet závitů „navíc", popř. stlačení šroubovice při stejném počtu závitů) pro posun rezonančního kmitočtu na nižší kmitočet a jemu odpovídající kompenzační kapacita závisí na velikosti odporové složky impedance. Odborně vzdělanějším čtenářům více napoví impedanční křivky na Smithově diagramu (obr. 32).

Obtížné experimentální nastavování jednotlivých prvků usnadní jednoduchý aplikační program [P-1], který nám poskytne poměrně přesné výchozí informace. Zmíníme se o něm podrobněji v samostatné kapitole.

Konečné „naladění" a přizpůsobení antény však nakonec stejně zůstane záležitostí experimentální.

Stejný způsob přizpůsobení paralelním kondenzátorem na vstupu se užívá např. i u běžné nezkrácené mobilní „čtvrvlny" s impedancí asi 35 Ω. Anténa se (o málo) prodlouží tak, aby její impedance měla na požadovaném provozním kmitočtu již indukční složku +j·50 Ω. Ta se vhodným paralelním kondenzátorem snadno vykompenzuje, takže impedance pak na Smithově diagramu „sklouzne" po jednotkové kružnici na reálných 50 Ω.

4. Přizpůsobení antén, které jsou systémovým nebo nedílným příslušenstvím radiostanic, jejichž výstupní obvod již respektuje impedanční vlastnosti této antény a výrobce jej nastavil i s přihlédnutím k předepsaným, doporučeným nebo předpokládaným provozním podmínkám.

Šířka pásma

Šířka kmitočtového pásma, v němž může anténa uspokojivě pracovat, je omezena dovolenou změnou některého z anténních parametrů.

Pokud šířku pásma odvozujeme z **vlastností napájecích**, z nichž nejdůležitější je zpravidla vstupní impedance, je šířka pásma určena maximální přípustnou velikostí ČSV na napáječi s určitým vlnovým odporem Z_0 (obvykle 50 Ω). Přitom je lhostejné, zda je napáječ skutečně použit. Jindy může být kritériem pokles vyzařovaného výkonu (v dB nebo v %) v důsledku nepřizpůsobení nebo zmenšení účinnosti.

Šířku kmitočtového pásma definují někdy **vlastnosti vyzařovací**. Buď se šířka pásma určuje z povolené změny tvaru diagramu záření (směrového digramu), např. z minimální velikosti činitele zpětného záření v dB, nebo se určuje z povoleného poklesu maximální velikosti zisku v dB.

U většiny antén se však mění diagram záření při změnách kmitočtu podstatně pomaleji než impedance. Proto je šířka pásma, určovaná ze změny směrového diagramu zpravidla větší než šířka pásma určovaná ze změn impedance, resp. přizpůsobení. Podle různých kritérií proto získáváme různé výsledky a tedy různé šířky pásma.

Obecně je tedy šířka pásma antény definována rozsahem kmitočtů, ve kterém jsou splněny určité anténní parametry, vyjádřené obvykle číselnými hodnotami (např. $ČSV \leq 2$, nebo zisk $G \geq 0{,}9 \cdot G_{max}$, $ČZP \geq 20$ dB apod.). Anténa tak nemusí mít, a zpravidla ani nemívá, shodnou šířku pásma ve všech sledovaných parametrech.

Pro vzájemné porovnání antén na různých kmitočtových pásmech se používá **relativní šířky pásma *B*** (podle anglického bandwith), vyjádřené v procentech vzhledem ke střednímu kmitočtu pásma:

$$B = (f_2 - f_1) \cdot 100 / f_s, \qquad (11)$$

kde f_2 je vyšší kmitočet pásma a f_1 je nižší kmitočet pásma, ve kterém jsou splněny předepsané parametry; f_s je kmitočet střední.

Pouhý rozdíl kmitočtů $f_2 - f_1$ udává **absolutní šířku pásma** v MHz.

U většiny všesměrových vysílacích antén jsou zpravidla jediným kritériem pro šířku pásma napájecí vlastnosti antény, vyjádřené činitelem stojatých vln.

Anténa a její *Q*

Šířku pásma běžných rezonančních *LC* obvodů (tvořených cívkami a kondenzátory) definujeme jako pásmo ohraničené kmitočty (mezi kterými leží kmitočet rezonanční), na kterých se odporová a reaktanční složka impedance (vyjádřené v Ω) shodují ($R = X$). Lze dokázat, že na hraničních kmitočtech takto definovaného pásma pak poklesne proud (I) nebo napětí (E) na *LC* obvodu na velikost $I/\sqrt{2}$ a $E/\sqrt{2}$, resp. na velikost $0{,}707 \cdot I$ a $0{,}707 \cdot E$. Vyjádřeno v dB, je to pokles právě o 3 dB oproti hodnotám na kmitočtu rezonančním. A protože každou anténu typu dipól $\lambda/2$ nebo unipól $\lambda/4$ můžeme při proudovém napájení považovat za sériový rezonanční *LC* obvod (viz obr. 13), můžeme její šířku pásma vyjádřit i tímto způsobem - tzv. „3 dB šířkou", resp. činitelem *Q*. Praktický význam to má spíše u antén, které se svým uspořádáním i parametry klasickému *LC* obvodu skutečně přibližují. Jsou to právě malé rezonanční šroubovice s převládající indukčností a se ztrátovými odpory, které reálněji představují klasický sériový *LC* obvod.

Obecně je činitel jakosti definován vztahem:

$$Q = X_L/R, \quad \text{resp.} \quad 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L/R, \qquad (12)$$

tj. poměrem jalové (indukční) X_L a reálné (odporové) složky R impedance v Ω na kmitočtu f, resp. poměrem jalového a vyzářeného výkonu.

Prakticky můžeme *Q* antény určit změřením odporu R a reaktance X na kmitočtu f, nepříliš vzdáleném od rezonančního kmitočtu f_0, na kterém má anténa jen odporovou složku R_0. Není-li rozdíl mezi oběma kmitočty větší než 5 %, vypočítáme *Q* s dostatečnou přesností podle vzorce:

$$Q = X \cdot f_0 / 2 \cdot R \cdot \Delta f, \qquad (13)$$

kde R je změřená odporová složka impedance v Ω (při malém kmitočtovém odstupu se prakticky neliší od odporové složky impedance R_0 na rezonančním kmitočtu f_0), X je reaktanční složka impedance v Ω, a Δf je rozdíl mezi oběma kmitočty.

Příklad: Z impedanční křivky poměděné šroubovicové antény A_{CU} pro 145 MHz na obr. 30 odečteme na kmitočtu f = 146 MHz tyto hodnoty: R = 5,5 Ω a X = 14 Ω. Pro Δf =1,2 MHz (Δf je rozdíl mezi kmitočty 146 a 144,8 MHz) dostáváme dosazením do vzorce (13) velikost Q =155.

Tatáž anténa nepoměděná A_{FE} bude mít Q podstatně nižší. Na f = 146 MHz odečteme R = 30 Ω, X = 12 Ω a Δf = = 1 MHz, vypočtené Q je jen 29.

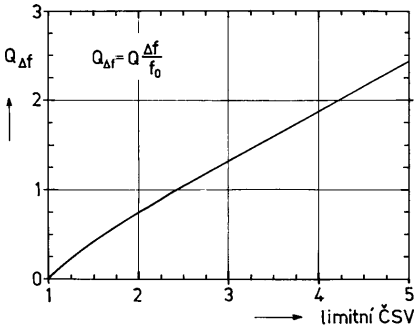
Pro ilustraci spočítejme ještě Q běžného drátového dipólu λ/2. Na kmitočtu 3,7 MHz je R = 75 Ω, X =100 Ω a Δf = 0,15 MHz; Q je 16,4. S podobnými velikostmi Q je nutno u běžných nezkrácených antén počítat.

Známe-li pouze *Q* antény, můžeme pomocí grafu na obr. 16d zjistit neznámé maximální ČSV v daném pásmu a naopak, je-li maximální ČSV definován, lze z téhož grafu zjistit šířku pásma splňující definované limitní hodnoty ČSV.

K výpočtu pak použijeme ještě tento vzorec :

$$Q_{\Delta f} = Q \cdot \Delta f / f_0. \qquad (14)$$

Příklad: Předpokládejme, že anténa s Q = 15 (typická velikost pro drátovou anténu) je přizpůsobena na střed pás-



Obr. 16d. Závislost ČSV na proměnné $Q_{\Delta f}$, která v sobě zahrnuje relativní rozladění $\Delta f/f_0$ od rezonančního kmitočtu f_0 šroubovicové antény a činitel jakosti Q šroubovice

ma 3,5 až 3,9 MHz. Hledáme ČSV na krajních kmitočtech pásma: $\Delta f/f_0$ = = 0,4/3,7 ≈ 0,1. Z grafu přečteme, že pro $Q_{\Delta f}$ = 15·0,1 = 1,5 lze na krajích pásma očekávat ČSV = 3,4.

Pokud by bylo žádoucí, aby ČSV nepřekročil 2, je odpovídající $Q_{\Delta f}$ = 0,75. Ze vzorce (14) pak vypočteme: 0,75 = = $\Delta f/f_0$ = Δf/3,7, takže Δf = 3,7·0,4 = = 1,48. Po dosazení do (13) vypočteme $\Delta f = Q_{\Delta f} \cdot f_0/Q$ = (0,75·3,7)/15 = = 0,185 MHz. Pásmo, ve kterém ČSV nepřekročí velikost 2, je široké 185 kHz.

Vyjadřovat kvalitu, resp. širokopásmovost antény činitelem *Q* není až tak obvyklé, a tak jej mezi parametry běžných antén obvykle nenalézáme. Nabízí však jiný pohled na tuto problematiku. Uplatní se spíše až při návrhu přizpůsobovacích obvodů. Jejich vlastní selektivita, resp. *Q*, má totiž značný vliv na selektivitu vlastní antény. Pokud se požaduje co nejširší pásmo, musí se použít přizpůsobovací obvody s nízkým *Q*. Není to vždy zvládnutelné. Zejména, pokud se vstupní odpor antény podstatně liší od vlnové impedance napáječe, ke kterému má být přizpůsobena. Velký poměr impedancí vede k nutnosti použít v přizpůsobovacím obvodu velkých reaktancí. *Q* je pak větší, než je žádoucí, takže omezí pásmo přizpůsobované antény. V těchto případech jsou informace o činiteli *Q* antény užitečné.

Účinnost

Odporové ztráty vodičů, z nichž jsou vinuty malé rezonanční šroubovice, jsou samozřejmě podstatně větší než tytéž ztráty v ekvivalentních anténách se samonosnými tyčovými prvky. Potřebné délky vodičů jsou totiž řádově dvojnásobné a jejich průměry jsou podstatně menší.

Účinnost vyzařování η_a antény definujeme jako poměr výkonu P_v vyzářeného anténou k výkonu P_o dodanému na vstup antény ze zdroje (vysílače):

$$\eta_a = P_v/P_o = P_v/(P_v + P_z). \qquad (15)$$

Výkon vysílače se tedy rozdělí na vyzářený výkon P_v, tj. na výkon „užitečně ztracený“ na vyzařovacím odporu R_v, a na skutečně ztracený výkon P_z na všech ztrátových odporech R_z, přepočítaných na vstup antény.

Protože „užitečné ztráty“ i skutečné ztráty jsou přímo úměrné jednotlivým odporům, které se měří snadněji než vyzářený výkon, určuje se účinnost antény v % obvykle z obou odporů:

$$\eta_a = 100 \cdot R_v/(R_v + R_z). \qquad (16)$$

Účinnost antény se zvětšuje s rostoucím vyzařovacím odporem R_v a s klesajícím odporem ztrátovým R_z. Ten zahrnuje všechny druhy ztrát, které se v obvodu antény uplatňují. Při zvětšování účinnosti se tedy na jedné straně usiluje o omezení ztrátových odporů a na straně druhé o zvětšení odporu vyzařovacího. Shoduje-li se ztrátový odpor s vyzařovacím, klesne účinnost na 50 %.

Podle [11] je např. možné zvětšit R_v čtyřikrát realizací šroubovicového skládaného unipólu, resp. dipólu. Anténa - šroubovice - se navine „bifilárně“, tj. tak, že se navine současně dvěma vodiči, které se na konci antény navzájem spojí a „dole“ u konektoru, v místě napájení, se jeden vodič připojí k zemi (k tělesu konektoru) a druhý se napájí. Z antény se stane jakýsi skládaný šroubovicový unipól. Impedance skládaných dipólů i unipólů se však, jak známo, zvětšuje transformací, a to v závislosti na průměru a počtu jejich vodičů. Je-li tomu tak i u skládaného unipólu šroubovicového, a není důvodu, proč by tomu tak být nemělo, musí se na vstup antény ve stejném poměru přetransformovat i ztrátové odpory, takže původní účinnost by měla zůstat prakticky beze změny. Přetransformovaná, a tedy větší impedance by však měla zlepšit přizpůsobení. Tuto úpravu jsme ověřili na malé šroubovicové anténě pro 145 MHz, kterou jsme navinuli miniaturní bílou dvoulinkou, původně užívanou do TV symetrizačních členů. Zkušenosti a výsledky měření jsou v kapitole Návrh šroubovicové antény a na obr 33.

Podle amerických pramenů, o kterých je zmínka ve známé publikaci [21], lze u mnohazávitových šroubovic na KV pásma omezit ztráty a zvětšit vyzařovací odpor plynulým zmenšováním úhlu stoupání šroubovicového vinutí směrem k hornímu konci antény. Jinými slovy, mezery mezi závity se postupně zmenšují, až je závit těsně vedle závitu. Dociluje se tím výhodnějšího proudového rozložení podél antény, a vyzařovací odpor je údajně větší, než se šroubovicí navinutou rovnoměrně. Tento efekt prý podporuje i mírně kuželovitý tvar nosného prvku, na který je šroubovice navinuta. Doporučuje se využít pro realizaci antény maximální možné výšky, aby byl dostatek prostoru pro vytváření mezer mezi závity ve spodní části antény. Mechanické potíže při realizaci takového vinutí se obcházejí rozdělením šroubovice na řadu sekcí, ve kterých se závity vinou těsně a mění se mezery mezi sekcemi. K popisovaným anténám [21] se však žádné konkrétní číselné údaje o vyzařovacích odporech neuvádějí.

V této souvislosti se nabízí otázka, zda je možné ztrátový i vyzařovací odpor konkrétní antény určit nebo změřit. Předpokládejme, že se vyzařovací odpor R_v krátké antény shoduje s odporem vypočteným podle vzorce (8), resp. zjištěným podle křivky na obr. 14. Odečteme-li jej od reflektometrem změřené odporové složky R_a vstupní impedance dané antény, umístěné ve volném prostoru (např. podle metody popsané na str. 24), dostaneme přibližnou velikost všech odporů ztrátových. Z těchto údajů lze již vypočítat účinnost antény podle vztahu (16).

Lze však určit skutečnou velikost vyzařovacího odporu? Můžeme anténě zabránit, aby vyzařovala, a prezentovala se tak na svém vstupu jen odpory ztrátovými? Podle [18] zabráníme vyzařování antény (tj. „odstraníme“ její vyzařovací odpor) tím, že ji obklopíme vodivým obalem (krytem), jehož rozměry omezí prostor kolem antény do vzdálenosti poloměru $r = \lambda/2\cdot\pi$, kde se převážně soustřeďuje blízké, tzv. reaktivní pole antény (obr. 12). Vlastností blízkého elektromagnetického pole je, že nevyzařuje elektromagnetickou energii.

Tato oblast (zóna) blízkého pole je obecně definována prostorem koule o poloměru:

$$r = 0{,}62 \cdot \sqrt{D^3/\lambda}, \qquad (17)$$

kde *D* je největší rozměr měřené antény.

Odporovou složkou impedance (nevyzařující) antény, změřenou v blízké zóně definované výše zmíněným způsobem, pak zůstanou jen odpory ztrátové. Odečteny od odporu R_a, změřeného na anténě umístěné ve volném prostoru, kde se uplatní všechny reálné složky, by měly určit skutečný vyzařovací odpor. Opravdu skutečný?

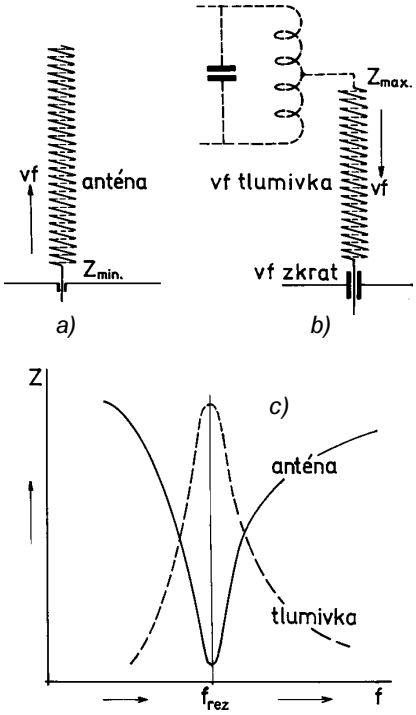
Počítejme tedy spíše s tím, že zaručenou, fyzikálním zákonům neodporující metodou, která zvyšuje vyzařovací odpor a tím i účinnost krátké šroubovicové unipólové antény stále zůstává její maximálně možná geometrická (fyzická) výška v daných prostorových a provozních podmínkách.

Pozn.: V tomto článku neuvažujeme jiné způsoby zkracování unipólů (jakými jsou např. zkrácení koncovou kapacitou, zkrácení soustředěnou indukčností, popř. kombinací obou způsobů), které mohou vést k větším vyzařovacím odporům.

Anténa nebo vf tlumivka

Připomíná-li někomu malá šroubovicová anténa vf tlumivku z dob elektronkových vysílačů, pak nejde o podobnost čistě náhodnou.

V obou případech se v principu jedná o stejný vf obvod (obr. 17). O souosé čtvrtvlnné vedení s vnitřním vodičem ve tvaru šroubovice, jehož vnější vodič



Obr. 17. Malá šroubovicová anténa (a) a vf tlumivka (b) jsou v podstatě čtvrtvlnnými obvody. Liší se od sebe svým vf zakončením. Rezonanční křivky (c) znázorňují, že malá šroubovicová anténa se chová jako otevřené vedení λ/4 s malou vstupní impedancí Z, tlumivka se chová jako zkratované vedení λ/4 s velkou vstupní impedancí Z

(stínění) má značný („nekonečný") průměr. Nicméně i za těchto zvláštních podmínek platí:

a) Otevřené vf vedení, symetrické nebo souosé, jehož (elektrická) délka je právě λ/4, se na svém vstupu jeví jako **vf zkrat**, resp. jako sériový rezonanční obvod s velmi malou impedancí.

b) Totéž vf vedení, na konci zkratované, se na svém vstupu jeví jako **velký vf odpor**, resp. jako paralelní rezonanční obvod s velkou impedancí.

První podmínce, otevřenému čtvrtvlnnému vedení, se přibližuje šroubovicový unipól λ/4, jak jsme jej charakterizovali v předchozích odstavcích. Jeho malá vstupní impedance je dána malým vyzařovacím odporem a vlastními ztrátami.

Druhé podmínce, zkratovanému čtvrtvlnnému vedení, se přibližuje vf tlumivka, používaná samostatně nebo ve filtračních obvodech, která zamezuje průniku pracovních kmitočtů do ostatních obvodů. Aby se na svém vstupu jevila jako zkratované čtvrtvlnné vedení s velkou vstupní impedancí, musí být na svém konci vysokofrekvenčně uzemněna - nejčastěji průchodkovým kondenzátorem.

Na vf tlumivku jsou kladeny jiné požadavky než na „tlumivku" - anténu. Vf tlumivka by neměla pokud možno vůbec vyzařovat, aby se minimalizovaly vazby na ostatní obvody. Měla by mít co největší indukčnost, aby se v daném pracovním pásmu dosáhlo co největší impedance a tím i maximálního oddělení filtrovaného signálu. Měla by pracovat pod svým vlastním rezonančním kmitočtem, kdy se projevuje jen jako indukčnost, a oddělovaný rezonanční obvod jí nebyl rozlaďován.

Zatímco u šroubovicové antény se požaduje co nejlepší přizpůsobení k vf zdroji, tak u vf tlumivky je tomu opačně. Mezi impedancemi by měl být v místě připojení vf tlumivky co největší impedanční skok - co největší „nepřizpůsobení" (více o vf tlumivkách např. v [22]). Snaha o maximální oddělení vedla někdy v dobré víře, ale mylně, k neúměrnému zvětšování počtu závitů, aby se dosáhlo co největší indukčnosti. Tlumivka se tak dostala do druhé rezonance, stala se „půlvlnnou" s proudovým maximem uprostřed její délky, takže se za příznivých okolností rozžhavila a občas i přepálila. Byl to názorný a zjevný důkaz o sinusovém rozložení vf proudů podél těchto tlumivek.

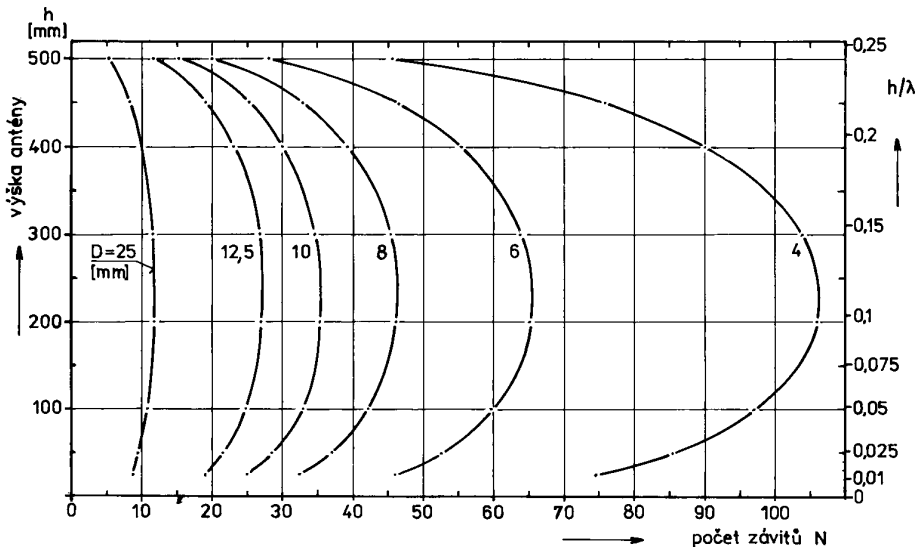
Širokopásmové a nízkoimpedanční obvody tranzistorové dnes bezpečně a širokopásmově filtrují a oddělují (a to i na nejvyšších kmitočtech) indukčnosti, tvořené pouze několika závity na uzavřených feritových jádrech, popř. jen přímé vodiče, provlečené feritovými jádry.

Rozměry malých šroubovic

Realizaci malých šroubovic usnadní informace o vztazích mezi hlavními rozměry a jejich vlivem na rezonanční kmitočet. Nabízejí nám je dříve uvedené vzorce, a názorněji pak i křivky na obr. 18, podle těchto vzorců vypočtené.

Obr. 18 platí pro antény na kmitočtu 145 MHz (λ = 2069 mm). Křivky poskytují konkrétní rozměrové informace pro návrh malých šroubovic na uvedeném kmitočtu, zároveň však také obecně vypovídají o tom, jak závisí celkový počet „rezonančních" závitů *N* na výšce antény *h*, navinuté na různých průměrech *D*. Za podstatné považujme:

• Počet „rezonančních" závitů *N* závisí jak na výšce šroubovice *h*, tak, a to hlavně, na jejím průměru *D*. Je-li anténa zkrácena zhruba na polovinu plné čtvrtvlnné délky (0,25·λ), tj. přibližně na 0,075 až 0,15·λ (viz stupnici *h/λ* na pravé straně obr. 18), resp. na 150 až 300 mm na 145 MHz, je rezonanční kmitočet na výšce antény téměř nezávislý, tedy nekritický, tzn., že se rezonanční kmitočet s výškou (délkou) antény podstaně nemění. Dalším zkracováním, ale i prodlužováním antény se však tato závislost zvětšuje, a to až do minimální možné délky antény, kdy se závity navzájem dotýkají. Nejsou-li pokryty izolací (lakem), nastává mezi nimi zkrat a šroubovice se mění v krátkou lineární anténu. Minimální délka funkční šroubovice je tedy dána součinem průměru *d* použitého vodiče a odpovídajícím počtem závitů *N*. Použije-li se např. vodičů, jejichž průměr je desetinou zvoleného průměru šroubovice *D*, lze s uvedenými vodiči, pokrytými izolací, realizovat na kmitočtu 145 MHz funkční šroubovicové antény s minimální výškou 0,017·λ (tj. 35 mm). Této, řekněme, krajní možnosti, se na VKV zpravidla nevyužívá. Šroubovice se tam zpravidla nevinou s těsnými závity, ale s mezerami, přibližujícími se průměru použitých vodičů. Minimální výška je pak nejméně dvojnásobná. Prakticky se volí spíše tak, aby vyhovovala hle-



Obr. 18. Grafické znázornění vztahů mezi počtem závitů N a výškou h šroubovicových unipólů λ/4 pro několik průměrů D na kmitočtu f = 145 MHz. Je zřejmé, že počet „rezonančních" závitů je ovlivňován hlavně průměrem vinutí D a již méně výškou (délkou) antény h. Křivky jsou vypočteny podle vzorce (5), a jak bylo na VKV ověřeno, s vyhovující přesností platí v rozsahu výšek do h = 0,15·λ a pro vodiče, jejichž průměr d je přibližně desetinou průměru šroubovice D. Křivek lze využít i pro přepočet rozměrů šroubovicové antény na jiný kmitočet

diskům provozním. Na 145 MHz je to v rozsahu výšek 80 až 120 mm, resp. 0,04 až 0,060·λ.

• Z křivek na obr. 18 je též patrné, že při určité rozměrové konstelaci dochází s daným počtem závitů na daném kmitočtu ke dvojí rezonanci. Jednou u závitů „stlačených“, tj. při minimální výšce *h*, a podruhé při vinutí „roztaženém“, kdy se výška anténa přibližuje výšce antény nezkrácené. Mezi oběma rezonancemi, tj. mezi oběma výškami se rezonanční kmitočet antény zvyšuje, popř. se příliš nemění, jak je uvedeno v předchozím odstavci. Vně obou výšek se rezonanční kmitočet snižuje. Souvisí to se změnami vlastní kapacity a indukčnosti vinutí. Tento efekt je nutné brát v úvahu při laborování, popř. při eventuálním konečném dolaďování antény, pokud ovšem tento způsob doladění konstrukce antény umožňuje.

• Z křivek na obr. 18 můžeme určit celkovou délku vodiče *L*, potřebnou pro navinutí té které rozměrové varianty, a to podle jednoduchého vzorce:

$$L = \pi \cdot D \cdot N + h, \qquad (18)$$

kde *D* je průměr šroubovice, *N* je celkový počet závitů a *h* je výška šroubovice (rozměry dosazujeme ve stejných jednotkách).

Ukazuje se, že v rozsahu obvykle používaných anténních výšek *h* se potřebná „rezonanční“ délka vodiče výrazně nemění a pohybuje se mezi délkami 0,5 až 0,6·λ. Je to cenná informace pro realizaci antény nejjednodušším, experimentálním způsobem.

• Z obr. 18 lze zjistit číselné údaje pro návrh antény stejného typu na jiný kmitočet. Je běžnou praxí, že se pracný vývoj nové antény obchází přepočtem rozměrů vhodné, řekněme „vzorové“ antény shodného typu. V poměru obou kmitočtů se přepočtou hlavní rozměry „vzorové“ antény. U naší malé šroubovice je to výška *h* a průměr vinutí *D* nebo počet závitů *N*. Ve stejném poměru by měl být přepočten i průměr vodiče *d*, kterým je šroubovice navinuta. Není to však zcela nezbytné, neboť jeho vliv na rezonanční kmitočet je výrazně menší. Změní-li se oba hlavní rozměry (výška *h* a průměr *D*) ve stejném poměru, změní se ve stejném poměru celková délka vodiče a tím i rezonanční kmitočet. Délka vodiče L/λ_{rez} proto bude na obou rezonančních kmitočtech shodná. Stejnou rezonanční délku bude mít i vodič, navineme-li jím šroubovici na původním průměru *D*, ale s přepočteným počtem závitů *N*. Každá z obou změn by měla vést k rezonanci na žádaném kmitočtu.

Malou ilustrací různých přepočtů je tento příklad :

Jaké rozměry bude mít anténa pro kmitočet 72,5 MHz, přepočtená ze „vzorové“ antény pro 145 MHz (tj. z antény, která má dvojnásobný rezonanční kmitočet)? Rozměry výchozí „vzorové“ antény jsou: h = 100 mm, D = 10 mm, N = 35, d = 1 mm.

Pro různě přepočtené antény, odvozené ze vzorové antény pro 145 MHz, jsou vypočtené rezonanční kmitočty uvedeny v tab. 1. Jednotlivé odvozené antény - varianty b) až j) v tab. 1 - mají různé kombinace dvojnásobků rozměrů vzorové antény.

Z čísel uvedených v tab. 1 je patrný poměrně malý vliv výšky antény h a průměru vodiče d na rezonanční kmitočet f_{rez} antény. Zdvojnásobením obou hlavních rozměrových parametrů D (z 10 mm na 20 mm) a N (z 35 závitů na 70 závitů) se prodlouží původní délka vodiče L čtyřikrát a rezonanční kmitočet tak klesne přibližně až na čtvrtinu, popř. ještě níže u varianty h). U této varianty je vinutí již velmi těsné a zvětšená vlastní kapacita velmi krátké šroubovice (h =100 mm = 0,01·λ_{rez}) snižuje rezonanční kmitočet ve shodě s průběhy křivek na obr. 18 v oblasti nejmenších výšek h. Tak krátká anténa bude sice „funkční“, ale velmi neúčinná, protože její vyzařovací odpor bude nepatrný: 0,064 Ω!! Dvojnásobná výška h = 200 mm jej zvětší čtyřikrát na přijatelných 0,26 Ω, jak je tomu např. u nejkratších „pendreků“ v pásmu CB.

• Jiný je postup při požadavku zachovat původní kmitočet s jinými rozměry šroubovice.

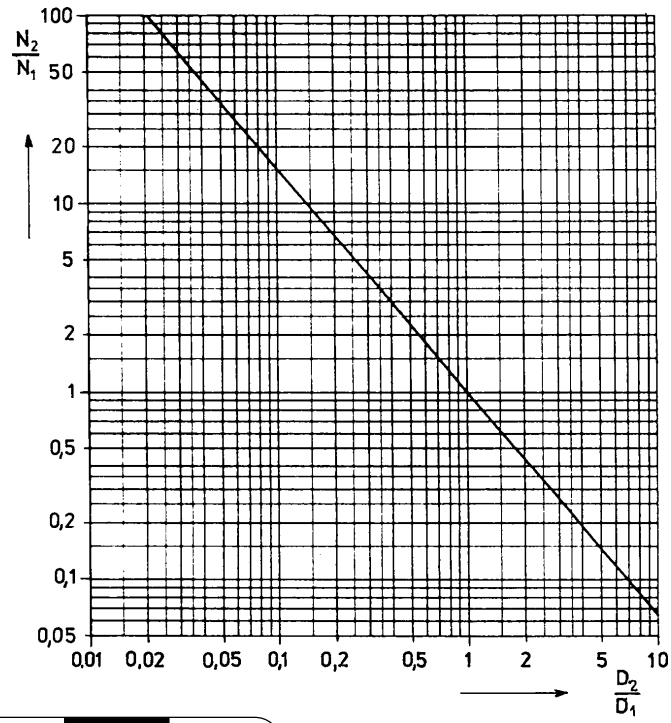
Nelze-li realizovat anténu podle původního návrhu (je-li např. k dispozici hotová šroubovice s jiným průměrem), je nutné kompenzovat poměr průměrů původní a přepočítávané antény (D_1/D_2) odpovídajícím poměrem počtu závitů

Tab. 1. Rezonanční kmitočty antén, různě přepočtených ze vzorové antény pro 145 MHz

Anténa	Výška *h* [mm]	Průměr šroubovice *D* [mm]	Počet závitů *N*	Průměr vodiče *d* [mm]	Rezonanční kmitočet f_{rez} [MHz]
Vzorová anténa - a)	100	10	35	1	145,5
Přepočtená anténa - varianta b)	100	20	35	1	71,5
Přepočtená anténa - varianta c)	200	20	35	1	80
Přepočtená anténa - varianta d)	200	20	35	2	75
Přepočtená anténa - varianta e)	100	10	70	1	72,5
Přepočtená anténa - varianta f)	200	10	70	1	81
Přepočtená anténa - varianta g)	200	10	70	2	72,5
Přepočtená anténa - varianta h)	100	20	70	1	32
Přepočtená anténa - varianta i)	200	20	70	1	40
Přepočtená anténa - varianta j)	200	20	70	2	37

Tab. 2. Závislost N_2/N_1 na D_2/D_1

D_2/D_1	100	10	1	0,1	0,01
N_2/N_1	0,00398	0,0631	1	15,8	251



Obr. 19. Koeficient pro nutnou korekci původního počtu závitů N_1 na nový počet N_2, navinutých na novém průměru D_2 při požadavku na zachování původního rezonančního kmitočtu

Tab. 3. Nejdůležitější výchozí údaje pro návrh a realizaci šroubovicových antén pro některá pásma KV

f_{rez} [MHz]	λ [m]	h = 1 m			h = 2 m			h = 3 m		
		h/λ	N pro D = = 12,5 mm	N pro D = = 25,4 mm	h/λ	N pro D = = 12,5 mm	N pro D = = 25,4 mm	h/λ	N pro D = = 12,5 mm	N pro D = = 25,4 mm
1,8	166,7	0,006	3200	1370	0,012	3675	1570	0,018	3980	1700
3,5	85,7	0,0117	1645	702	0,0234	1885	805	0,0351	2036	870
3,75	80	0,0125	1535	656	0,025	1758	750	0,0375	1898	810
7,05	42,55	0,0235	815	349	0,047	926	395	0,070	986	420
14,15	21,2	0,0472	402	171	0,0944	440	188	0,1416	428	184
21,2	14,15	0,0706	263	112	0,141	268	114	0,212	204	87
27,0	11,11	0,09	202	86	0,180	183	78	0,270	-	-
28,2	10,64	0,094	192	82	0,188	168	72	0,282	-	-

(N_1/N_2). Z matematických vztahů vedoucích k rovnicím (5) a (6) lze podle údajů v lit. [3] odvodit, že odpovídající kompenzační poměry musí vyhovovat vztahu:

$$\log(N_2/N_1) = -1{,}2\cdot\log(D_2/D_1). \quad (19)$$

Takže, má-li být např. navinuta šroubovice na menší průměr, je nutné zvětšit počet závitů, ale ne ve stejném poměru!

Pro několik „kulatých" poměrů D_2/D_1 jsou odpovídající hodnoty N_2/N_1 uvedeny v tab. 2 a pro praktickou potřebu je závislost N_2/N_1 na D_2/D_1 znázorněna graficky na obr. 19. V souřadném systému s logaritmickými stupnicemi je tato závislost vyjádřena přímkou.

Příklad: Anténu na 145 MHz o délce 200 mm, navinutou vodičem o průměru 1 mm na průměru D_1 = 10 mm s počtem závitů N_1 = 35 (podle křivek na obr. 18), chceme realizovat poměděnou ocelovou pružinou o průměru D_2 = = 6 mm. Poměr nového a původního průměru D_2/D_1, tj. 6/10, je 0,6. Odpovídající poměr počtu N_2 nových a N_1 původních závitů, zjištěný z grafu na obr. 19, je 1,8. Takže nový počet závitů N_2 by měl činit 35·1,8 = 63. Prakticky stejný údaj můžeme zjistit na obr. 8 z křivky vypočtené podle vzorce (5) pro D = 6 mm.

Chceme-li přepočítat „vzorovou" anténu na jiný kmitočet a zároveň změnit průměr D, přepočteme nejdříve rozměry v poměru kmitočtů (podle prvního příkladu) a pak teprve kompenzujeme změněný průměr D odpovídající změnou poměru závitů (podle druhého příkladu).

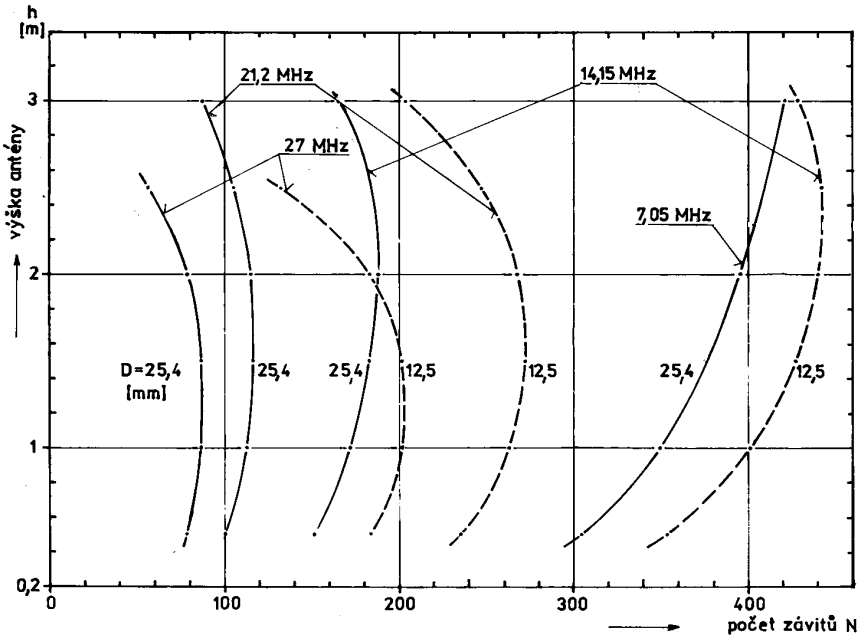
• Dosud uvedené informace včetně výpočtu, aplikovaného u antény na 145 MHz jakožto typického představitele většiny dnes požívaných krátkých šroubovicových antén, lze prakticky beze změn použít i na kmitočtech KV.

Proto jsou v následující tab. 3 uvedeny **nejdůležitější výchozí údaje** pro návrh a realizaci šroubovicových antén pro některá pásma KV (přesněji pro konkrétní kmitočty), vypočtené podle vzorce (5), a to pro výšky h = 1 m, h = = 2 m a h = 3 m na průměrech D = = 1,25 cm a D = 2,54 cm (1/2" a 1"). Vliv rozměrových parametrů též dobře znázorňují křivky na obr. 20a, vypočtené stejným způsobem.

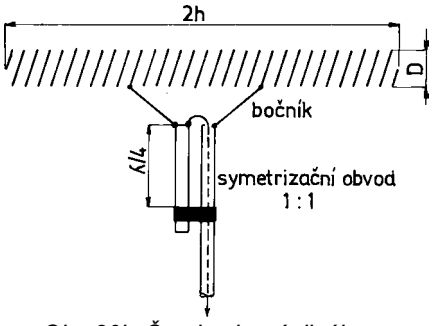
Jak již bylo uvedeno, empirický vzorec (5) nezahrnuje vliv půměru vodiče d. Praxe, potvrzená výpočty podle [P-1] ukazuje, že předpokládaný rezonanční kmitočet se příliš neliší od skutečného, je-li vinutí provedeno tak, aby se minimální mezery mezi závity více méně přibližovaly průměru vodiče d, resp., aby rozteč mezi závity (mezi osami sousedních vodičů) byla přibližně dvojnásobkem průměru d. Z tohoto hlediska může být problematická volba vhodného vodiče pro nejnižší kmitočty KV, kdy má anténa stovky až tisíce závitů.

Zvolíme-li $d = h/N$, budou se závity právě dotýkat. Pro $d = h/2\cdot N$ bude mezi závity rozteč $2\cdot d$, resp. mezera bude právě d. Budeme-li chtít respektovat výšku h, zvolíme d v rozsahu obou hodnot. U antén s velkým poměrem λ/h, tj. u „štíhlých" šroubovic (zejména na pásmech KV), se zvětšuje délka vodiče potřebná pro navinutí šroubovice až na hodnoty kolem $0{,}7\cdot\lambda$.

Jistou výhodou mnohazávitových šroubovic je snadnější realizace bočníkového napájení. Při větším počtu závitů se lépe vyhledává vhodná napájecí odbočka. U šroubovicových antén na KV pásma, které zpravidla nejsou připojeny bezprostředně k vysílači, nýbrž jsou napájeny koaxiálním kabelem, se tak lépe plní požadavky na dobré přizpůsobení, žádoucí při napájení kabelem. To platí jak pro antény - unipóly - mobilní, tak i pro „náhražkové" šroubovicové dipóly balkónové nebo podstřešní (obr. 20b). **Poloha odboček je sice kritická, ale vzhledem ke stabilní provozní poloze KV antény** (která není ovlivňována činností a bezprostřední přítomností operátora jako u ručních radiostanic na VKV) **lze zabezpečit dobré a stabilní přizpůsobení.**



Obr. 20a. Grafické znázornění vztahů mezi počtem závitů N a výškou h šroubovicových unipólů $\lambda/4$, navinutých na tělese o průměru 12,5 resp. 25,4 mm na několika kmitočtech krátkých vln. Křivky jsou vypočteny podle vzorce (5)



Obr. 20b. Šroubovicový dipól na pásmo KV s bočníkovým napájením

Návrh šroubovicové antény

Šroubovicovou anténu lze navrhnout několika způsoby:

1. Metodou momentů. Ta je sice již dávno známa, ale její praktické využití umožnila až současná výpočetní technika. Dnes je nejužívanější metodou, která usnadňuje výpočet a návrh různých typů antén v nejrozmanitějších rozměrových i konstrukčních konfiguracích pomocí počítačových programů, bez obtíží dostupných i radioamatérům, resp. speciálně pro potřeby radioamatérů vytvořených.

Při dostatečném počtu relativně velmi krátkých přímých segmentů, na které musí být při této metodě celá anténní struktura rozdělena, vypočte program z daných rozměrů všechny hlavní elektrické parametry, tj. zisk, impedanci, šířku pásma, účinnost atd. spolu s diagramy záření ve zvolených rovinách i polarizacích a to i s přihlédnutím k okolním vlivům, včetně konfigurace a kvality protiváhy (resp. země). Jednou z podmínek, omezující využití této metody v konkrétním programu, je jistá minimální vzdálenost mezi segmentovanými vodiči. Je tedy jen omezeně použitelná u malých šroubovic s těsně vinutými závity. Vzhledem k dalším možnostem se proto v tomto případě nejeví momentová metoda jako smysluplná, pokud ovšem nechceme „zkoumat“ šroubovice zvláštních tvarů s dostatečnou roztečí mezi závity nebo navrhovat „velké šroubovice“ s radiálním vyzařováním. Malé šroubovice s kolmým vyzařování lze navrhnout jednodušeji.

2. Analytickým přístupem. Li a Beam [11] stanovili charakteristické rovnice pro šroubovicové vedení. Výsledky pak nabídli ve formě nomogramů, postihujících komplikované vztahy mezi geometrickými rozměry a elektrickými vlastnostmi šroubovice. Lze je použít při návrhu antén.

3. Výpočtem podle empirických vzorců Kandoiana a Sichaka [3], upravených Tongem [5] a Guertlerem [4]. Ze zadaných hlavních rozměrů - délky h, průměru D a vlnové délky λ se vypočte celkový počet rezonančních závitů N podle dříve uvedené rovnice (5). Přesnost výsledků je vyhovující, je-li $h \geq 0{,}1\cdot\lambda$ a $D < 0{,}3\cdot h$. Výpočet počtu závitů je užitečnou výchozí informací pro další experimentální postup při konečném ladění antény. Praxe ukazuje, že takový postup je nezbytný při konečné realizaci každého návrhu vzhledem k úzkopásmovému charakteru rezonančních vlastností této antény a významnému vlivu nejbližšího okolí, tj. i těla operátora.

4. Pomocí počítačových programů, např. HELICAL 3.EXE (nebo MOBILE), o kterých se zmiňujeme v samostatné kapitole.

5. Přepočtem rozměrů ověřené vzorové antény téhož typu, určené pro jiné kmitočtové pásmo, nebo korekcí rozměrů při novém uspořádání stávající antény. Výchozí údaje i postupy nabízí kapitola Rozměry antén a obr. 18, obr. 19 a obr. 20 spolu s tab. 3.

6. Experimentálním způsobem, který vychází pouze z přibližné délky vodiče, potřebné pro navinutí malé rezonanční šroubovice o dané výšce h. Tento postup se při amatérském přístupu k tomuto problému jeví jako nejúčelnější, mimo jiné i proto, že bez „ručního“ laborování a konečného doladění se v konečné fázi stejně neobejde žádný z předchozích způsobů. Se skrovnými amatérskými prostředky lze i v omezených prostorových podmínkách naladit malou šroubovicovou anténu do rezonance, popř. ji též přizpůsobit.

Vzhledem k typu a použití antény se nastavují jen vlastnosti napájecí. Odpadají požadavky na kontrolu či optimalizaci vlastností směrových, které jsou obvykle náročné na prostor a přístrojové vybavení. Obratný experimentátor zvládne celou záležitost pouze s přístrojem typu GDO a popř. i bez něho.

Užitečné doplňující informace pro experimentální návrh poskytují zmíněné snadno dostupné aplikační počítačové programy (P-1) a již uvedené graficky znázorněné závislosti, odvozené z empirických vzorců podle [3]. V dalším se proto budeme zabývat experimentálním postupem.

Praktický postup při návrhu a realizaci

„Nic se nevyrovná tomu, rozumět věcem, které děláme“, jak říká pan Norton v úvodním citátu, ale šroubovicovou anténu lze prakticky „vybastlit“ i bez úvodních teoretických informací.

Je to vlastně velmi jednoduché. Pro praktické zhotovení šroubovicové antény na určitý kmitočet je nejdůležitější (ale i postačující) výchozí rozměrovou informací délka vodiče, potřebná pro její navinutí na zvolený průměr D.

Z různých výpočtů, graficky znázorněných závislostí nebo počítačových programů vyplývá, že pro nejužívanější rozměrové konfigurace krátkých šroubovicových antén - šroubovicových unipólů $\lambda/4$ - potřebujeme obvykle vodič o délce 0,7 až $0{,}5\cdot\lambda$. Využijeme-li pro návrh antény konkrétních údajů z obr. 18 až obr. 20 nebo výpočtu podle vzorce (5), můžeme určit délku vodiče přesněji dosazením potřebných číselných údajů do vzorce pro celkovou délku vodiče (18).

Je výhodné vinout šroubovici s jistou rezervou, tj. poněkud delším vodičem, abychom se do rezonance dostali postupným odstraňováním (odstříháváním) závitů z volného konce šroubovice.

Způsob vinutí bude ovlivněn druhem vodiče, resp. tím, zda půjde o vinutí samonosné, obvyklé na pásmu VKV, nebo o vinutí na pevné nebo pružné izolační jádro, nezbytné u mnohazávitových antén na pásma KV.

Pevným jádrem mohou být nejrůznější plastové(vodovodní) nebo laminátové trubky. Pružným jádrem mohou být laboratorní PE trubky, některé plastové hadice, ale i vnitřní dielektrické PE izolace koaxiálních kabelů.

U antén pro přenosné radiostanice je třeba vzít v úvahu i typ anténního konektoru a volit jádro tak, aby s ním pak celá anténa tvořila kompaktní celek.

I samonosnou šroubovici navineme nejprve na pevné jádro, tj. tyč nebo trubku vhodného průměru. Vineme závit těsně vedle závitu a dobře utahujeme. Hotové vinutí sejmeme s trnu a roztáhneme na potřebnou délku, nejlépe tak, že mezi první dva závity zasuneme drát, jehlu nebo vrtáček a otáčením šroubovice jej protáhneme celou její délkou. Mezi závity tím vznikne rovnoměrná mezera, odpovídající průměru protahovaného předmětu.

Se samonosnými šroubovicemi na VKV, navinutými měděnými (Cu) vodiči o průměru 1 až 2 mm se sice dobře experimentuje, ale v konečném uspořádání musejí být z důvodu větší mechanické odolnosti navlečeny na pružné jádro. Z pevnostních hledisek jsou proto vhodné šroubovice z ocelových pružin, které se vyskytují v různých rozměrových variantách v obchodech s náhradními díly pro automobily. Poměděním získají dobré vf vlastnosti antén zhotovených z měděných vodičů. Zůstanou-li nepoměděny, pak se i na dobré protiváze svým ztrátovým odporem samy poměrně dobře přizpůsobí (viz obr. 30).

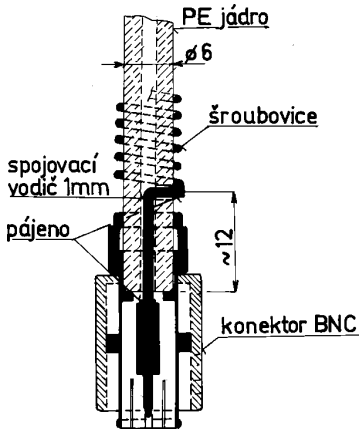
Šroubovice z tenčích vodičů nemohou být samonosné a musí být navinuty na pevné nebo pružné jádro trvale. Nepokryje-li potřebný počet závitů zvolenou výšku (délku) antény, navineme šroubovici s mezerami. Mezery se nejlépe vytvoří druhým, současně vinutým vodičem, který se pak odstraní.

Před konečným nastavením rezonance by měla být celá anténa, včetně konektoru, mechanicky stabilně sestavena. Usnadní se tím přesné a neměnné nastavení rezonančního kmitočtu.

Na obr. 21 je nakresleno připojení kabelového konektoru BNC k malé šroubovici pro 145 MHz, navinuté na pružné polyetylenové (PE) jádro o průměru 6 mm z dielektrické izolace koaxiálního kabelu.

Nedílnou funkční částí krátké šroubovice, tj.(šroubovicového) unipólu $\lambda/4$, je umělá země - protiváha, ve skutečnosti pouzdro ruční radiostanice (včetně ruky operátora) nebo karoserie vozidla. Svým tvarem, rozměry a konstrukcí ovlivňuje vyzařovací i napájecí vlastnosti antény, tj. i její rezonanční kmitočet.

Pro nastavení rezonance je proto nezbytné, aby anténa měla vhodnou protiváhu. Ta se sice může, ale také nemusí shodovat se skutečnou protiváhou, nad kterou pak bude anténa provozována. Svým vlivem na rezonanční kmitočet by ji však měla nahradit, aby se při konečném nastavení antény v de-



Obr. 21. Detail antény pro 145 MHz, zakončené kabelovým konektorem BNC. Anténa je navinuta měděným (Cu) vodičem o průměru 1 mm na pružné polyetylenové (PE) jádro o průměru 6 mm z dielektrické izolace koaxiálního kabelu

finitivních provozních podmínkách její naladění již podstatně neměnilo.

U nezkráceného lineárního unipólu $\lambda/4$ se za dostatečnou protiváhu považuje plošná protiváha o průměru λ.

U zkrácených antén jsou rozměrové nároky na protiváhu menší. Minimální poloměr plošné protiváhy by však neměl být menší než dvojnásobná výška antény. Rezonanční kmitočet malé šroubovice proto nastavíme s dostatečnou přesností, umístíme-li ji tímto způsobem. Např. 15 cm dlouhou šroubovici umístíme přibližně ve středu kruhové vodivé plochy (i nepravidelné) o průměru kolem 60 cm.

Naladění šroubovicové antény

Naladění je konečná úprava rozměrů antény, abychom dosáhli rezonance, resp. přizpůsobení na daném kmitočtu.

Podle podmínek, možností (přístrojového vybavení) i zkušeností můžeme volit z těchto způsobů:

1. Nastavení rezonance vlastní antény pomocí GDO (odděleně od radiostanice.

2. Nastavení na nejsilnější příjem (s připojenou radiostanicí, tj. v provozním uspořádání).

3. Indikace a optimalizace vf výkonu do antény (opět v provozním uspořádání).

4. Měření vzdáleného elektromagnetického pole (v provozním uspořádání).

5. Měření impedance antény odděleně od radiostanice nebo v provozním uspořádání, a to podle použité metody a přístrojů (např. reflektometrem, analyzátorem SWR nebo šumovým můstkem).

Nastavení rezonance antény pomocí GDO

Rezonanci vlastní šroubovice nastavíme nejsnadněji pomocí přístroje GDO (odvozeno z anglického Grid Dip Oscillator, český název sací měřič se neujal).

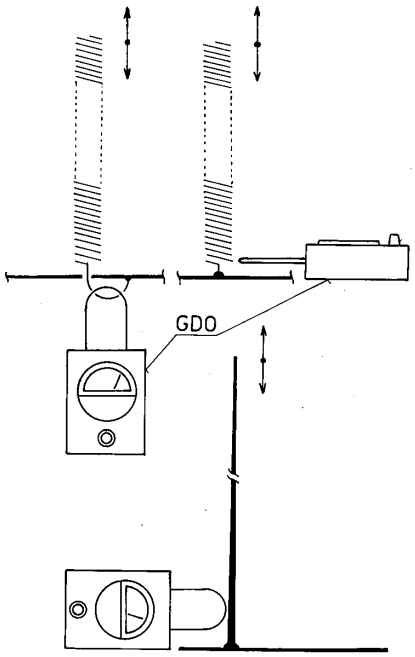
Pro úplnost připomeňme, že činnost tohoto přístroje, v podstatě měřicího oscilátoru, je založena na přenosu vf energie mezi oscilátorem a měřeným pasivním rezonančním *LC* obvodem. Přenos je největší právě na rezonančním kmitočtu. Úbytek energie v oscilačním obvodu měřiče se projeví poklesem amplitudy oscilací, resp. změnou proudu kolektoru nebo báze tranzistoru v oscilátoru. V dobách elektronkových, kdy byl GDO vynalezen, se tento úbytek energie projevoval poklesem (dipem) mřížkového proudu (grid current). Odtud tedy pochází jeho přetrvávající tradiční název GDO, i když v dnešních tranzistorových oscilátorech žádný mřížkový proud neměříme. V anglické amatérské literatuře již nacházíme označení TDO - Transistor Dip Oscillator.

Cívku nebo smyčku GDO navážeme induktivně k měřené šroubovici v místě nízké impedance, tj. v patě antény některým ze způsobů podle obr. 22 a laděním GDO najdeme rezonanci. Vazba by měla být stabilní a co nejvolnější, tj. bez nepříznivého vlivu na rezonanční kmitočet antény. Vzájemná poloha antény a měřicího zařízení by měla zůstat během měření neměnná.

Nejcitelněji ovlivňují rezonanci antény všechny změny v místě vysoké impedance, tj. na horním konci antény. Tam obvykle provádíme potřebné změny a úpravy. Mají na rezonanční kmitočet výrazný vliv.

Rezonanční kmitočet se zvyšuje:

- zkracováním antény zmenšováním počtu závitů (odstřiháváním závitů),



Obr. 22. Rezonanci šroubovicového unipólu $\lambda/4$ snadno nastavíme pomocí GDO. Na obrázku jsou naznačeny nejvhodnější vazby

- novým navinutím na menším průměru,

- novým navinutím tenčím vodičem,

- prodlužování (protahování) délky vinutí s původním, neměnným počtem závitů, je-li celková délka (výška) *h* antény menší než $0{,}1\cdot\lambda$. Smysl tohoto postupu názorně vyplývá z obr. 18 a obr. 20. Mění-li se rozměry šroubovic (*N*, *D* a h/λ) ve shodě s průběhy křivek, tak se rezonanční kmitočty nemění. V oblasti nalevo od křivky se rezonanční kmitočty zvyšují, v oblasti napravo se snižují. „Startuje-li“ se při dolaďování antény změnou výšky ze střední svislé oblasti křivky, pak se rezonanční kmitočet podstatně nemění, resp. se při změně výšky *h* vždy snižuje, protože zůstává napravo od křivky konstantní rezonance. Tento způsob „jemného“ doladění umožňují spíše samonosné šroubovice pro pásma VKV.

Rezonanční kmitočet se snižuje:

- prodlužováním antény přidáváním závitů,

- prodlužováním antény rovným vodičem, resp. jakoukoli kapacitní zátěží na horním konci antény,

- stlačováním šroubovice s původním počtem závitů (zhušťováním závitů) v případě, kdy se výška antény přibližuje výšce minimální (stlačováním závitů se zvětšuje vlastní kapacita vinutí),

- prodlužováním (protahováním) délky vinutí s původním neměnným počtem závitů v případě, kdy se délka antény přibližuje délce antény nezkrácené (viz obr. 18 a obr. 20),

- každým ochranným nebo stabilizačním pouzdrem z izolačního materiálu, které je převlečené přes vinutí (smršťovací bužírka apod.),

- novým navinutím na větším průměru,

- novým navinutím tlustším vodičem.

Nastavení na nejsilnější příjem

Není-li k dispozici GDO ani jiný vhodný přístroj, zkusíme nastavit rezonanci antény pomocí S-metru a nf signálu z reproduktoru nebo sluchátka vlastní radiostanice.

Plynulé změny hlasitosti akustického signálu jsou pro optimální naladění užitečnější než skokové změny indikace S-metru, signalizované měnícím se počtem údajně šestidecibelových (resp. desetidecibelových) „obdélníčků“ na displeji. Je-li k dispozici cejchovní křivka S-metru, zvolíme pro zjištění síly signálu oblast s minimální strmostí křivky, tj. oblast, ve které je změna údaje indikátoru o jeden „obdélníček“ způsobena minimální změnou síly signálu (podrobnější informace o S-metrech a jednoduchém způsobu jejich cejchování byly v PE publikovány v [23]).

Na přijímači vyhledáme vhodnou stanici, nejlépe převáděč. Je-li anténa v rezonanci, pak při pokusu o její rozladění rukou na horním konci antény signál výrazně zeslábne.

Pokud anténa v rezonanci není, mohou nastat dva případy.

Po přiblížení či doteku ruky signál zeslábne. To znamená, že anténa je již „za rezonancí“ směrem k nižším kmitočtům. Kapacitou ruky na horním konci jsme ji dále rozladili k nižším kmitočtům.

Po přiblížení ruky signál zesílí. Rezonance ještě nenastala. Anténa je tedy naladěna na vyšší kmitočet, což je při tomto způsobu ladění výhodné. Dříve zmíněnými úpravami pro snížení rezonančního kmitočtu se totiž k rezonanci budeme přibližovat „shora“, až ji v poslední fázi pohybem ruky bezpečně najdeme.

Anténa se tak nastaví do rezonance v podmínkách reálného provozu (tj. v provozní poloze s reálnou radiostanicí i operátorem) bez přístrojů a jiných pomůcek.

Rezonance ovšem není impedanční přizpůsobení. I když na rezonančním kmitočtu dosahují proudy a napětí v obvodu antény maximální velikosti, což se projeví při příjmu i při vysílání, tak zároveň se ještě nemusí optimálně přenášet vf energie mezi vysílačem a anténou. Rezonující anténa tedy nemusí být k vysílači automaticky impedančně přizpůsobena. Dříve uvedenými způsoby však přizpůsobení antény můžeme nastavit.

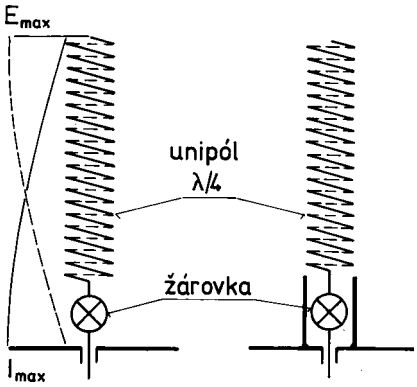
Praxe však ukazuje, že při běžném provozu s ruční radiostanicí vybavenou malou šroubovicí nemá optimální přizpůsobení antény pozorovatelný (či spíše „slyšitelný“) účinek na kvalitu spojení. Je to způsobeno výrazným vlivem ztrátové protiváhy (tj. ruky a těla operátora) na účinnost (resp. ztráty) antény, který činí prakticky „neslyšitelným“ rozdíl mezi anténou cíleně přizpůsobenou a anténou nepřizpůsobenou, ale rezonující. Lze to doložit i výsledky impedančních měření antény pro 145 MHz, realizovaných v různých provozních podmínkách (viz obr. 35) analyzátorem SWR typu MFJ 259.

Zmíněný analyzátor SWR typu MFJ [24, 25] je v současné době zcela nepochybně tím nejvhodnějším i nejdostupnějším přístrojem pro optimální naladění a zejména přizpůsobení většiny antén, včetně šroubovic, v podmínkách amatérského experimentování - a to na profesionální úrovni.

Avšak i ten, kdo jej zatím nevlastní, nebo jej nemá k dispozici, může dosáhnout dobrých výsledků podstatně jednodušší pomůckou.

Indikace a optimalizace vf výkonu do antény

K indikaci a optimalizaci vf výkonu do antény můžeme použít malé žárovky v proudovém maximu, (tj. v patě antény), zapojené v sérii s vodičem šroubovice podle obr. 23 až obr. 25. Svit žárovky opticky, tj. názorně a sugestivně signalizuje intenzitu vf proudů, které vysílač za daných podmínek do antény dodává. Pro mnohé je to možná názornější demonstrace toku vf energie



Obr. 23. Čtvrtvlnný unipól (malou šroubovicovou anténu) lze naladit do rezonance pomocí malé žárovky v patě antény (v proudovém maximu)

do antény, než jakou vyvolá řada přesných číselných údajů na displeji analyzátoru. Intenzita svitu je jednoduchou a jednoznačnou indikací rezonance i přizpůsobení. Čím větší je svit, tím větší vf proud anténa odebírá a tím větší výkon vyzařuje. V amatérské terminologii se dříve užíval přiléhavý výraz - anténa „táhne“ (jako komín). Výhodou „optického ladění“ žárovkou v proudovém maximuje je také zřetelná indikace menších změn, které S-metr ani ucho nezaregistrují.

Užitečně toho lze využít např. při posuzování vlivů různých úprav antény a protiváhy na účinnost vyzařování. Malé, několikadecibelové změny, ke kterým dochází při úpravách nebo změnách protiváhy, S-metr ani ucho zpravidla nezaregistrují, ale svit žárovky je signalizuje zcela zřetelně.

I když je malá žárovka pouhým indikátorem a ne měřicím přístrojem v pravém slova smyslu, měla by mít minimální odpor a malou reaktanci, aby přizpůsobení antény sama výrazně neovlivňovala.

Minimální odpor mají žárovky na malé napětí a větší proud. Pro náš účel vyhoví malé žárovky do kapesních svítilen (2,5 V nebo 3,5 V/0,3 A), které zřetelně žhnou již při 140 mA, což je proud, který dodává 1 W vysílač do přizpůsobené zátěže 50 Ω. Pro větší výkony jsou použitelné běžné autožárovky nebo tzv. sufitky (6 V/2 až 3 W). Budou-li vysílaným výkonem jen slabě rozžhaveny, mohou se v obvodu antény ponechat trvale. Výkon, který samy spotřebují, nebude velký.

Až do kmitočtů kolem 30 MHz mají tyto žárovky malou reaktanci, takže se jejich zařazením (resp. vyřazením) naladění antény prakticky nezmění. Na obr. 26 je pro zajímavost vyznačen průběh impedance dvou žárovek v rozsahu 27 až 300 MHz. Ačkoliv jsou obě žárovky rozměrově zdánlivě stejné, stoupá reaktance u typu 6 V/0,3 A s kmitočtem rychleji než u typu 6,3 V/0,05 A. Teprve lupa odhalí subminiaturní spirálku vlákna, která tuto žárovku rychleji elektricky prodlužuje. Na vyšších kmitočtech tak každá z obou žárovek již ovlivní svojí reaktancí naladění antény, pokud se stává její součástí. Rezonance se posune k nižším kmitočtům. Tento vliv lze omezit zapojením žárovky do napájecího vedení podle obr. 24.

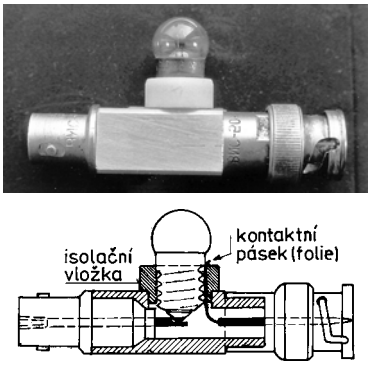
Odporová složka impedance žárovek je „za studena“ menší, než jaká odpovídá jmenovitým stejnosměrným hodnotám napětí a proudu. Je to obecná vlastnost vakuových vláknových svítidel. Jejich odpor stoupá s proudovým zatížením, což je třeba brát v úvahu. Proto by při vyladění neměly svítit naplno, aby přizpůsobení výrazně neovlivňovaly.

Tolik tedy k malým žárovkám - užitečným pomůckám pro pochopení a názornou demonstraci některých projevů anténní „duchařiny“.

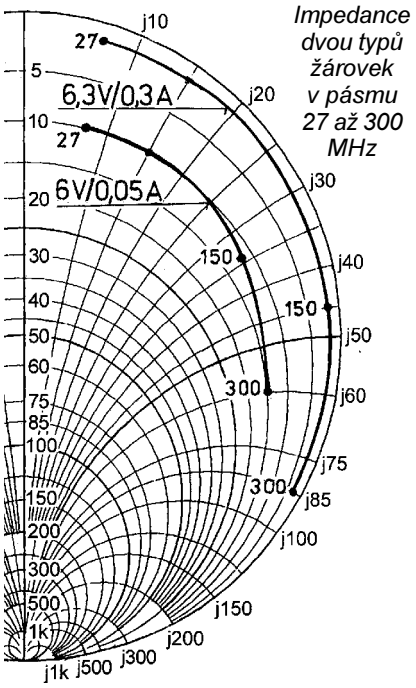
Měření vzdáleného elektromagnetického pole

Měření vzdáleného elektromagnetického pole, vybuzeného vysílačem s nastavovanou, resp. měřenou anténu, je obecně i objektivně nejprůkaznější metodou pro ověření napájecích, ale především vyzařovacích (směrových) vlastností antény v konkrétních provozních podmínkách. Vzhledem k platnosti pricipu reciprocity můžeme použít měřenou anténu jako přijímací. Z různých důvodů je to výhodnější. Na profesio-

Obr. 24. Praktické použití malé žárovky při laborování. Žárovka je součástí antény a na VKV již svojí vlastní reaktancí, resp. elektrickou délkou, ovlivňuje naladění antény. V pásmu CB je tento vliv již zanedbatelný



Obr. 25. Koaxiální adaptér se žárovkou pro indikací vf proudů při proudovém napájení antény zmenšuje vliv žárovky na ladění antény

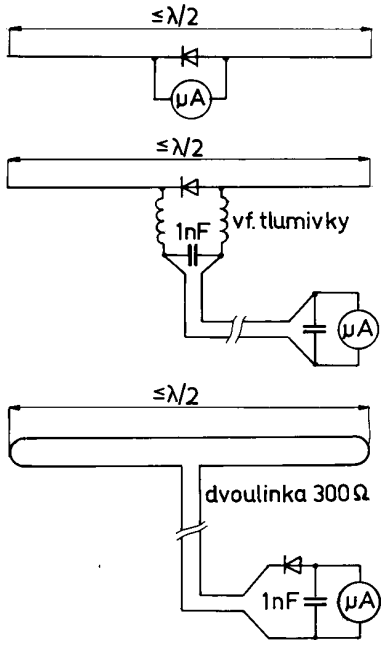


Obr. 26. Impedance dvou typů žárovek v pásmu 27 až 300 MHz

nální úrovni jsou tato měření náročná i nákladná, jak o tom bylo již na těchto stránkách referováno [26]. Při dodržení jistých zásad však můžeme tímto způsobem, a to i se skromnými amatérskými prostředky, úspěšně optimalizovat a objektivně porovnávat různé antény, včetně malých šroubovic. Můžeme tak měřit též směrové vlastnosti při různých vzájemných provozních polohách a orientacích antény (radiostanice) a operátora.

Vyhovujícími amatérskými prostředky pro tato pokusná měření jsou jednoduché diodové indikátory s ručkovými měřidly podle obr. 27, připojené ke shodně polarizované **měřené** anténě.

Ta by měla být umístěna v minimální, ale dostatečné vzdálenosti od antény vysílací. Pro pouhé nastavování



Obr. 27. Jednoduché diodové indikátory elektromagnetického pole

napájecích vlastností a porovnávání různých všesměrových vertikálně polarizovaných antén stejného typu, umístěných vždy ve stejném místě, postačí minimální vzdálenost 2 až 4·λ.

Pro přesnější měření směrových vlastností antény nebo anténní soustavy by měla být splněna podmínka pro minimální vzdálenost *r* mezi měřenou a monitorovací anténou:

$$r \leq 2 \cdot D^2/\lambda, \qquad (20)$$

kde *D* je největší efektivní rozměr (apertura) měřené antény, v našem případě anténní soustavy „operátor-anténa" (pokud bychom chtěli měřit vliv vzájemné orientace operátora a radiostanice s anténou na deformaci původně všesměrového vyzařování samotné antény).

V praxi se volí spíše větší vzdálenost, která je omezena citlivostí použitých indikátorů a výkonem vysílače. Během měření by se nemělo měnit vzájemné uspořádání jednotlivých zařízení a jejich obsluhy. Při větší vzájemné vzdálenosti antén se měření usnadní tím, že se diodové a filtrační obvody oddělí od vlastních ručkových měřidel stejnosměrným vedením (nejlépe kroucenou šňůrou), které se vede nejkratším směrem a po zemi k obsluze měřené antény, pokud je použita jako anténa vysílací.

Jednoduché neocejchované diodové indikátory s ručkovými měřidly dobře vyhoví jak pro naladění antény, tak pro relativní, kvalitativní porovnávání různých antén a jejich úprav. Nevyhoví však náročnějším požadavkům na kvantitativní (číselné) vyjádření rozdílů, zpravidla v dB. Příčinou jsou nelineární charakteristiky používaných diod, zejména v oblasti minimálních proudů, kde je i po případném ocejchování přesnější čtení hodnot na stěsnané stupnici nesnadné.

Jak se v praxi potvrdilo, lze tuto potíž odstranit lineárním převodníkem střídavých vf napětí na napětí stejnosměrná, realizovaným formou měřicí sondy s velkým dynamickým rozsahem. Doplněna běžným multimetrem, změní jednoduchý diodový indikátor v poměrně přesný měřicí přístroj. Uplatní se tedy dobře nejen při měření intenzity elektromagnetického pole, ale např. i jako doplněk diodových reflektometrů, kde usnadní přesnější čtení větších hodnot *ČSV*, běžným neupraveným reflektometrem neuskutečnitelné.

Podrobný konstrukční popis převodníku vf na ss napětí byl publikován v PE již v roce 1997 [27].

Měření impedance antény odděleně od radiostanice nebo v provozním uspořádání

Měření impedance jakékoli antény za účelem jejího přizpůsobení k definované impedanci napáječe (resp. vysílače) vyžaduje, aby byly zjištěny obě složky impedance - reálná(odporová) a jalová neboli imaginární (reaktanční, a to kapacitní nebo indukční). Podle naměřených hodnot se pak upraví rozměry antény nebo se navrhne vhodný přizpůsobovací obvod.

To je standardní profesionální postup, v amatérských podmínkách donedávna stěží realizovatelný.

Měří se buď ve standardních, přesně definovaných podmínkách, které se podstatně neliší od podmínek, za kterých budou antény provozovány, nebo se měří v nestandardních podmínkách jejich reálného použití. První způsob je vhodný též pro některá systematická měření antén. Druhý způsob je nezbytný u antén provozovaných v nestandardních podmínkách, jakými jsou i antény pro přenosné radiostanice.

Všechny přístroje, včetně vf a nf síťových přívodů je třeba při každém měření uspořádat tak, aby neovlivňovaly měřené údaje. Není to obtížné u antén (a těch je většina), které je možné měřit ve zmíněných standardních podmínkách, za kterých budou provozovány. Donedávna to však bylo obtížné u antén připojených bezprostředně k vysílači, který s nimi tvoří funkční celek, tj. právě u ručních radiostanic. Řešilo se to např. pečlivě naladěnými oddělovacími čtvrtvlnnými obvody (rukávy), které vysokofrekvenčně oddělovaly měřenou anténu, upevněnou na maketě radiostanice (obr. 28), od vlastního měřiče impedance. Takové měřicí zařízení bývalo donedávna příliš rozměrné, takže nebylo možné připojit měřicí přístroj mezi malou přenosnou radiostanici a anténu bez výrazného zkreslení výsledků. Jistým řešením může být rozměrově malý, pečlivě stíněný reflektometr, připojený bezprostředně (konektor na konektor) mezi anténu a vysílač. Ve svém nejjednodušším provedení to však není měřič impedance, ale pouhý indikátor přizpůsobení. Je jím ostatně i vestavěný reflektometr u většiny KV transceiverů. Přenosné ani mobilní radiostanice jím však většinou vybaveny nejsou.

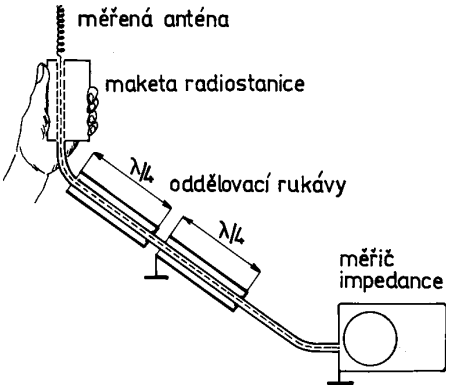
Zásadní změnu vnesla do této praxe nová generace přístrojů - analyzátorů ČSV, jejichž realizaci umožnil rozvoj mikrominiaturizace a výpočetní techniky.

Tzv. analyzátory ČSV jsou malé přístroje pro měření vlastností antén, napájecích vedení a *LC* obvodů [26]. Kompaktní a poměrně malé přístroje jsou vybaveny proměnným oscilátorem s rozsahy přepínanými od KV až do VKV pásem, vf impedančním můstkem, kmitočtovým čítačem a osmibitovým mikropočítačem s pevně uloženým programem, který z poměrů na vf můstku vyhodnotí a na displeji zobrazí změřené hodnoty všech potřebných parametrů.

V základní nabídce při měření impedance to jsou:

- kmitočet v MHz,
- ČSV,
- reálná (odporová) složka impedance v Ω,
- jalová (reaktanční) složka impedance v Ω.

Ze zobrazených údajů lze okamžitě vytěžit potřebné informace o vlastnos-



Obr. 28. Měření napájecích vlastností antén na ručních radiostanicích. Nepříznivý vliv rozměrných přístrojů je nutné eliminovat dvojicí čtvrtvlnných rukávů na měřicím kabelu. Naladění rukávů a uspořádání celé sestavy není snadné

tech antény, realizovat odpovídající změny a jejich vliv na impedanci ihned překontrolovat.

Zásadní změnou je tedy možnost měřit impedanci antény v podmínkách, odpovídajících praktickým provozním podmínkám, kdy operátor drží radiostanici v ruce. Analyzátor ČSV, konkrétně typ MFJ 259B, resp. novější verze MFJ 269, se svými rozměry (10x6x17 cm) podstatně neliší od rozměrů přenosných (ručních) radiostanic, takže měřenou impedanci připojené antény lze považovat za impedanci skutečnou.

Výsledky impedančních měření

Napájecí, tzn. impedanční vlastnosti malých šroubovicových antén, posuzované z různých hledisek na předchozích stránkách, doplňují výsledky měření, znázorněné graficky v souřadnicové síti Smithova diagramu na obr. 30 až obr. 35. Měření byla realizována SWR analyzátorem MFJ 259B (resp. MFJ 269) nebo Z-g diagrafem ZDU od firmy Rohde&Schwarz. Výsledky měření se od sebe prakticky nelišily. Měření Zg diagrafem však bylo pracnější a složitější.

Kruhový diagram Smithův navrhl v roce 1939 americký inženýr P. H. Smith [27] jako pomůcku, či spíše nástroj grafické početní metody, která nahradila obtížné matematické výpočty při řešení vf obvodů, napáječů, přizpůsobovacích obvodů, antén apod.

V krátké době se stal nezbytnou pomůckou každého anténáře a nezanikl ani v současnosti, kdy grafické i matematické výpočty řeší přesně a rychle počítače. Je neocenitelný a nezastupitelný pro názorné a srozumitelné vysvětlení všech problému kolem napájení a přizpůsobování antén.

Kruhová souřadnicová síť Smithova diagramu je však také vhodným prostředím pro přehledné znázornění impedančních charakteristik antén, včetně jejich přizpůsobení k dané vlnové impedanci napájecího vedení. Pro tento účel jsme jej také použili.

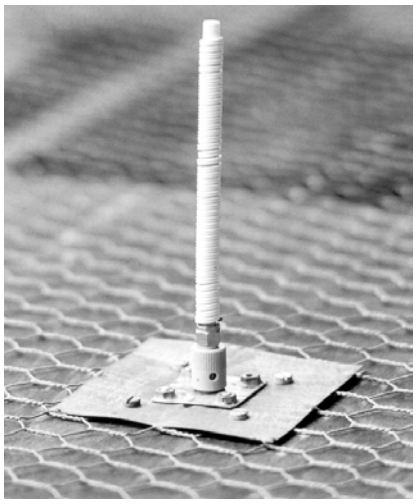
Vzhledem ke konkrétní impedanci napájecího vedení jsou původní normované hodnoty reálných (odporových) a jalových (reaktančních) složek impedance přepočteny na 50 Ω. Proto odpovídají skutečným hodnotám, naměřeným a znázorněným na displeji analyzátoru MFJ, se kterým byla měření provedena. Tatáž měření s velmi podobnými výsledky byla nejprve pro kontrolu uskutečněna Z-g diagrafem. Smithovy diagramy na obr. 30 až obr. 35 se tak svým vzhledem poněkud liší od obvyklého znázornění, na které jsou odborněji fundovaní čtenáři zvyklí...

Většina impedančních charakteristik byla měřena s anténou typu šroubovicový unipól $\lambda/4$ pro pásmo 145 MHz s těmito základními rozměrovými parametry:

- výška antény h = 95 mm,
- celkový počet závitů N = 53,
- vnitřní průměr vinutí D = 6 mm,
- průměr vodiče d = 1 mm.

První série měření, při kterých se měly ověřit, vzájemně porovnat a názorně demonstrovat vlastnosti samotné šroubovice, byla realizována na univerzální rovinné protiváze o rozměrech 150x150 cm (obr. 29), původně určené pro měření běžných, nezkrácených unipólů na VKV pásma. V kmitočtovém rozsahu VKV lze považovat tuto protiváhu (resp. umělou zem) za „ideální“ (bezeztrátovou), která prakticky nezvětšuje ztrátový odpor měřených antén. Podmínky měření se tak velmi přibližují reálným podmínkám mobilních antén na karoseriích vozidel. Tyto antény proto (po instalaci na vozidlo) již nevyžadují další úpravy, ale jen obvyklou kontrolu přizpůsobení - ČSV.

Šroubovice, zakončené konektorem BNC podle obr. 21 byly k měřicímu zařízení, umístěnému za protiváhou, připojovány koaxiálním kabelem, jehož délka i útlum byly kompenzovány (odečteny), takže znázorněné impedanční křivky platí na konektoru antény.

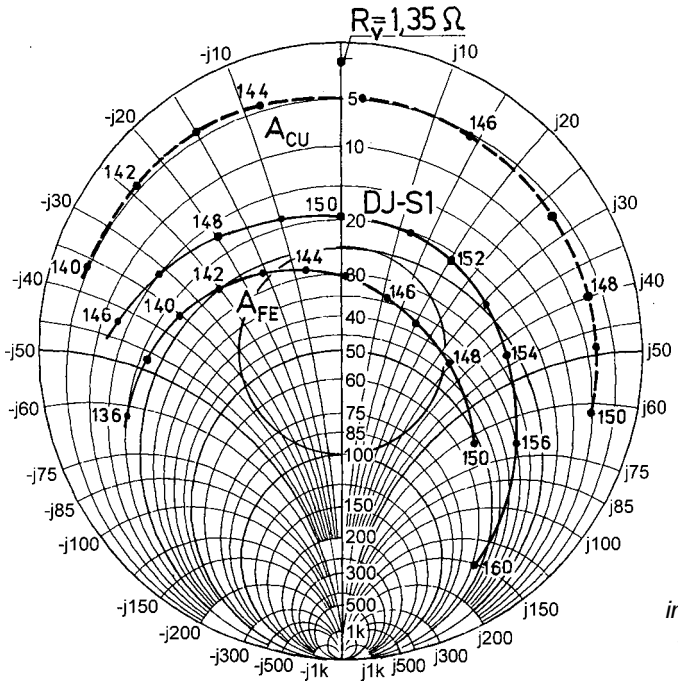


Obr. 29. Měření impedance malé šroubovicové antény pro 145 MHz na rovinné protiváze o rozměrech 150x150 cm. Na snímku je skládaný šroubovicový unipól, jehož impedanční křivky jsou na obr. 33

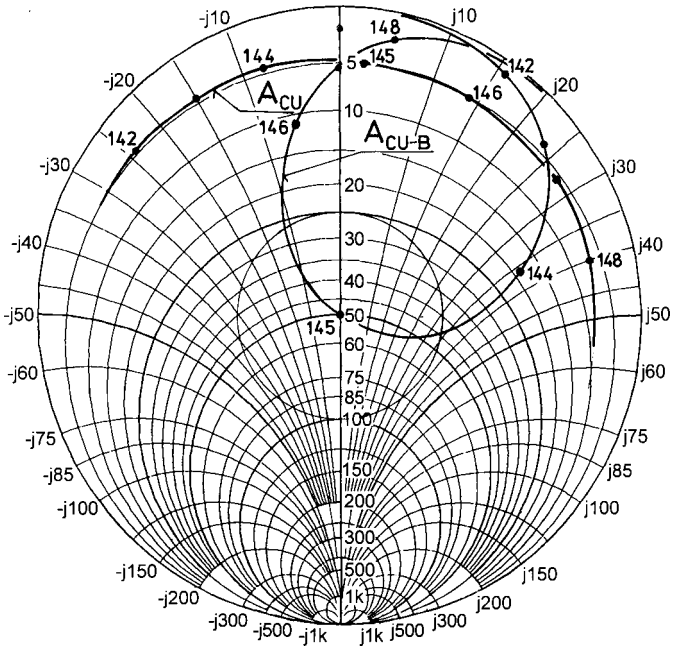
Druhá, menší série měření pak měla ověřit napájecí vlastnosti antén pro přenosné radiostanice ve skutečných provozních podmínkách, tj. s anténou instalovanou „jakoby“ na přenosné radiostanici, ve skutečnosti na analyzátoru MFJ, který se svými rozměry přenosným radiostanicím přibližuje.

Vliv povrchové úpravy vodiče na ztrátový odpor, resp. na účinnost malé šroubovicové antény, znázorňují impedanční křivky na obr. 30.

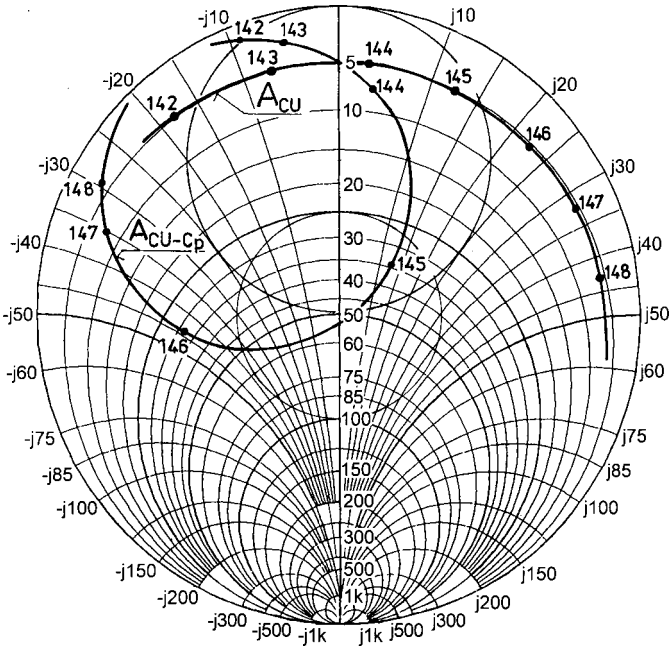
Při stanovení účinnosti krátké šroubovicové antény - unipólu vycházíme ze vzorce (8) pro její vyzařovací odpor R_V.



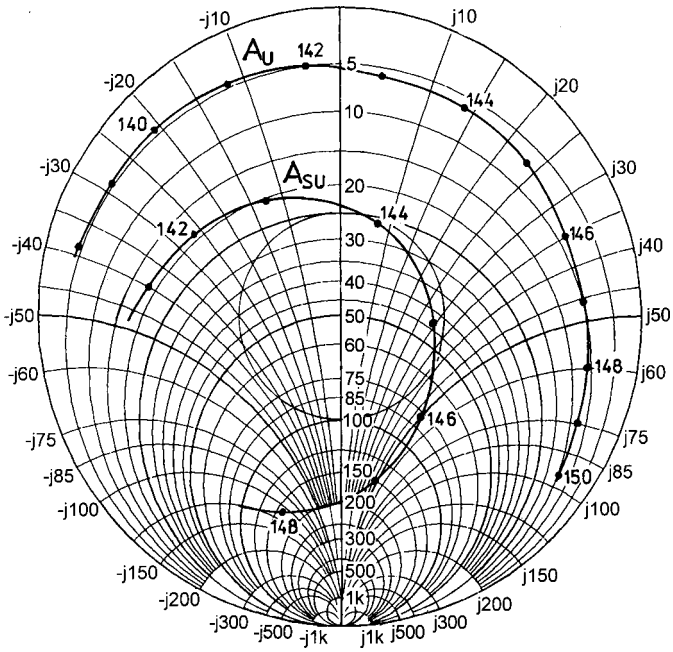
Obr. 30. Vliv povrchové úpravy na impedanci malé šroubovicové antény



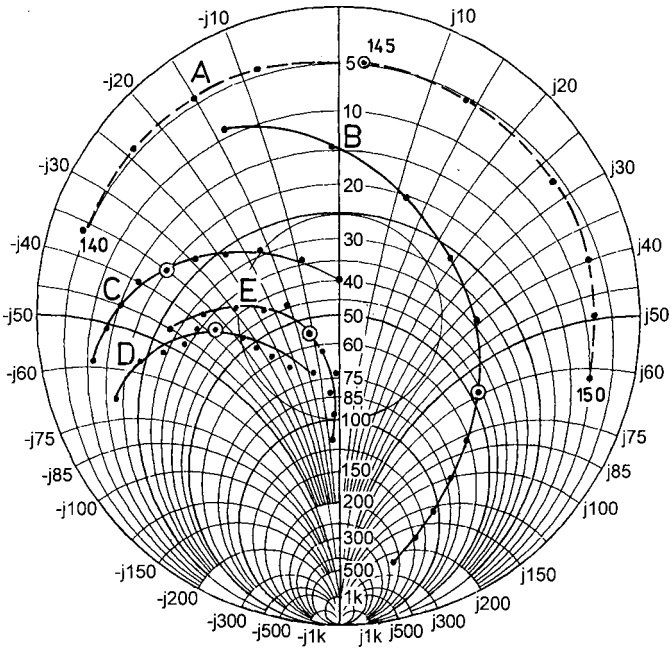
Obr. 31. Impedance bočníkově přizpůsobené antény



Obr. 32. Impedance antény přizpůsobené paralelním kondenzátorem



Obr. 33. Impedance skládaného šroubovicového unipólu



Obr. 34. Impedance šroubovicové antény v provozních podmínkách

Měřená anténa, šroubovicový unipól o výšce h = 95 mm, tj. 0,046·λ na 145 MHz (λ = 2069 mm), s 53 závity navinutými vodičem o průměru 1 mm na průměru 6 mm, má podle vzorce (8) vyzařovací odpor R_V = 1,35 Ω. Z této hodnoty vycházíme při úvahách o její pravděpodobné účinnosti.

Písmeny $\mathbf{A_{CU}}$ je označena šroubovice navinutá holým měděným vodičem, která se na rezonančním kmitočtu (necelých 145 MHz) chová jako činný odpor R_A = 5 Ω. Tuto hodnotu zjistíme na Smithově diagramu na průsečíku reálné osy s impedanční křivkou.

Rozdíl R_A a R_V je pravděpodobným ztrátovým odporem R_Z vlastní šroubovicové antény. R_Z je tedy 5 - 1,35 = = 3,65 Ω. Dosazením do vzorce (16) vypočteme účinnost η = 27 %. Tento údaj však platí jen pro anténu v měřeném uspořádání (na dobré protiváze) a při teoretickém napájení ze zdroje o vlnové impedanci Z_0 = 5 Ω nebo při bezeztrátovém přizpůsobení antény na obvyklých 50 Ω transformací impedance v poměru 1 : 10. V tomto poměru se totiž transformuje R_V i R_Z, takže poměr obou odporů, a tím i účinnost, zůstanou zachovány (neuplatní-li se ovšem další ztrátové odpory přizpůsobovacího (transformačního) obvodu, se kterými je třeba při tak velkém transformačním poměru počítat).

Pokud by byla anténa provozována bez přizpůsobení, tj. s ČSV = 10 (což by bylo prakticky možné buď přímo na měřicí protiváze nebo na střeše vozidla, tj. v podmínkách, které by nezvětšovaly ztrátový odpor antény), zmenšila by se účinnost o ztráty nepřizpůsobením (teoreticky 0,33x) na celkových 9 %. To ovšem pouze za předpokladu, že by vysílač i s tak značným nepřizpůsobením dodával původní výkon, což je nepravděpodobné.

To jsou však spíše jen teoretické úvahy, užitečné snad jen pro názornější objasnění celé problematiky.

Prakticky stejný impedanční průběh jako šroubovice $\mathbf{A_{CU}}$ mají šroubovice navinuté stejně tlustým měděným vodičem lakovaným nebo postříbřeným, ale i poměděným vodičem ocelovým. Případné rozdíly zanikají v rozptylu měřených hodnot. Stříbření vodičů tedy nemá konkrétně u této antény praktický význam.

Šroubovice $\mathbf{A_{FE}}$, navinutá holým ocelovým, povrchově neupraveným vo-

dičem shodného průměru, se na stejném rezonančním kmitočtu již chová jako činný odpor R_A = 30 Ω!! Tuto hodnotu zjistíme opět na obr. 30 na průsečíku reálné osy s impedanční křivkou. Zároveň vidíme, že anténa je v kmitočtovém pásmu 143 až 148 MHz impedančně přizpůsobena, když v uvedeném rozsahu kmitočtů nepřekračuje ČSV velikost 2 (v tomto rozsahu kmitočtů leží impedanční křivka uvnitř kružnice se středem na reálné ose v hodnotě odporu 50 Ω, která vymezuje oblast s ČSV ≤ 2).

Je jasné, že účinnost antény $\mathbf{A_{FE}}$ je podstatně menší než účinnost antény $\mathbf{A_{CU}}$. Podle předchozího postupu zjišťujeme, že R_Z = 30 - 1,35 = 28,65 Ω (počítáme se stejným R_V protože výška antény se nezměnila). Po dosazení do vzorce (16) dostáváme účinnost η = = 4,5 % (!!), a to i na dobré protiváze.

Anténa je však přizpůsobena, takže zatěžuje optimálně vysílač radiostanice. Účinnost je však malá.

Písmeny **DJ-S1** je na obr. 30 označena šroubovice z příslušenství „ručky" ALINCO DJ-S1, skrytá v pryžovém ochranném krytu.

Na rezonančním kmitočtu 150 MHz se chová jako činný odpor 20 Ω. Výšce h = 80 mm odpovídá vyzařovací odpor R_V = 1,024 Ω a účinnost 5,1 %. Šroubovicí je poměděná ocelová pružina. Účinnost zřejmě ovlivňuje pryžový kryt, jehož působením koroduje poměděný povrch šroubovice.

Anténu je možno považovat za typického představitele této kategorie antén.

Různé způsoby přizpůsobení znázorňují impedanční charakteristiky na obr. 31 až obr. 34. Přizpůsobovanou anténou je ve všech případech rozměrově shodná anténa jako v předchozím měření, navinutá měděným vodičem a měřená za stejných podmínek.

Bočníkové přizpůsobení (podle obr. 16b) šroubovicového unipólu znázorňuje impedanční charakteristika $\mathbf{A_{CU\text{-}B}}$ na obr. 31. Pro porovnání je zakreslena i impedanční charakteristika nepřizpůsobené šroubovice $\mathbf{A_{CU}}$, připojené podle obr. 16a.

Přizpůsobení bylo nastaveno experimentálně vyhledáním vhodné závitové odbočky pro napájení antény. Za daných podmínek bylo nutno odbočku posunout až na **první** závit od uzemněného konce vinutí. Poměrně kritické nastavení je zřejmé i z úzkopásmového přizpůsobení antény, když ČSV ≤ 2 je splněno jen v oblasti 1 MHz (mezi 144,5 a 145,5 MHz) a na krajních kmitočtech celého amatérského pásma 145 MHz již překračuje velikost ČSV hodnotu 4!!

Z přizpůsobované antény se tak vlastně stal selektivní filtr, za jistých provozních okolností i výhodný, jak o tom byla již dříve zmínka. Kritické nastavení ovlivňují zejména malé ztrátové odpory i malý vyzařovací odpor vlastní šroubovice, umístěné na kvalitní protiváze. Pokud by anténa byla provozována za podmínek, za jakých byla měřena, tj. ve stabilním prostředí bez proměnlivých okolních vlivů, bylo by možné takové přizpůsobení realizovat a mělo by také smysl.

V praxi jsou však tyto antény (především na pásmech VKV) provozovány za podmínek (viz předchozí kapitoly), kdy optimalizace přizpůsobení je zbytečná a vzhledem k proměnlivým provozním podmínkám ani není realizovatelná.

Bočníkové přizpůsobení se proto uplatní spíše při symetrickém napájení krátkých šroubovicových dipólů na pásmech KV, jak je naznačeno na obr. 20b.

Přizpůsobení **paralelním kondenzátorem** podle obr. 16c znázorňuje impedanční charakteristika přizpůsobené antény $\mathbf{A_{CU\text{-}Cp}}$ na obr. 32. I na tomto obrázku je pro porovnání zakreslena impedanční charakteristika nepřizpůsobené šroubovice $\mathbf{A_{CU}}$, připojené podle obr. 16a bezprostředně ke konektoru protiváhy.

Konečné přizpůsobení bylo vylaborováno opět experimentálně. Postup je podrobněji popsán v kapitole Impedance na str. 9. Vypočtená kapacita kompenzačního kondenzátoru byla nakonec korigována na konečnou hodnotu 51 pF(sestavena z kapacit 39 a 12 pF), která v daných podmínkách zabezpečila dobré přizpůsobení, ale jen v úzkém pásmu 1 MHz, a to opět z důvodů již uvedených.

Příznivou impedanční charakteristiku má z hlediska přizpůsobení **skládaný šroubovicový unipól** (zmíněný v úvodní části na str. 10) navinutý miniaturní bílou dvoulinkou, který má 44 těsně vinutých závitů na jádru z PE o průměru 6 mm. Impedanční charakteristiku tohoto unipólu vyjadřuje křivka $\mathbf{A_{SU}}$ na obr. 33.

Hodnoty impedancí i samotný tvar a průběh impedanční křivky jsou typické pro běžné skládané unipóly. Potvrzuje se tak, že i u skládaného šroubovicového unipólu lze uplatnit transformační princip, jak jej známe u běžného skládaného unipólu (dipólu) vytvořeného dvěma stejnými vodiči, který zvětšuje původní impedanci 4x.

Impedanční charakteristika téhož šroubovicového unipólu neskládaného $\mathbf{A_U}$ (oba vodiče dvoulinky jsou spolu na koncích spojeny) přetíná reálnou osu diagramu na čtvrtinové impedanci (resp. odporu).

Z naměřených hodnot můžeme spekulovat o účinosti antény $\mathbf{A_U}$. Výšce h = 110 mm (0,05·λ) odpovídá R_V = = 1,8 Ω a při R_A = 6 Ω vychází účinnost η = 30 %. Tuto účinnost má anténa $\mathbf{A_U}$ při napájení ze zdroje o odporu 6 Ω, při napájení ze zdroje o odporu 50 Ω by měla účinnost menší.

Transformací impedance v poměru 1 : 4 při použití skládané šroubovice $\mathbf{A_{SU}}$ se účinnost nezmění, protože ve stejném poměru se transformují i oba odpory. Anténa $\mathbf{A_{SU}}$ je však lépe přizpůsobena k vlnové impedanci napáječe 50 Ω a bude mít účinnost 30 % i při napájení ze zdroje o odporu 50 Ω (při instalaci na dobré protiváze).

Všechna měření na 145 MHz, znázorněna impedančními charakteristikami na obr. 30 až obr. 33, charakterizují napájecí vlastnosti antén na „ideální protiváze".

Při praktickém použití ji však nahradí pouzdro radiostanice spolu s operátorem. Analyzátorem MFJ jsme se pokusili změřit impedanci za takto simulovaných provozních podmínek.

Výsledky měření jsou na obr. 34. Měřilo se na kmitočtech v rozsahu 140 až 150 MHz s odstupem 1 MHz. Rezonanční kmitočet 145 MHz je zakroužkován.

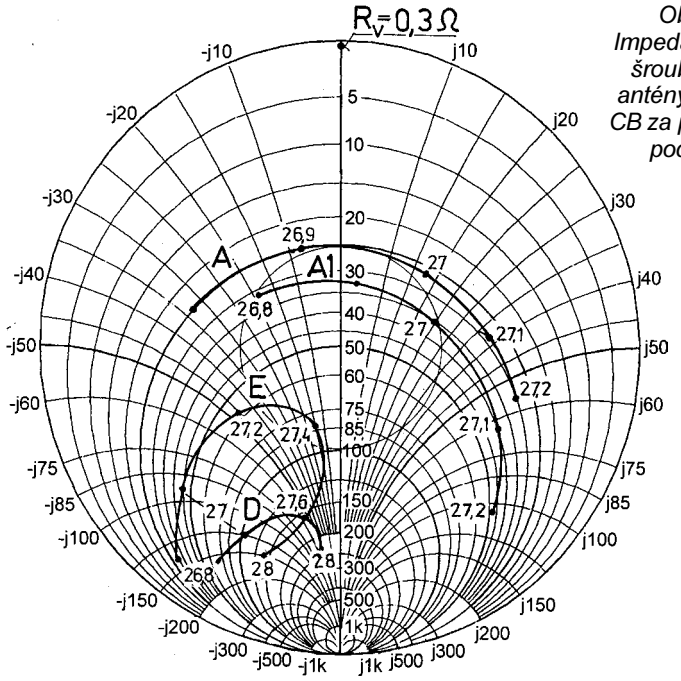
Křivka **A** - opakované měření antény instalované na protiváze 150 x 150 cm. Měřicí přístroj je pod protiváhou. Znázorněno pro porovnání.

Křivka **B** - Analyzátor MFJ s připojenou anténou leží uprostřed „izolovaně" na protiváze o rozměrech 150x150 cm (není k ní galvanicky připojen). Vliv protiváhy je menší, ztráty větší, takže větší je i vstupní odpor na novém, nižším rezonančním kmitočtu. Anténu totiž prodloužila kapacitní vazba mezi pouzdrem radiostanice a protiváhou.

Křivka **C** - Analyzátor MFJ s připojenou anténou leží volně na stole. V jeho blízkosti nejsou žádné vodivé předměty. „Zhuštění" kmitočtů zřetelně signalizuje, že příčinou celkově vyšší impedance mohou být zřejmě větší ztrátové odpory.

Křivka **D** - Analyzátor MFJ s připojenou anténou drží operátor v ruce v provozní poloze asi 30 cm před obličejem (obr. 35). Impedance má již poměrně příznivý průběh vlivem ztrát v „ruční protivá-

Obr. 35. Měření impedance šroubovicové antény analyzátorem MFJ v „provozních podmínkách"



Obr. 36. Impedance malé šroubovicové antény v pásmu CB za provozních podmínek

Obr. 37. Čtvrtvlnná „protiváha“ připojená k ručce

ze“, takže anténa se jeví jako širokopásmovější (kmitočty jsou proti výchozí křivce **A** značně „zhuštěny“). Průběh impedance znázorněný křivkou **D** lze považovat za reálný, přibližující se poměrům při praktickému provozu. Proti původním předpokladům ani nemusí šroubovice své přizpůsobení podporovat nekvalitním ocelovým (Fe) vodičem.

Křivka **E** - Analyzátor MFJ s připojenou anténou drží operátor v ruce, s pouzdrem přístroje těsně u těla. Anténa je orientována vodorovně, kolmo k tělu. Není to tedy obvyklá provozní poloha. Průběh impedance však signalizuje optimální přizpůsobení (ČSV < 2) na rezonačním kmitočtu. Toto, původně neplánované měření, mělo doplnit některé poznatky, zjištěné při experimentování s „žárovkovou“ optimalizací provozních poměrů, kdy se např. prokázalo, že v uvedené poloze se svit žárovky, a tím i proud (resp. vf výkon) do antény zřetelně zvětšuje. Při nedostatečném zdroji napájecího napětí to bylo pro zvětšení efektu ještě provázeno výpadky vysílače, který neměl dost stejnosměrné energie pro zásobení dobře „táhnoucí“ antény potřebnou vf energií.

Měření impedance analyzátorem MFJ tak zřetelně prokázalo, že v tomto případě je zvětšená účinnost vyzařování na původním rezonančním kmitočtu antény (145 MHz) příznivě ovlivněna lepší vazbou na kvalitnější část protiváhy, tj. přímo na tělo operátora.

Stejný efekt měla uvedená poloha vysílače i na pásmu CB, kde byl zvětšený výkon do antény sledován a potvrzen současným měřením vzdáleného elektromagnetického pole.

Není jasné, do jaké míry je tento efekt ještě podporován převládající radiální složkou elektrického pole v těsné blízkosti vodivých objektů, k jejichž povrchu jsou siločáry elektrického pole vždy kolmé. O tom však blíže v následující kapitole.

Výsledky impedančních měření v pásmu CB jsou na obr. 36. Měřila se anténa z příslušenství starší radiostanice ALLAMAT 93 o výšce h = 240 mm (tj. 0,0216·λ) na kmitočtu 27 MHz (λ = = 11,11 m) - křivka A. Teoreticky má tak krátká anténa nepatrný vyzařovací odpor. Podle vzorce (8) je R_v = 0,3 Ω! Reálná složka impedance antény měřené nad protiváhou 150x150 cm však činí 25 Ω. Za teoretického předpokladu, že se vyzařovací odpor antény nad touto protiváhou nezměnil, měla by činit její účinnost pouze 1,2 %. Vlastní ztráty mnohazávitové šroubovice jsou na pásmu CB již tak velké, že je i nad protiváhou poměrně slušně přizpůsobena. Porovnejme to s impedanční křivkou A na obr. 34, změřenou za stejných podmínek na třináctkrát vyšším kmitočtu, i když při stejné protiváze (150x150 cm).

Prakticky stejný průběh má impedance jiné podobné profesionální antény, viz průběh A1.

Pro úplnost ještě doplňujeme, že v obou případech nejde o klasické, rovnoměrně vinuté šroubovice, ale o šroubovicové antény se soustředěnou indukčností uprostřed délky 240 mm.

Shodné podmínky byly i při měření impedančních křivek D a E na obr. 34 a obr. 36, kdy byla tatáž anténa A měřena analyzátorem MFJ „jakoby“ v podmínkách praktického provozu. Křivky D i E mají v obou případech stejný charakter, přestože byly získány na značně rozdílných kmitočtech. Výhodnější průběh křivky E na obr. 37 je i na pásmu CB zřejmě ovlivněn těsnější vazbou na kvalitnější (vodivější) část „tělesné protiváhy“, kdy se impedance přibližuje spíše poměrům nad dobrou protiváhou.

Při běžném provozu jsou však změny v úrovni přijímaných (resp. vysílaných) signálů při optimalizovaných polohách radiostanice sotva registrovatelné. Je dobré však o nich vědět. Proto jsou výsledky podobných experimentů nejen zajímavé, ale i poučné.

Platí to i o dalším pokusu, který se týká úpravy protiváhy. Tato úprava se však již může projevit na kvalitě spojení zřetelněji.

Intenzita vzdáleného elektromagnetického pole se shodně se silnějším svitem žárovky dále zvětšila po galvanickém připojení samostatného čtvrtvlnného vodiče k pouzdru ručky (optimálně přímo ke kostře anténního konektoru) - viz obr. 37. Připojený vodič do značné míry převzal funkci protiváhy a změnil konfiguraci celého systému v jakýsi nesymetrický, částečně zkrácený půlvlnný dipól, a to se všemi příznivými důsledky, které takovou úpravu zákonitě provázejí - zvětšil se vyzařovací odpor a zejména se zmen-

Obr. 38. „Malá tykadla“ - zkrácený půlvlnný dipól pro pásmo CB

šily odpory ztrátové. „Ztrátové tělo“ totiž bylo do jisté míry z obvodu vyřazeno.

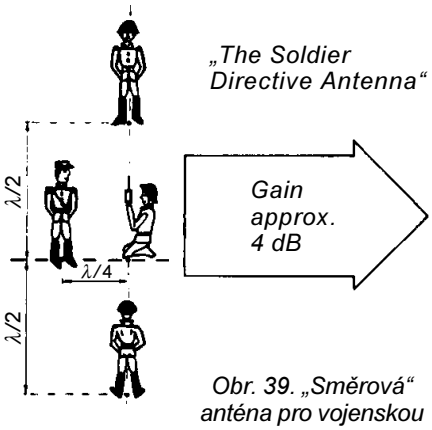
Na pámu CB způsobil stejný efekt **vyladěný** čtvrtvlnný vodič, **zkrácený** na přijatelnou délku 1 m vloženou soustředěnou indukčností (cívkou). Prokazatelné jednostranné zvětšení úrovně vysílaných resp. přijímaných signálů se pohybuje kolem 6 až 9 dB. Při oboustranné úpravě může být zvětšení úrovně signálů dvojnásobné, což má již dobře patrný vliv na kvalitu spojení. Při běžné komunikaci se sotva vyplatí provozovat ručku s tímto přídavným vodičem. Za jistých okolností však může mít taková úprava mimořádný význam.

Zřetelně větší účinnost vyzařování způsobila zřejmě ta okolnost, že se z původní čtvrtvlnné (i když zkrácené) unipólové, na protiváze **závislé** antény, stala na protiváze **nezávislá** anténa půlvlnná (i když poněkud nedokonalá). Tyto antény se v sortimentu běžně vyráběných antén nevyskytují. Nejsou však nerealizovatelné, jak je vidět ze snímku na obr. 38, kde vidíme tzv. „malá tykadla“, svislý zkrácený půlvlnný dipól 80 cm dlouhý pro pásmo CB v provozní poloze s ručkou (SYS 101). V porovnání s běžným „pendrekem“ poloviční délky (40 cm) vyzařuje a přijímá tento zkrácený půlvlnný dipól s prokazatelným ziskem 9 až 10 dB.

Vyzařovací vlastnosti antén na mobilních a přenosných radiostanicích

Snad každý z vlastní zkušenosti ví, že může zlepšit příjem rozhlasu dotekem anténní zdířky přijímače, provozovaného bez antény. Při sledování televize přijímačem s vnitřní anténou závisí kvalita příjmu na pohybu a rozmístění osob v místnosti.

Je tedy zřejmé, že lidské tělo výrazně ovlivňuje příjem elektromagnetických vln. Polovodivý charakter organických tkání je příčinou toho, že tento vliv může být tak značný, že tělo samo o sobě může vytvářet skutečný anténní prvek. Podle principu reciprocity se vliv těla musí nutně uplatňovat i při vysílání, a v mezním případě může působit i jako vysílací anténa, resp. jako aktivní nebo pasivní člen anténního systému.



Obr. 39. „Směrová“ anténa pro vojenskou radiostanici

Tento vliv se zesiluje, jestliže rozměry těla odpovídají rezonanci na provozním kmitočtu. Obecně se rezonanční jevy lidského těla objevují v rozsahu kmitočtů 50 až 200 MHz. Bylo zjištěno, že u dospělé osoby normálního vzrůstu dochází k první rezonanci někde v blízkosti 80 MHz. Druhá rezonance nastává asi na dvojnásobném kmitočtu. Údajně bylo dokonce pozorováno, že je ovlivňována poměrem délky k tloušťce tak, jak je to obvyklé u dipólových antén.

Lidského těla se tedy dá využít jako anténního prvku. Tak lze např. podle obr. 39 vytvořit vhodným rozestavením osob čtyřprvkový anténní systém, údajně ze zesílením kolem 4 dB v předním směru, sestavený z budicího (aktivního) prvku a tří pasivních prvků reflektorových [13]. Naznačená konfigurace „anténních prvků“ se s přijatelnými vzdálenostmi (1 až 2 m) mezi osobami jeví jako reálná nejspíše v kmitočtové oblasti první rezonance, tj. kolem 80 MHz. (Obr. 39 zřejmě pochází z takticko-technických pokynů k některé vojenské radiostanici z 60. let).

S uvedenými vlivy je třeba nezbytně počítat ve všech případech, kdy se anténa dostává do těsné blízkosti osoby, která obsluhuje radiostanici, což je dnes prakticky splněno u všech přenosných radiostanic včetně mobilních telefonů. Činnost antén, připojených k těmto pojítkům, je proto přítomností těla významně ovlivněna.

Nemělo by se ovšem zapomínat ani na biologické účinky elektromagnetických vln absorbovaných lidským tělem z tak blízké antény. To je však již jiná, dosud otevřená záležitost, kdy jsou stále ještě předmětem zkoumání účinky dlouhodobého zatěžování lidského organizmu elektromagnetickým zářením.

Závěry zatím nelze jednoznačně formulovat. Historie masového používání mobilních telefonů je z tohoto hlediska zatím příliš krátká. Lze si jen přát, aby závěry těchto výzkumů nevyzněly v neprospěch mobilních telefonů, a aby mobilní telefony vnuků našich vnuků nebyly povinně opatřeny známým varováním ministerstva zdravotnictví.

Blízkost těla se projevuje jak na již diskutovaných a obtížně měřitelných impedančních charakteristikách, tak na vyzařovacích (směrových) vlastnostech „anténní soustavy“ operátor - radiostanice. Původně všesměrová vyzařovací charakteristika vlastní antény ve volném prostoru je přítomností těla více či méně deformována v závislosti na kmitočtu, na typu antény a zejména na její poloze i umístění vůči tělu.

Tato problematika byla aktuální zejména v 60. až 80. letech v souvislosti s postupným zaváděním dalších generací přenosných radiostanic a nakonec i mobilních telefonů. V té době byla také nejvíce diskutována v odborných časopisech. Byly napsány desítky odborných studií, provedla se nesčetná měření.

Na obr. 40 jsou např. vyzařovací diagramy antény v různých polohách a vzdálenostech od těla operátora na kmitočtech 450 a 900 MHz [29], [30]. Záměrem bylo objasnit a kvantifikovat vliv polohy vlastní antény na rovnoměrnost vyzařování v horizontální rovině a na relativní úroveň přijímaného signálu ve srovnání s úrovní signálu z volně umístěné antény referenční. Proto se při měření použila anténa typu rukávový dipól $\lambda/2$, tj. anténa nezávislá na protiváze, aby byl vyloučen vliv „ztrátové ruky“ i vlastní radiostanice. Je vidět, že nerovnoměrnosti způsobené vlivem těla jsou na kmitočtu 450 MHz menší než na kmitočtu 900 MHz. Tento trend směrem k nižším kmitočtům pokračuje.

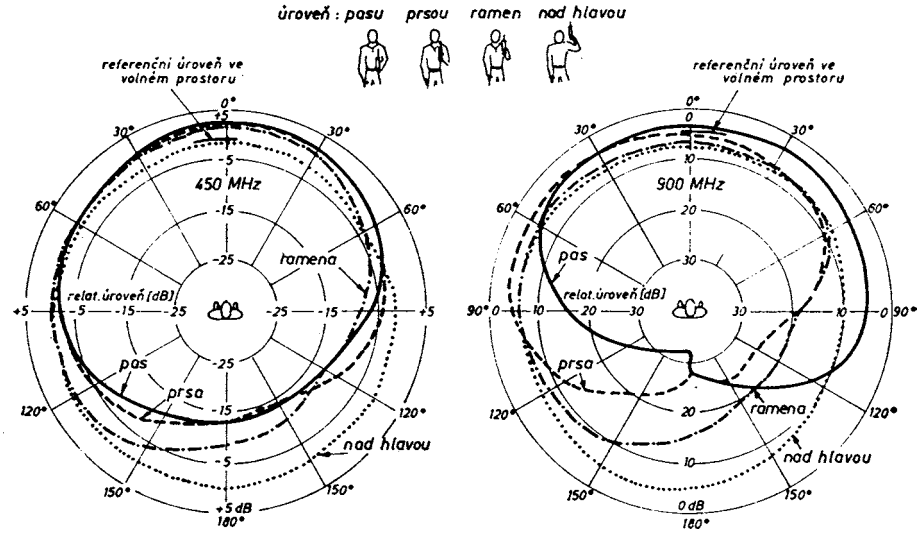
V závislosti na poloze antény se úroveň signálu vzhledem k volnému prostoru mění od +1 do -32 dB na 900 MHz a od +3 do -12 dB na 450 MHz. Také zde se uvedené změny na nižších kmitočtech zmenšují. Naměřené údaje jsou v podstatě provozním ziskem antény, vztaženým k referenční anténě $\lambda/2$ ve volném prostoru.

Na obr. 41 jsou vyneseny vyzařovací diagramy pro extrémní případ, kdy se anténa dotýká těla. Poměrně značné snížení úrovně ve směru komunikace v závislosti na poloze antény a kmitočtu činí -4 až -13 dB proti referenční úrovni ve volném prostoru. Jistým dílem se na tomto poklesu nepochybně podílí i rozladění antény, ke kterému v těsné blízkosti těla dochází.

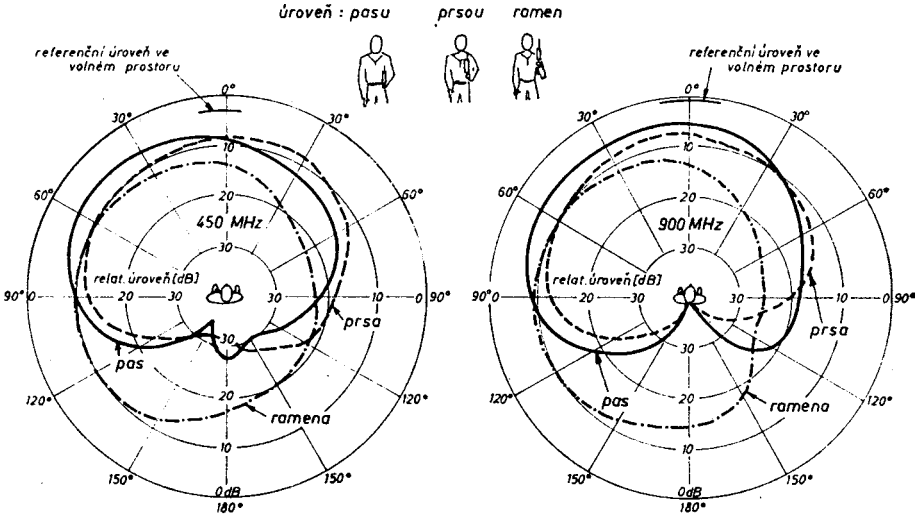
Uvedená měření byla realizována s nezkrácenou anténou $\lambda/2$. Použije-li se na uvedených kmitočtech antén zkrácených, tj. s většími vlastními ztrátami, tak se jejich zisk dále zmenší.

Lze říci, že dnes jsou problémy spojené s praktickým používáním antén na ručních radiostanicích i na mobilních prostředcích vyřešeny a tak můžeme shrnout pro praxi podstatné závěry:

- Všechny dále uváděné poznatky (resp. další pokusy a měření) mohou být příznivě i nepříznivě ovlivněny (zkresleny) celkovými poměry v okolí.
- Původní všesměrový diagram záření vlastní antény je v blízkosti lidského těla (ale i při upevnění na karoserii vozidla) více či méně ovlivňován, resp. deformován. Anténa vybudí na vodivých i polovodivých částech celé anténní struktury povrchové proudy, které ovlivní původní všesměrový diagram záření vlastní antény.
- U mobilních antén na nižší pásma KV není umístění antény z hlediska zachování všesměrovosti kritické, protože rozměry vozidla jsou vzhledem k vlnové délce malé. Antény se tedy upevňují co nejníže, aby jejich vlastní výška a tím i vyzařovací odpor (resp. účinnost) byly co největší. Upevnění na víka zavazadlových prostorů nebo kapoty vozidel není výhodné pro špatně definovatelné



Obr. 40. Vyzařovací diagramy antény (rukávového dipólu) s radiostanicí v různých výškách ve vzdálenosti 8 až 15 cm od těla



Obr. 41. Vyzařovací diagramy antény (rukávového dipólu) s radiostanicí umístěnou v různých výškách tak, že se anténa dotýká těla

zemnící kontakty s vlastní karoserií vozidla, což může mít nepříznivý vliv na přizpůsobení, ale i na diagram záření Tento nepříznivý vliv lze u mobilních antén CB a VKV více méně eliminovat vhodným umístěním antény, nejlépe na střeše, pokud možno uprostřed. Protože jde většinou o antény typu čtvrtvlnný unipól, tj. antény, jejichž nedílnou funkční částí je protiváha, resp. umělá země tvořená karoserií vozidla, musí s ní být spolehlivě spojeno stínění napájecího kabelu.

U mobilních antén se omezí vliv jejich umístění na vyzařovací i napájecí vlastnosti, použije-li se antén nezávislých na protiváze, tj. půlvlnných vertikálních dipolů (na nižších kmitočtech dipólů zkrácených, např. šroubovicových, na vyšších kmitočtech UHF i nezkrácených). Jejich napájení je však obtížnější. V tomto článku jsme se tímto typem antény nezabývali.

• Také antény na přenosných radiostanicích by měly být obecně provozovány ve vyšších polohách, resp. pokud možno „nezastíněné" tělem operátora. Při běžném provozu je to sice neobvyklé, ale v mezních případech lze vyšší polohu radiostanice zabezpečit samostatným mikrofoním reproduktorem. Z uvedeného též vyplývá, že delší antény, resp. antény vyčnívající nad hlavu operátora, jsou z tohoto hlediska výhodnější.

• Nerovnoměrnost vyzařování je závislá na vzdálenosti antény s radiostanicí od těla, které vf energii částečně odráží a částečně absorbuje. Vzhledem k elektrickým vlastnostem lidského těla se větší část vf energie od těla odráží, zatímco menší část do něj vniká a při tomto průniku je silně tlumena.

Absorbce stoupá na vyšších kmitočtech a při menších vzdálenostech od těla. Je největší v kmitočtových pásmech mobilních telefonů. Tam jsou nerovnoměrnosti působené tělem operátora velmi výrazné, jak naznačují vyzařovací diagramy na obr. 40 a 41.

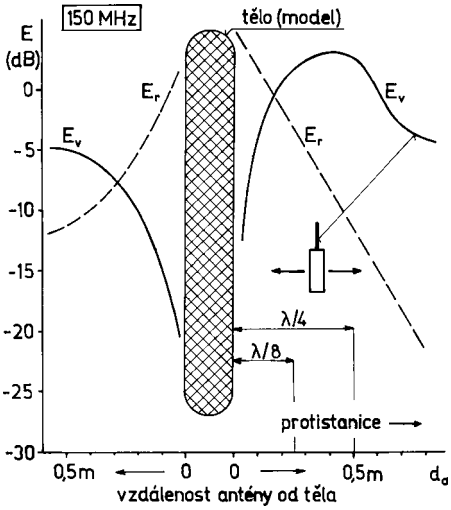
• Zkušený operátor by měl na všech VKV pásmech, a zvláště na těch nejvyšších, komunikovat s anténou orientovanou směrem k protistanici (resp. základnové stanici mobilních telefonů), pokud je mu její poloha známa. Mnohočetné odrazy v zastavěném terénu mohou optimální orientaci ovlivnit.

• V podstatné části pásma metrových vln, počínaje nejnižšími rezonančními kmitočty, se blízko lidského těla vytváří radiální složka elektrického pole (E_r) která v jeho těsné blízkosti dokonce převyšuje původní složku vertikální (E_v). Tento jev se nazývá polarizační transformace [13], [31].

Pro kmitočet 150 MHz jsou znázorněny tyto poměry obr. 42, kde je na zjednodušeném modelu těla uvedena závislost obou složek elektrického pole na vzdálenosti d_a od těla. Ukazuje se, že v uvedeném kmitočtovém rozsahu převyšuje již ve vzdálenosti 0,1 m radiální složka složku vertikální o více než 10 dB. K vyrovnání dochází teprve v pásmu dm vln. Radiální složka také vykazuje v horizontální rovině mnohem rovnoměrnější vyzařovací charakteristiku než složka vertikální.

Uvedený jev, původně jen teoreticky odvozený, ale později i praxí potvrzený naznačuje, že nejčastěji používaná anténa, jakou je nezkrácená anténa prutová, nebo spíše malá šroubovicová anténa s kolmým vyzařováním, nejsou s ohledem na polarizační transformaci nejvhodnějšími anténami. A to zvláště tehdy, provozuje-li se s nimi radiostanice tak, že je přímo zavěšena na těle operátora.

Na základě těchto poznatků byly zkoušeny některé nové varianty. Jednou z nich je opět krátká šroubovicová anténa s vrcholovou kapacitní zátěží (aby mohla být ještě kratší) a s malou protiváhou, orientovaná vodorovně a radiálně k povrchu těla. Tedy souose s radiální složkou elektromagnetického pole. Srovnání standardní vertikální antény s radiální anténou přibližně shodných rozměrů umístěnou ve stejném místě potvrdilo, že radiální anténa má v horizontální rovině rovnoměrnější charakteristiku s menšími změnami amplitudy elektromagnetického pole. Kolmo k tělu orientovaná anténa je také méně rozladována, což se potvrdilo i při měření



Obr. 42. Relativní úroveň radiální E_r a vertikální E_v složky elektromagnetického pole v blízkosti těla

impedancí (viz obr. 35 a obr. 37). Rovněž biologická zátěž elektromagnetickým zářením je u horizontálně orientovaných antén blízkých tělu podstatně menší než při užití malých šroubovic orientovaných vertikálně.

Horizontálních, k povrchu těla radiálně orientovaných antén se např. použilo pro přenos telemetrických údajů při zátěžových testech lidského organismu v podmínkách reálného sportování na závodních dráhách.

Z průběhu úrovně vertikální složky E_v na obr. 42 je vidět, že ve vzdálenosti antény d_a, přibližující se $\lambda/4$, se vertikální anténa již chová „normálně". Její vyzařování směrem k protistanici je maximální. V této vzdálenosti již převládá vertikální složka E_v a zvětšené vyzařování směrem k protistanici je způsobeno odrazem od stejně polarizovaného „rezonujícího" těla, jak se s ním setkáváme u běžných dvouprvkových antén. Znovu se potvrzuje, že vzdálenost d_a je nejdůležitějším parametrem u antén blízkých tělu. Zejména u kmitočtů nad 200 MHz ovlivňuje výrazně diagram záření ve vodorovné rovině (v azimutálních směrech).

Transformační polarizace se naopak uplatňuje zejména v rozsahu 50 až 200 MHz, tj. v kmitočtovém rozsahu, který s rezervou překrývá rozměrovou oblast mezi první a druhou rezonancí lidského těla.

Zmíněné vyzařovací vlastnosti malých šroubovic se při běžném provozu prakticky neuplatní. Především proto, že úroveň přijímaných (resp. vysílaných) signálů je zpravidla tak vysoká, že zabezpečuje spolehlivé spojení i při nepříznivých polohách antén. Podmínky reálného provozu, kdy se zejména v zastavěných oblastech uplatňuje mnohocestné šíření elektromagnetických vln, jsou také příliš vzdálené ideálním podmínkám měřicího pracoviště, kde lze uvedené vlivy a jim odpovídající změny registrovat a měřit. Za jistých okolností mohou být tyto informace užitečné.

Měření malých impedancí (odporů) reflektometrem

Při experimentování s krátkými anténami (pro přenosné a mobilní radiostanice) můžeme využít pro měření malých rezonančních odporů (resp. impedancí) dále popsanou metodu.

Víme, že reflektometr je poměrně jednoduchý přístroj, kterým se měří *ČSV*. Zpravidla se využívá pro stálou kontrolu impedančního přizpůsobení mezi vf zdrojem a spotřebičem, obvykle mezi vysílačem a anténou, resp. mezi vysílačem a anténním napáječem. Proto bývá často i nedílným příslušenstvím vysílačů. Je to spíše indikátor než měřicí přístroj. Na toto téma bylo v PE již několikrát referováno [16], [17].

Míra přizpůsobení, vyjádřená jediným číslem - činitelem stojatých vln *ČSV* - je jednoduchá a názorná. V odborné literatuře a v matematických výrazech se místo zkratky *ČSV* (nebo *PSV* - poměru stojatých vln, odvozeného z anglického *SWR* - Standing Wave Ratio) používá spíše symbolu σ (řeckého sigma).

Činitel stojatých vln je poměr maximálního a minimálního napětí stojaté vlny na vf vedení, který odpovídá poměru příslušných impedancí. Jednou z nich je vlnová impedance vf vedení Z_0, která je obvykle 50 Ω, druhou pak je zpravidla impedance antény Z_a.

ČSV, jako číslo kladné, rovné nebo větší než jedna (ČSV ≥ 1), je proto vždy poměrem čísla většího ku menšímu, pokud se ovšem obě impedance neshodují, kdy je ČSV právě rovno jedné.

Je tedy zřejmé, že ze změřené hodnoty ČSV a známé vlnové impedance Z_0 nemůžeme jednoznačně určit velikost hledané impedance Z_a. Nevíme totiž, zda se jedná o poměr Z_a/Z_0 nebo o Z_0/Z_a (pokud uvažujeme absolutní hodnotu impedance antény Z_a), resp. o poměr reálné složky impedance antény v rezonanci a vlnové impedance napáječe R_a/Z_0 nebo Z_0/R_a (když se anténa na svém vstupu jeví pouze jako reálný odpor R_a).

Tak např. při vlnové impedanci koaxiálního napáječe Z_0 = 50 Ω naměříme *ČSV* = 4, bude-li rezonanční odpor antény R_a = 200 Ω (200/50 = 4), ale i tehdy, bude-li R_a = 12,5 Ω (50/12,5 = 4).

Dvojznačnost změřené hodnoty *ČSV* je tedy charakteristickou vlastností běžného reflektometru. Používá-li se takový reflektometr jen k provozní kontrole přizpůsobení, není jeho funkce touto vlastností omezena. Obvykle se sledují jen odchylky od optimálního přizpůsobení, kdy je ČSV = 1, takže nevadí ani menší přesnost běžného reflektometru při měření větších hodnot ČSV. Jak bylo již uvedeno, považujeme jej proto spíše za indikátor přizpůsobení než za měřicí přístroj.

Většinou je to však jediný vysokofrekvenční „měřicí přístroj", se kterým se v radioamatérské praxi setkáváme. Odstraníme-li výše zmíněné nedostatky (dvojznačnost údaje *ČSV* a nepřesnost měření větších hodnot *ČSV*), stane se z indikátoru užitečný, amatérským účelům vyhovující měřicí přístroj. Nedostatky odstraníme velmi jednoduchou úpravou, či spíše doplňkem, který si může každý snadno zhotovit [15].

Uveďme nejprve jednoduché rovnice, které nám usnadní další výklad. Použijeme-li místo zkratky *ČSV* symbol σ, a vyjádříme-li impedanci rezonující antény pouze reálným (činným) odporem R_a, můžeme napsat:

$$\sigma = Z_0/R_a, \quad \text{resp.} \quad \sigma = R_a/Z_0,$$

takže:

$$R_a = Z_0/\sigma, \quad \text{resp.} \quad R_a = \sigma \cdot Z_0.$$

Bude-li Z_0 = 50 Ω, pak:

$$R_a = 50/\sigma, \quad \text{resp.} \quad R_a = 50 \cdot \sigma.$$

Zakončíme-li reflektometr rezistorem s neznámým odporem R a čteme-li na stupnici např. *ČSV* = σ = 2,5, pak může být podle výše uvedených rovnic odpor tohoto rezistoru buď R = 50/2,5 = 20 Ω nebo R = 50·2,5 = 125 Ω. Skutečnou velikost měřeného odporu tedy nelze jednoznačně stanovit.

Dvojznačnost měření běžným reflektometrem odstraníme snadno tím, že na výstup reflektometru připojíme sériový, pokud možno bezindukční rezistor s definovaným odporem R_s ≥ 50 Ω. Sériový rezistor způsobí, že celkový odpor na výstupu reflektometru R_c = = R_a + R_s se nikdy nezmenší pod 50 Ω, takže pro výpočet neznámého rezonančního odporu antény R_a pak můžeme vycházet pouze z rovnice σ = = R_c/Z_0, resp. $R_c = \sigma \cdot 50$ Ω.

Takže při použití přídavného sériového odporu R_s ≥ 50 Ω můžeme rezonanční odpor antény R_a určit jednoznačně z rovnice:

$$R_a = 50 \cdot \sigma - R_s.$$

Bude-li R_s právě 50 Ω, pak bude:

$$R_a = 50 \cdot (\sigma - 1).$$

Ukáže-li např. reflektometr vybavený sériovým rezistorem R_s = 50 Ω hodnotu σ = 1,5, pak to bude znamenat, že odpor neznámého rezistoru nebo rezonanční odpor antény je R_a = = 50·(1,5 - 1) = 25 Ω. Zjistíme-li ve stejném uspořádání *ČSV* = 2, bude měřený odpor R_a = 50·(2 - 1) = 50 Ω.

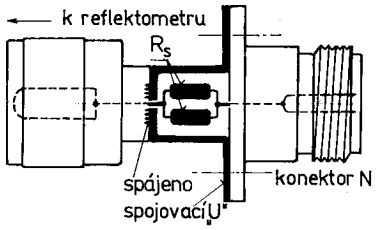
Tento zdánlivý paradox, kdy je R_a = = Z_0 = 50 Ω a přitom *ČSV* = 2 ovšem platí jen s připojeným sériovým rezistorem o odporu R_s = 50 Ω, kdy je výstup vlastního reflektometru zatížen dvojicí shodných rezistorů R_a + R_s. Jejich celkový odpor 100 Ω pak musí reflektometr, konstruovaný pro měření na napáječi s vlnovou impedancí Z_0 = = 50 Ω, pochopitelně signalizovat jako *ČSV* = 2.

Je-li reflektometr ocejchován v rozsahu *ČSV* = 1 až 2 s přesností 10 %, což není až tak obtížné dosáhnout, je možné určit tímto způsobem i odpory kolem 5 Ω. Při původním uspořádání bez pomocného sériového rezistoru R_s by při měření tak malého odporu bylo nutno přečíst přesně hodnotu *ČSV* = 10, což zpravidla nelze.

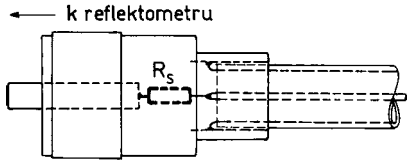
Měření s přídavným sériovým rezistorem lze realizovat i tehdy, neznáme-li jeho přesný odpor. Jedinou podmínkou je, aby odpor nebyl menší než 50 Ω. Pro určení měřeného odporu R_a pak musíme provést dvě měření.

Nejprve zjistíme *ČSV* (= σ) stejným způsobem jako v předchozím uspořádání, tj. s oběma, nyní neznámými odpory (R_a + R_s) v sérii.

Poté (vnější) měřený odpor antény vyřadíme tím, že výstup přídavného sériového rezistoru R_s zkratujeme na zem a zjistíme $ČSV_s$ (= σ_s), které odpovídá pouze přídavnému sériovému



Obr. 43. Doplněk pro použití sériového rezistoru



Obr. 44. Sériový rezistor vestavěný přímo v konektoru

rezistoru, jehož skutečný odpor přesně neznáme.

Pro výpočet měřeného odporu pak použijeme vzorec:

$$R_a = 50\cdot(\sigma - \sigma_s).$$

Konstrukční řešení doplňku se sériovým rezistorem je na obr. 43. Přídavný sériový rezistor o odporu 50 Ω je umístěn v trubce, popř. v jakémsi rámečku, zapájeném mezi dvěma vhodnými konektory. Jeden z konektorů, řekněme vnitřní (na obrázku levý), musí odpovídat výstupnímu konektoru reflektometru, vnější, výstupní konektor by měl být svojí kvalitou přiměřený použitému pásmu kmitočtů.

Zobrazená úprava umožňuje optimálně vybrat a uspořádat sériový rezistor tak, aby při zkratu vnějšího konektoru (na výstupu rezistoru R_s) bylo vlastní $ČSV_s$ (= σ_s) přípravku rovno jedné.

Výběr vhodného rezistoru R_s bude závislý jak na kmitočtu (musí být bezindukční), tak na výkonu vf generátoru nebo vysílače, který bude při měření použit. Během měření se totiž na rezistoru R_s ztratí polovina výkonu. Protože způsob měření nepředpokládá dlouhodobé zatěžování rezistoru výkonem vysílače, může být rezistor z hlediska výkonového zatížení poněkud poddimenzován. Pro měření s přenosnými radiostanicemi vyhoví kombinace několika paralelních rezistorů typu TR 191.

Komu se jeví uvedené uspořádání jako složité, může vestavět malý sériový rezistor přímo do konektoru anténního napáječe podle obr. 44.

Reflektometr doplněný sériovým rezistorem pochopitelně nelze během radiokomunikace používat ke stálé kontrole impedanční zátěže vysílače, tj. ke stálé kontrole přizpůsobení vf napáječe s připojenou anténou!! Na sériovém rezistoru by se ztrácela polovina vf výkonu (vysílač by navíc pracoval do nepřizpůsobené zátěže - *ČSV* by bylo 2), i kdyby *ČSV* vlastní antény bylo rovno jedné.

HELICAL 3. EXE - program pro výpočet šroubovicových antén

Autorem programu je R. J. Edwards, G4FGQ. Program byl publikován 2. 8. 1997 na Internetu na adrese: *http://www.btinternet.com/~g4fgq.regp/page2.html*

Program Helical 3. exe je možné stáhnout z redakčních stránek na adrese: *http://www.aradio.cz*

Tento program modeluje a předvídá vlastnosti šroubovicových antén s normálovým (kolmým) módem záření, umístěných bezprostředně nad vodivou protiváhou (karoserií, zemí). Šroubovice mohou být na horním konci souose prodlouženy a dolaďovány kapacitní zátěží - přímým vodičem definované délky a průměru. Antény jsou napájeny proudově, tj. „v patě“ antény a pracují v 1. rezonanci. Jsou to tedy ekvivalenty vertikálních unipólů $\lambda/4$.

Pro výpočet jsou zadávána tato vstupní rozměrová data:

H - výška šroubovice v m,

D - vnitřní průměr šroubovice v mm,

N - počet závitů,

W - průměr vodiče v mm,

L - délka přímého prodloužení horního konce šroubovice v mm,

R - průměr prodlužovacího vodiče v mm,

E - (předpokládaný) ztrátový odpor protiváhy v Ω.

Rezonance je dána počtem závitů, jejich uspořádáním a rozměry. Jemné doladění umožňuje kapacita zátěže, tj. délka a průměr prodlužovacího vodiče.

Program upozorní na chybné zadání, překročí-li průměr vodiče (tvořícího šroubovici) její stoupání, tj. rozteč mezi závity, nebo překročí-li počet závitů s daným průměrem vodiče zadanou výšku šroubovice. Anténu lze počítat i bez koncové kapacitní zátěže (*L* = 0 a *R* = 0).

Program zpracuje každou rozměrovou konfiguraci - štíhlou a dlouhou šroubovici stejně jako velmi krátkou a „tlustou“ šroubovici, jakou je např. „patní“ prodlužovací cívka vertikální antény. V obou případech i bez zatěžovací kapacity na horním konci antény.

Přesnost výsledků se zmenšuje, zvětšuje-li se délka lineárního prodloužení nad $0{,}1\cdot\lambda$. Skutečná výška antény může být až $0{,}25\cdot\lambda$, klesne-li počet závitů na *N* = 1 a z antény se tak stane prostý lineární unipól $\lambda/4$.

Tyto malé, relativně účinné antény (vzhledem ke své nepatrné délce) nevyhnutelně mají vysoké *Q*, omezující šířku pásma. Na nižších kmitočtových pásmech KV jsou omezení tak velká, že umožňují pouze provoz A1 (CW).

Vykazuje-li anténa v místě napájení při rezonanci menší odpor než 50 Ω, lze tam anténu přizpůsobit k napáječi s vlnovou impedancí Z_0 = 50 Ω velmi jednoduše paralelní kompenzační kapacitou (zapojenou mezi patou antény a zemí) - viz str. 9 a obr. 16c a obr. 32. Tím se však poněkud zvýší rezonanční kmitočet, což lze kompenzovat přidáním několika závitů nebo zvětšením kapacitní zátěže (prodlužovací kapacity).

Programem vypočtený a na monitoru uvedený rezonanční kmitočet však vliv vypočtené a znázorněné kapacity ještě nerespektuje. Teprve z tohoto rezonančního kmitočtu a z velikosti všech ztrátových odporů se paralelní kompenzační kapacita počítá.

Přizpůsobování šroubovicové antény ilustrují impedanční křivky na Smithově digramu (obr. 32 na str.19). Paralelní kompenzační kapacitu počítač vypočte podle velikosti indukční složky, na které impedanční křivka antény protne jednotkovou kružnici. Podél této kružnice pak kompenzovaná impedance „sklouzne“ do středu diagramu do bodu 50 Ω na reálné ose, resp. na *ČSV* = 1. Bude to, jak již bylo uvedeno, na poněkud vyšším kmitočtu, „za rezonancí“, kde má anténa již indukční charakter. Až následná malá korekce indukčnosti posune rezonanci kompenzované antény zpět na požadovaný kmitočet. Velikost indukční složky na jednotkové kružnici velmi závisí na celkovém ztrátovém odporu antény. Antény s malými vlastními ztrátami se přizpůsobují obtížněji a kritičnost nastavení je značná.

Nejistou složkou všech ztrátových odporů v obvodu antény je ztrátový odpor protiváhy, resp. vf odpor k zemi. Je-li zemí kovová střecha vozidla, izolovaného od země pneumatikami, činí tento ztrátový odpor 3 až 12 Ω. Menší hodnoty platí pro větší vozidla. Program nerozlišuje druh a charakter protiváhy. Ze zadaných údajů počítá i vlastnosti antén, umístěných nad skutečnou zemí. Ztrátové odpory zde mohou dosahovat i několika set ohmů. Přesněji definované hodnoty vykazují drátové protiváhy „vyzvednuté“ nad povrch země [32].

Vlastní rezonanční kmitočet šroubovicové antény však na velikosti ztrátových odporů nezávisí. Je ovlivňován jen zadanými rozměry. Z tohoto hlediska tedy program posuzujme.

Program není jen dobrou pomůckou pro výpočet a praktický návrh konkrétní antény. Poskytne řadu užitečných informací o vztazích mezi zadávanými parametry všem, které problematika antén všeobecně zajímá.

Po vložení výše uvedených rozměrových parametrů - *H*, *D*, *N*, *W*, *L*, *R* a *E* se na spodní části téhož displeje okamžitě objeví následující vypočtené parametry:

rezonanční kmitočet antény $\lambda/4$	[MHz]
stoupání šroubovice	[mm]
celková délka vodiče	[m]
celková indukčnost	[μH]
vlastní kapacita šroubovice	[pF]
kapacita zátěže vůči zemi	[pF]

celková účinná kapacita	[pF]
vyzařovací odpor (vztažený ke vstupu antény)	[Ω]
ztrátový odpor vodiče (vztažený ke vstupu antény)	[Ω]
vstupní odpor antény	[Ω]
šířka kmitočtového pásma (mezi body pro pokles o 3 dB)	[kHz]
účinnost vlastní antény	[%]
relativní ztráta (proti nezkrácené anténě $\lambda/4$)	[dB]
paralelní přizpůsobovací kapacita pro Z_a = 50 Ω	[pF]

Závěr

Záměrem autora bylo podat čtenářům všeobecné informace o jedné z nejužívanějších antén dnešní doby, o šroubovicové anténě s radiálním vyzařováním. Jsou jí vybaveny tisíce přenosných radiostanic a milióny mobilních telefonů.

Nejprve jsou připomenuty rozdíly mezi dvěma typy šroubovicových antén. V dalším se uvádějí charakteristické vlastnosti tzv. malých šroubovic, jak jsme tyto krátké antény s radiálním zářením v textu nazývali. Graficky znázorněné závislosti poskytují výchozí informace k jejich praktické realizaci pro KV, CB i VKV pásma.

Jsou popsána některá měření, a to i s ohledem na skromnější možnosti v podmínkách amatérských. Závěrečná část zmiňuje problematiku praktického vyzařování, které je výrazně ovlivňováno polohou i orientací antény s radiostanicí vzhledem k operátorovi.

Některé neobvyklé poznatky mohou být podnětné pro další experimentování s těmito, zdánlivě bezvýznamnými anténami.

* * *

Závěrem děkuji ing. M. Procházkovi, CSc. za užitečné diskuse k některým teoretickým otázkám probírané problematiky,

kolegovi Honzovi z Hájů za podnětné nápady a spolupráci při měření antén pro CB pásmo (četná z nich ještě čekají na zveřejnění),

firmě DD - AMTEK (Praha 6, Vlastina 36) za dlouhodobé zapůjčení analyzátorů SWR typu MFJ 259B a MFJ 269, se kterými jsem úspěšně realizoval četná měření různých antén.

Literatura

[1] *Wheeler, H. A.*: Fundamental Limitations of Small Antennas. Proceedings of the IRE, December 1947, s. 1479 až 1484.

[2] *Kraus, J. D.*: Antennas. McGraw Hill Comp. Inc., New York 1950.

[3] *Kandoian, A. G.; Sichak, W.*: Wide Frequency Range Tuned Helical Antennas and Circuits. IRE Nat. Conv. Record II., Antennas and Components, 1953.

[4] *Guertler, R. J. F.*: Design of Normal-Mode Helix Antennas. Proceedings of the IREEE, January 1973.

[5] *Tong, D. A.*: The „Normal–Mode" Helical Aerial. Radio Communication, July 1974.

[6] *Wilson, W. R.*: Solenoid Whip Aerial. Electronics, Vol. 14, January 1941.

[7] *Macoun, J.*: Krátké (zkrácené) antény. 1. díl - AR-A 5/94, 2. díl - AR-A 7/94.

[8] *Ellington*: A Helicaly Wound Vertical Antenna for the 75-Meter Band. QST, January 1972.

[9] *Harris, E. F.*: Continuously Loaded Whip Antennas. QST, March 1973.

[10] *Briggs, R. S.*: Construction and Use of Long Helical Coils for Antenna Loading. QST, February 1974.

[11] *Li, T.; Beam, R. E.*: Helical Folded Dipoles and Unipoles. Proc. Nat. Electr., 13/1957.

[12] *Roy, M. N.*: Investigation on Normale Mode Helices. Inst. J. Electronics, Vol. 26, 6/1969.

[13] *Neukom, P. A.*: Body Mounted Antennas. Dissertation ETH. No. 6413, Zurich 1979.

[14] *Jansen, G.*: Kurze Antennen. Franck -Verlag, Stuutgart 1986.

[15] *Jansen, G.*: RF Measurements with an Active Standing Wave Ratio Meter. DARC Verlag GmBH, Baunatall 1995.

[16] *Macoun, J.*: Měření reflektometrem. 1. díl - AR-A 8/93, 2. díl - AR-A 9/93.

[17] *Macoun, J.*: Proč a jak měříme ČSV (PSV). 1. díl - AR-A 4/97, 2. díl - AR-A 6/97, 3. díl - AR-A 7/97.

[18] *Wheeler, H. A.*: Small Antennas. IEEE Trans., Vol. AP-23, No. 4, July 1975.

[19] *Wheeler, H. A.*: The Radiansphere Around a Small Antenna. Proc. IRE, Aug. 1959.

[20] *Procházka, M.*: Antény - encyklopedická příručka. BEN - technická literatura, Praha 2000.

[21] *Rothammel, K.; Krischke, A.*: Antennenbuch, 10. vydání. Frankch-Kosmos, Stuttgart 1991.

[22] *Sedláček, J. a kol.*: Amatérská radiotechnika, 1. díl. Naše vojsko, Praha 1954.

[23] *Macoun, J.*: S-metry a jejich údaje. 1. díl - AR-A 4/93, 2. díl - AR-A 7/93.

[24] *Macoun, J.*: Měření s analyzátorem ČSV typu MFJ 259B. ELECTUS 2000.

[25] Instruction Manual for HF/VHF/UHF SWR Analyzer, Model MFJ 269. MFJ Enterprises, Starkville, MS 3979, USA 1999.

[26] *Procházka, M.*: Měření elektrických parametrů antén. PE-A 2/99.

[27] *Novák, O.*: Sonda pro měření vf napětí. PE-A 12/97.

[28] *Smith, P. H.*: Electronics 12/1939.

[29] *Mlok*: Charakteristiky antén osobních radiostanic na lidském těle. ST 10/1977.

[30] *King, E. H.; Wong, J. L.*: Effects of Human Body on a Dipole Antenna at 450 and 900 MHz. IEEE Trans. AP-25, May 1977.

[31] *Eko*: Antény a lidské tělo. ST 1/1986.

[32] *Jansen, G.*: Monopolantennen und Vertikalantennen. Kempten 1999.

[P-1] *Edwards, R. J., G4FGQ*: Program HELICAL 3. EXE, 2. 8. 1997 (freeware).

[P-2] *Braskamp, L., AA6GL*: MOBILE - PC Program for Short HF Verticals. ARRL Antenna Compendium, Vol. 4, Newington 1995. Program MOBILE je možné stáhnout z redakčních stránek na adrese: *http://www.aradio.cz*

Čtyřprvková anténa „KRCKA 2 " pro pásmo 145 MHz

Úvod

Krátké, tří až čtyřprvkové Yagiho antény o celkové délce $L_c \approx 0{,}5 \cdot \lambda$ považujeme z hlediska poměru *zisk/počet prvků* za „nejekonomičtější".

V úzkém kmitočtovém pásmu, a tím je prakticky každé amatérské pásmo VKV a UKV, se jejich zisk přibližuje 7 dBd (proti dipólu $\lambda/2$), resp. dosahuje asi 9 dBi (proti isotropnímu zářiči). Ve směru maxima tedy tyto antény „násobí" vysílaný výkon pětkrát. Na každý pasivní prvek tak připadá přírůstek zisku až 3 dB.

U delších, resp. víceprvkových Yagiho antén se tento přírůstek postupně zmenšuje. Antény delší než $4 \cdot \lambda$ jsou z tohoto hlediska již „neekonomické", nehledě na konstrukčně-mechanické potíže, které jejich realizaci na nižších pásmech VKV provázejí.

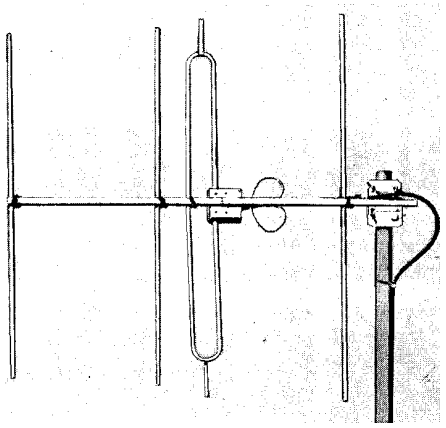
Konstrukční výhodou krátké antény je také její bezproblémové upevnění mimo těžiště (na konci ráhna). Při provozu FM s vertikální polarizací pak můžeme vést koaxiální kabel snadno podél stožáru až za všemi prvky.

Vyzařovací vlastnosti krátkých Yagiho antén jsou charakterizovány výrazně rozdílnou šířkou směrového diagramu v obou polarizačních rovinách.

V rovině kolmé na rovinu prvků (rovina H) je vyzařovací úhel θ_{3H} přibližně 90 až 100 °. Je tedy o 30 až 40 ° širší než vyzařovací úhel θ_{3E} v rovině prvků (rovina E), což usnadňuje směrování antén právě při vertikální polarizaci. Často tedy postačí stálá orientace antény proti ostatním stanicím nebo převáděčům. V porovnání s všesměrovým zářičem se tak projeví větší zisk antény v každém úhlovém sektoru 120 °.

Uvedené vlastnosti nepochybně přispěly k popularizaci a značnému rozší-

→



Obr. 1. Pohled na anténu „KRCKA 2“. Anténa je upevněna na stožár ve vertikální poloze

ření krátké Yagiho antény, nazývané „KRCKA“. Anténa tak byla pojmenována proto, že původně byla popsána v periodiku VKV TECHNIKA (č. 13/ /1968), které vydávala klubová stanice OK1KRC. Trvalý zájem a četné dotazy ovlivnily i její aktualizaci.

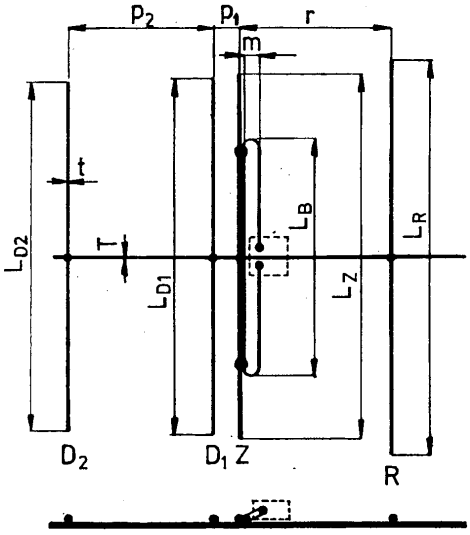
Relativní širokopásmovost, dosažená značným vzájemným „rozladěním“ reflektoru a druhého direktoru (L_R = 1050 mm, L_{D2} = 875 mm) způsobila, že původní anténa „chodí“ v širším pásmu než 2 MHz i v odlišném konstrukčním uspořádání, které je u Yagiho antén obvykle předepsáno a mělo by být respektováno.

Popis antény

Dále popsaná modifikace původní verze využívá originálních konstrukčních prvků z komerčně vyráběných antén pro III. TV pásmo (obr. 1 a obr. 2) a vychází vstříc opakovaným dotazům na aktualizací původní antény.

Určitým způsobem aktualizovaná „KRCKA“ byla ostatně publikována již ve sborníku „HOLICE 1996“.

Novou konstrukční modifikaci charakterizují tyto změny:



Obr. 2. Náčrtek konstrukce antény

• „Ostřejším“ (úzkopásmovějším) laděním antény (tj. kratším reflektorem a delšími direktory) se v pásmu 144 až 146 MHz její zisk zvětšuje o 1 dB. Delší direktory však poněkud zmenšují činitel zpětného příjmu na 12 až 15 dB oproti původním více než 20 dB. Z provozních hledisek to však ve většině případů nevadí.

• **Zářičem antény je zkrácený skládaný dipól s nástavci** (přesněji řečeno bočníkový dipól), **zhotovený z odložených skládaných dipólů pro III. TV pásmo.** Protože se tyto dipóly (většinou se jedná o výrobky podniků KOVOPLAST a MECHANIKA) vyskytují ve čtyřech délkách, jsou v tab. 1 udány rozměry antény pro každou z těchto délek (L_B) skládaného dipólu. **Záměrné použití TV dipólů má usnadnit zhotovení antény v amatérských podmínkách**.

• Rovina zářiče je proti původnímu uspořádání u TV antén pootočena o 90 °, takže přibližně leží v rovině ostatních prvků. Toto uspořádání usnadňuje instalaci a vedení koaxiálního kabelu kolmo k podélné ose skládaného dipólu směrem k reflektoru a stožáru.

• Pro připojení koaxiálního kabelu a symetrizační smyčky se využívá původního ochranného krytu anténních svorek. Ochranný kryt se svým dnem opírá o ráhno antény (leží na ráhnu), takže poněkud vychyluje rovinu dipólu z roviny ostatních prvků.

Konstrukce antény

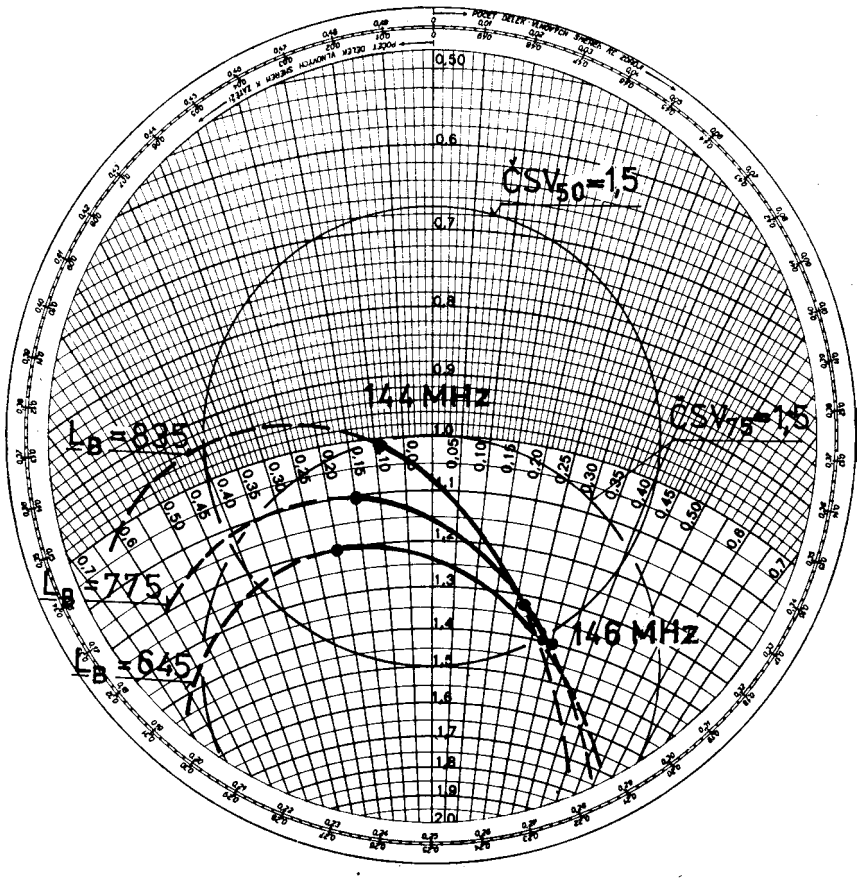
Nejdůležitější rozměry antény podle náčrtku na obr. 2 jsou uvedeny v tab. 1. Rozměry v tab. 1 platí pro průměr prvků t = 6 (až 8) mm a šířku ráhna T = = 15x15 mm. Světlost prvků dipólu je m = 35 až 45 mm (vnitřní rozměr).

Pro konstrukci je použit materiál z původní televizní antény, tj. nosné ráhno čtvercového průřezu 15x15 mm, ke kterému prostřednictvím původních příchytek vodivě přiléhají (nebo jsou do něj přímo vetknuty) prvky o průměru 6 (popř. 8) mm.

Požadované délky zářiče L_Z se dosáhne buď nástavci upevněnými k ohybům TV dipólu (viz snímek na obr. 1), nebo samostatným přídavným prvkem, těsně přiléhajícím k nenapájené části TV

Tab. 1. Rozměry antény (podle obr. 2)

L_B	L_Z	p_1	L_{D1}	p_2	L_{D2}	r	L_R
835	950	70	935	370	922	400	1042
775	980	70	935	370	922	400	1042
710	990	70	935	370	922	400	1042
645	1000	70	935	370	922	400	1042



Obr. 3. Impedanční křivky antény

skládaného dipólu Z (obr. 2). Přídavný prvek může být propojen se skládaným dipólem pouze na koncích dipólu.

Stožárová příchytka je umístěna asi 10 cm za reflektorem a v této vzdálenosti je anténa upevněna ke stožáru. Stožár může být samostatný nebo společný s dalšími anténami.

Vzhledem k tomu, že svislý stožár je od antény oddělen svislým reflektorem, nemá patrny vliv na směrové a impedanční vlastnosti antény.

Délka symetrizační smyčky z koaxiálního kabelu s polyetylenovým (PE) dielektrikem, měřená mezi konci stínění, je 680 mm. Ze stínění vyčnívá na obou koncích vnitřní vodič (v délce 10 mm), který je připájen k pájecím okům, připevněným šrouby ke zploštělým koncům skládaného TV dipólu.

Zde je nutno poznamenat, že impedance vlastní antény, měřená na svorkách zářiče, je nastavena hlavně délkou L_{D1} a roztečí p_1 prvního direktoru D_1 na přibližných 200 Ω tak, aby se symetrizační smyčkou přetransformovala v poměru 4 : 1 a byla tak přizpůsobena k vlnové impedanci napáječe 50 Ω.

Optimalizace impedančního přizpůsobení s kterýmkoliv ze čtyř použitelných skládaných dipólů (bočníků) se dosahuje jen délkou přídavného prvku, přiléhajícího k nenapájené části skládaného dipólu Z.

Vlnová impedance koaxiálního kabelu, ze kterého je zhotovena půlvlnná symetrizační smyčka, se nemusí shodovat s vlnovou impedancí anténního napáječe.

Z impedančního průběhu na obr. 3 je zřejmé, že konečná impedance antény na výstupu ze symetrizační smyčky je asi 67 Ω, takže anténní napáječ může mít impedanci 50 i 75 Ω. V obou případech nepřekročí *ČSV* na napáječi hodnotu 1,5.

Elektrické vlastnosti

Kmitočtové pásmo: 144 až 146 MHz.

Úhel polovičního výkonu v rovině prvků - θ_{3E}: 59 až 58 ° (61 °).

Úhel polovičního výkonu v rovině kolmé na prvky - θ_{3H}: 87 až 83 ° (97 °).

Činitel zpětného příjmu/záření: 5 až 12,5 dB (20 dB).

Zisk: 6,8 dBd (5,6 dBd).

ČSV pro 50 nebo 75 Ω: ≤ 1,5 (≤ 1,8).

Pozn.: Údaje v závorkách platí pro původní variantu antény, popsanou v periodiku VKV TECHNIKA č. 13/1968.

Optimální osová vzdálenost dvou horizontálně polarizovaných antén vedle sebe je 200 cm a nad sebou je 150 cm.

Při vertikální polarizaci je optimální osová vzdálenost antén vedle sebe 150 cm a nad sebou 200 cm.

Je-li požadováno lepší *ČZP* (20 až 22 dB), je nutné zkrátit druhý direktor na délku L_{D2} = 880 až 860 mm. Zisk antény se tím zmenší o 0,9 až 1,2 dB. Přizpůsobení se tím prakticky nezmění.

Všesměrový „duoband“ GP 4xJ

- vertikální anténa pro pásma 145 a 435 MHz

S širokou nabídkou dvoupásmových radiostanic, usnadňujících přímý i převaděčový provoz na obou pásmech VKV se pochopitelně zvyšuje zájem i o dvoupásmové antény. Je zbytečné připomínat všechny jejich výhody. Stručně řečeno - výrazně zjednodušují organizaci provozu na obou pásmech.

Mnohé firmy tyto antény nabízejí, a to pro mobilní i stacionární instalaci. Relativně vysoká cena v poměru k ceně radiostanice, horší zkušenosti s některými profesionálními výrobky, ale i snaha experimentovat, či spíše chuť postavit si alespoň anténu vlastnoručně, zvyšují zájem o podrobnější informace.

Článek vychází těmto požadavkům vstříc a popisuje funkci i konstrukci nové, poměrně jednoduché všesměrové stacionární antény pro obě pásma (obr. 1).

Úvod

Návrh a konstrukce této dvoupásmové antény jsou zásadně ovlivněny harmonickým vztahem mezi oběma pásmy. Kmitočty pásma 435 MHz jsou právě 3x vyšší než kmitočty pásma 145 MHz, odpovídající vlnové délky jsou naopak 3x kratší. Tento poměr pak příznivě ovlivňuje napájecí i vyzařovací vlastnosti antény na obou pásmech.

Inspirací k návrhu antény byl článek v časopise FUNK (1), provázený četnými dotazy k popisované anténě, a údajně velmi dobré zkušenosti s několika vzorky antén pro každé z obou pásem, podle článku zhotovených. Původní jednopásmovou anténu nazval její autor jako 4xJ (obr. 2). Dále popisovaný „duoband“ jsme proto nazvali GP 4xJ, i když jej, stejně jako původní anténu, za čtyři „jéčka“ přísně vzato považovat nelze.

Charakteristickou a zdůrazňovanou vlastností většiny popisovaných J-antén je totiž galvanické spojení vlastního zářiče se stožárem, resp. s nosnou konstrukcí a tím i se zemí, takže anténa je i se vstupními obvody radiostanice bez dalších opatření chráněna před účinky atmosférické elektřiny.

První část našeho článku je určena méně zkušeným popř. začínajícím, ale přemýšlivým zájemcům. Proto se poněkud obšírněji věnuje problematice antén tohoto druhu.

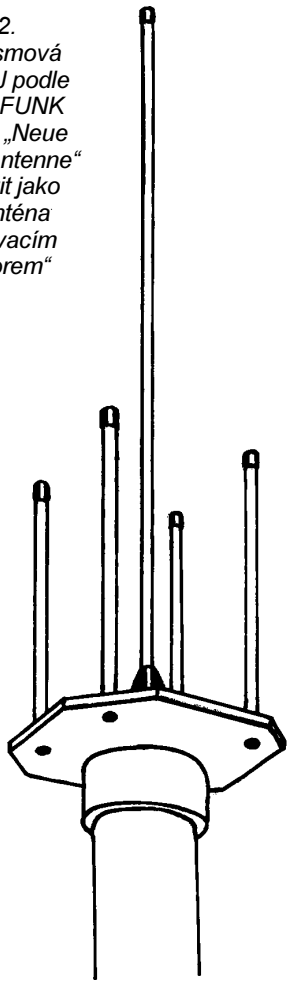
Následný konstrukční popis je doplněn výsledky impedančních měření a počítačovou simulací vyzařovacích diagramů, zahrnující též často přehlížený vliv výšky anténního stožáru na směrové vlastnosti antény ve vertikální rovině.

Antény typu „J“

Svislý **půlvlnný dipól**, popř. **čtvrtvlnný** unipól nad protiváhou jsou nejužívanějšími stacionárními anténami při běžné všesměrové mobilní resp. převáděčové radiokomunikaci na pásmech VKV, včetně pásma CB. Jejich výhodné elektrické i mechanické vlastnosti jsou nepřehlédnutelné:

- Všesměrový diagram s maximem záření v rovině horizontu (resp. pod nízkými elevačními úhly) při dostatečné výšce antény nad zemí.
- Příznivé napájecí vlastnosti při nízkoimpedančním (proudovém) napájení, tj. uprostřed dipólu $\lambda/2$ nebo v patě unipólu $\lambda/4$, kde se vstupní impedance antény přibližuje charakteristické impedanci padesátiohmového napáječe

Obr. 1. Všesměrový „duoband“ GP 4xJ, vertikální anténa pro pásma 145 a 435 MHz



Obr. 2. Jednopásmová anténa 4xJ podle časopisu FUNK [1]. Název „Neue Sperrtopf-Antenne“ lze přeložit jako „Nová anténa s oddělovacím rezonátorem“

v poměrně širokém kmitočtovém pásmu. Antény se při tomto způsobu napájení jeví na úzkých amatérských pásmech jako širokopásmové, takže jejich rozměry nejsou kritické.

• Vysoká účinnost, když se vyzařovací odpor antény prakticky shoduje se vstupní impedancí, resp. s činným odporem antény v rezonanci, takže odpadají další přizpůsobovací obvody.

Zmíněné antény se vyskytují v různých konstrukčních modifikacích. Volba vhodného typu závisí na provozních podmínkách a instalačních možnostech.

Z hlediska dosahu se zpravidla požaduje upevnění na koncích stožárů, tedy co nejvýše, což také vytváří podmínky pro vyzařovaní pod minimálními elevačními úhly.

I když z tohoto hlediska vyhovují na pásmech 145 a 435 MHz velmi dobře běžné rukávové dipóly $\lambda/2$, popř. unipóly $\lambda/4$ s radiálami (antény typu GP), dává se někdy přednost „uzemněným“ anténám typu „J“. Principielně jsou to také půlvlnné zářiče, ale napájené (buzené napětím) na spodním konci, tj. v místě vysoké impedance. Zatímco na pásmu CB se tyto zářiče budí klasickým obvodem *LC* - obr. 3a (anténu „J“ proto ani vzdáleně nepřipomínají), tak na vyšších kmitočtových pásmech se pro jejich napájení používá symetrické, na spodním konci zkratované dvouvodičové vedení $\lambda/4$, jehož jeden vodič přechází plynule a bez přerušení ve vlastní půlvlnný zářič (viz obr. 3f a obr. 3g). Anténa je tak konfigurována do tvaru písmena J.

Toto konstrukčně jednoduché řešení však není z anténářského hlediska zcela „čisté“. Jde o to, že koaxiální napáječ antény, tj. nesymetrické vedení, je v místě vhodné impedance připojen k vedení symetrickému, a toto symetrické, dvouvodičové transformační vedení je zatíženo opět nesymetricky, když jen jeden jeho vodič budí na konci vlastní anténu - půlvlnný zářič, i když s ním konstrukčně tvoří jeden celek. Vytvářejí se tak příznivé podmínky pro vznik anténních, tj. vyzařujících vf proudů i na napáječi, resp. na anténním stožáru. Anténa může být sice velmi dobře impedančně přizpůsobena, avšak účinnost záření z vlastního zářiče může být zmenšena nežádoucím zářením stožáru či napáječe, což může nepříznivě ovlivnit diagram záření ve vertikální rovině.

Okolnosti, za kterých k nežádoucímu vyzařování stožáru či napáječe dochází, závisí jak na způsobu připojení napáječe k symetrickému transformačnímu vedení (viz obr. 3), tak na délce vlastního napáječe nebo anténního stožáru, popř. na kombinaci obou vlivů.

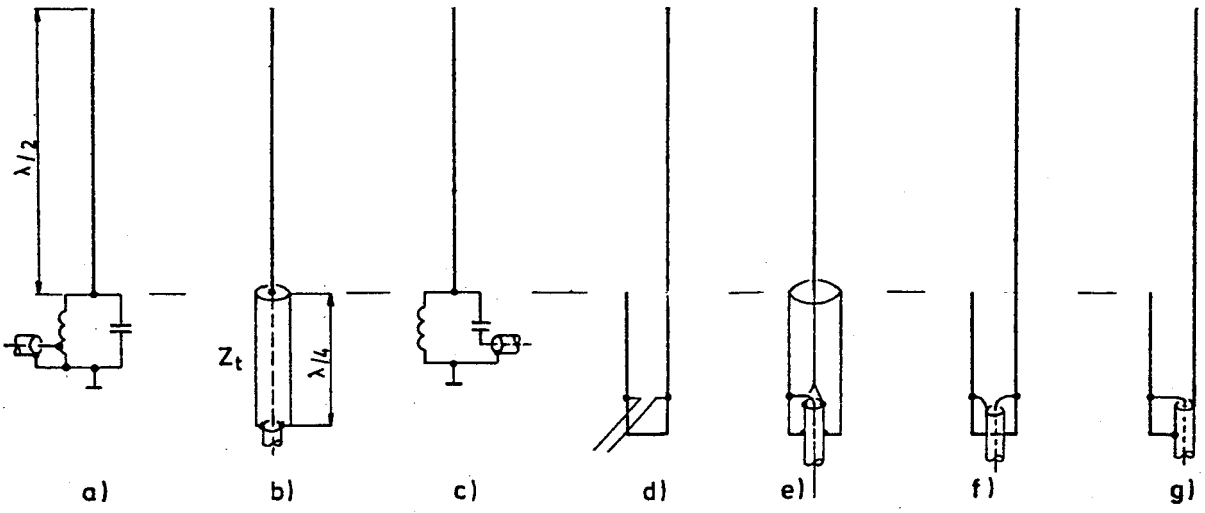
Obecně jsou z tohoto hlediska nepříznivými délkami **celé násobky půlvln**. Méně nepříznivé jsou **liché násobky čtvrtvln**, což potvrzují i počítačové simulace.

Výskyt a intenzitu anténních proudů na povrchu napáječe, popř. podél stožáru můžeme při vysílání informativně kontrolovat malou smyčkovou sondou připojenou k citlivému diodovému indikátoru. Poněkud hrubší, ale v praxi vyhovující způsob, je indikovat změnu ČSV při pohybu ruky podél napáječe, přičemž napáječ se objímá dlaní ihned za místem jeho připojení k anténě. Kolísavé změny ČSV signalizují, že se povrch napájecího kabelu podílí na vyzařování a zmenšuje se tak účinnost vyzařování z vlastní antény.

Nežádoucí anténní proudy na napáječi mimoto vnášejí chyby do měření přizpůsobení běžnými reflektometry.

Anténní zářivé proudy na povrchu napájecích kabelů (nebo stožárů) lze omezit dodatečně instalovanými rukávy (na VKV) nebo paralelními rezonančními obvody *LC* (na KV), vytvořenými šroubovicově stočeným napáječem. Lépe je však předcházet těmto potížím vhodnou úpravou vlastní antény.

Zmíněné nepříznivé okolnosti spojené s nejjednodušším uspořádáním antény „J“ prakticky odpadnou, použije-li se k vybuzení antény uzavřeného souosého (trubkového) na spodním konci zkratovaného úseku $\lambda/4$ podle obr. 3e.



Obr. 3. Různé způsoby transformace impedance při napěťovém nápájení půlvlnných zářičů na jejich konci, tj. v místě vysoké impedance: a) paralelním rezonančním obvodem LC (obvyklé na pásmu CB), b) sériovým čtvrtvlnným impedančním transformátorem (obtížně realizovatelné), c) reaktančním článkem LC, d) zkratovaným čtvrtvlnným vedením při symetrickém napájení dvoulinkou (anténa „J“), e) souosým zkratovaným čtvrtvlnným vedením (rezonátorem) při nesymetrickém napájení koaxiálním kabelem („stíněná“ profesionální anténa „J“), f), g) zkratovaným čtvrtvlnným vedením při napájení koaxiálním kabelem („klasická“ amatérská anténa „J“)

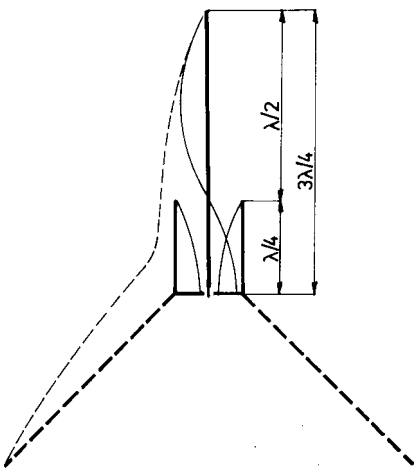
Napájení, resp. vnitřní vodič anténního napáječe je (podle konkrétní konstrukční modifikace) navázán (kapacitně, induktivně nebo přímo) v místě vhodné impedance k vnitřnímu nebo vnějšímu vodiči souosého zkratovaného úseku. Principiálně tedy vlastně jde o „stíněné J“. Toto uspořádání převládá u profesionálních antén.

Amatérské zhotovení podobné konstrukční modifikace je samozřejmě možné, ale není zcela snadné. Je třeba vyřešit odvodnění vnitřního prostoru a dále je nutno omezit nepříznivý vliv izolačního krytu na horním konci souosého transformátoru (v místě vysoké impedance) za deště či sněžení, kdy se transformátor může rozladit se všemi dalšími důsledky. Snadno nelze nastavit ani optimální vazbu, která má velký vliv na přizpůsobení.

Zmíněné nepříznivé vlastnosti klasického uspořádání antény „J“ vedly k dalším experimentům. A tak se před časem objevil konstrukční popis [1] antény, kterou její autor označil jako „4xJ“ - viz obr. 2.

Zářič o celkové délce 3x $\lambda/4$, resp. $0{,}75\cdot\lambda$, napájený na spodním konci koaxiálním kabelem, je ve své spodní třetině obklopen čtveřicí svislých vodičů o délce $\lambda/4$, vetknutých do základní vodivé nosné desky. Tyto čtyři vodiče významně ovlivňují napájecí a vyzařovací vlastnosti antény, tj. přizpůsobení a diagram záření ve svislé rovině. V podstatě tvoří sériový přizpůsobovací obvod - čtvrtvlnný transformátor. Skutečným zářičem se tak stává převážně jen horní půlvlnná část celého tříčtvrtěvlnného zářiče (viz obr. 4). Půlvlnná horní část zářiče je napájena (buzena napětím) na svém spodním konci, tj. v místě vysoké impedance. Přizpůsobení k vlnové impedanci napáječe je tak realizováno poněkud neobvyklým čtyřvodičovým čtvrtvlnným transformátorem, jehož vlnová (charakteristická) impedance Z_t by měla vyhovovat vztahu:

$$Z_t = \sqrt{(Z_a \cdot Z_0)}, \qquad (1)$$



Obr. 4. Rozložení vf proudů na původní jednopásmové anténě 4xJ (plné čáry) a na její dvoupásmové verzi (plné a přerušované čáry). Označené délky se vztahují k pásmu 435 MHz

kde Z_a je impedance půlvlnného zářiče v místě napájení, tj. na jeho (spodním) konci, a Z_0 je vlnová impedance použitého napáječe - koaxiálního kabelu.

Impedance každé rezonanční antény (v našem případě zářiče $\lambda/2$), tj. antény se stojatou proudovou (i napěťovou) vlnou, se podél antény mění v závislosti na okamžitém poměru vf napětí a proudu v daném místě.

Na (každém) konci zářiče, kde je napětí maximální a proud minimální, je poměr napětí a proudu největší. Na konci zářiče je tedy největší i impedance Z_a, která tam dosahuje velikosti několika stovek Ω až jednotek kΩ podle štíhlosti antény. Čím je štíhlost (poměr délky a průměru vodiče) větší, tím větší je i impedance Z_a, resp. činný odpor antény v rezonanci.

Na 435 MHz bude mít popisovaná anténa v místě napájení impedanci Z_a asi 800 až 1000 Ω (při délce zářiče 335 mm a průměru zářiče 6 až 8 mm). Aby se tato impedance Z_a přetransformovala na vlnovou impedanci napáječe Z_0 = 50 Ω, měla by být (podle vzorce (1)) vlnová impedance Z_t čtvrtvlnného transformátoru asi 200 Ω.

Pokud by se použilo obvyklého souosého (trubkového) uspořádání (viz obr. 2b), pak by při průměru vnitřního vodiče 8 mm bylo nutno zhotovit vnější vodič transformátoru z trubky o průměru asi 230 mm (!!), což je svým způsobem nereálné.

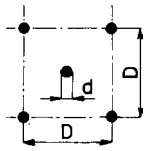
Proto autor původní jednopásmové konstrukce realizoval tento čtvrtvlnný transformátor jako souosé pětivodičové „klecové“ vedení, jehož střední vodič je prodloužen o půlvlnu nad zbývající čtyři vnější vodiče čtvrtvlnné.

Vlnovou impedanci pětivodičového vedení počítáme podle vzorce:

$$Z_t = 173\cdot\log(1{,}14\cdot D/d), \qquad (2)$$

kde D je osová obvodová rozteč čtyř vnějších vodičů a d je jejich průměr (viz obr. 5).

Vzorec platí pro shodný průměr všech vodičů, včetně středního. Liší-li se průměr vnějších vodičů mírně od průměru vnitřního vodiče, nemá to při větší vlnové impedanci (což je náš případ) patrný vliv na jeho vlnovou impedanci a tím i na transformaci.



Obr. 5. Geometrie pětivodičového nesouměrného vedení

Podle vzorce (2) byla z mechanických rozměrů pětivodičového vedení (transformátoru) vypočtena jeho vlnová impedance Z_t= 214 Ω (pro D = 120 mm a d = 8 mm).

Po dosazení do upraveného vzorce (1) tak vychází, že impedance na konci půlvlnného zářiče činí $Z_a = Z_t^2/50 = 214^2/50 = 916$ Ω, což lze považovat za reálné.

Pokud jde o vlastnosti vyzařovací, pak jen půlvlnný úsek, vyčnívající nad vodiče transformátoru, lze považovat za vlastní zářič, když záření dolního čtvrtvlnného úseku, do značné míry „stíněného“ vnějšími vodiči transformátoru $\lambda/4$, je výrazně potlačeno. Směrový diagram antény se tedy přibližuje spíše záření prostého vertikálního unipólu $\lambda/2$ (viz směrový diagram pro $0{,}5\cdot\lambda$ na obr. 6). Pokud by neomezeně zářil celý vodič o délce $3\cdot\lambda/4$ ($0{,}75\cdot\lambda$), bylo by maximum záření vychýleno nad rovinu horizontu o 47 °.

Čtvrtvlnný transformátor zároveň působí jako „izolační“ čtvrtvlnný rukáv, který omezuje přechod anténních (vyzařujících) proudů na vnější povrch napáječe, resp. stožáru.

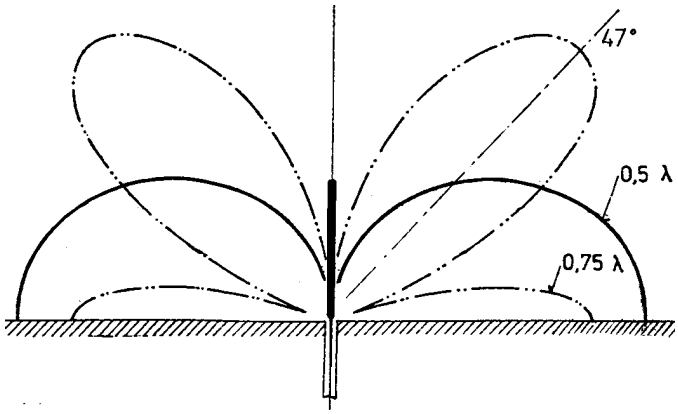
Tolik tedy k původní jednopásmové anténě „4xJ“.

Úprava antény pro dvě pásma

Dvoupásmovou variantu této antény zhotovíme poměrně snadno, doplníme-li původní anténu čtveřicí šikmých radiálních čtvrtvlnných prvků pro pásmo 145 MHz v rozích základní desky, resp. v místě, kde jsou vetknuty svislé vodiče transformátoru. Je to zřejmé z obr. 7 a obr. 8.

Na pásmu 145 MHz tak anténa pracuje jako čtvrtvlnný unipól nad protiváhou, tj. jako anténa typu GP (ground plane). Její směrové ani napájecí vlastnosti prakticky nejsou čtveřicí vodičů

Obr. 6. Diagram záření vertikálních antén - unipólů $\lambda/2$ a $\lambda\cdot3/4$ - ve svislé (vertikální) rovině. Obě antény jsou pro porovnání uvažovány nad dokonalou protiváhou



transformátoru ovlivněny. Na kmitočtu 145 MHz jsou totiž tyto vodiče příliš krátké (0,083·λ), takže jejich vliv je zanedbatelný.

Čtyři radiální vodiče protiváhy pro 145 MHz se naopak neuplatní v pásmu 435 MHz, protože jsou od půlvlnného zářiče pro toto pásmo dostatečně odděleny „klecovým rukávem“ čtvrtvlnného transformátoru. Horní konec zářiče v podstatě vyzařuje jako vertikální dipól $\lambda/2$, jak je vidět z diagramů záření ve svislé rovině na obr. 10 (diagramy byly vytvořeny počítačovou simulací programem EZNEC [P-1]).

Na každém pásmu se anténa napájí jinak.

Na kmitočtu 145 MHz se anténa napájí proudově v patě čtvrtvlnného zářiče - unipólu, tj. v místě malé impedance.

Na kmitočtu 435 MHz se napájí spodní konec půlvlnného zářiče napěťově, a to „přes“ vnitřní vodič čtvrtvlnného transformátoru, se kterým tvoří půlvlnný zářič jeden celek (jak bylo již výše vysvětleno).

Napájecí vlastnosti (přizpůsobení) ovlivňuje na obou pásmech především délka zářiče. Konečné „doladění“ na 145 MHz je závislé na délce a sklonu radiálních vodičů protiváhy, který je definován úhlem α. Na kmitočtu 435 MHz je přizpůsobení závislé na délce a průměru čtyř vodičů transformátoru, resp. na jeho vlnové impedanci Z_t, ale i na kvalitě a kapacitě anténního izolátoru a konektoru.

Konečná délka společného zářiče je nakonec kompromisem při požadavku optimálního přizpůsobení na každém z obou pásem, jak je zřejmé ze Smithova diagramu na obr. 9 (střední kružnice vymezuje oblast s ČSV ≤ 2).

Naměřené hodnoty platí pro konstrukční uspořádání podle výkresu na obr. 7 a pro rozměry uvedené v tab. 1. V prvním a ve druhém řádku tabulky jsou uvedeny též rozměry původních jednopásmových antén podle [1]. Všechny rozměry jsou v mm.

Upozorňujeme na značný rozdíl v celkové délce nejdelších prvků dvoupásmové antény a původní jednopásmové verze pro 145 MHz, jejíž zhotovení je proto podstatně obtížnější, a to při shodných elektrických vlastnostech obou antén na tomto pásmu.

Konstrukce antény

Hlavním konstrukčním prvkem antény je základní deska, nejlépe z duralového plechu, která má rozměry 130x130x2 mm. K desce jsou upevněny všechny části antény včetně panelového konektoru PL na spodní straně desky. S ohledem na pásmo 435 MHz by lépe vyhovoval konektor N, nicméně všechna impedanční měření byla provedena s konektorem PL.

Pro spolehlivou dlouhodobou činnost antény ve vnějších klimatických podmínkách je rozhodující stabilní upevnění zářiče. OK1ANM, který si zhotovil anténu na 435 MHz v původní verzi, to vyřešil originálně - prázdným keramickým pouzdrem z venkovní pojistky, upevněným čtyřmi šrouby k základní desce. Do pouzdra zalil epoxydovou pryskyřicí konec zářiče, který spojil s vnitřním vodičem konektoru zapájeným šroubem M4x15. Tento celek je po zatvrdnutí epoxydové pryskyřice nerozebiratelný. Vše je zřejmé z fotografie na obr. 8.

Ke spodní straně základní desky je zároveň připevněn stožárový držák, nejlépe tak, aby stožárem mohl být veden napáječ přímo proti konektoru. K připevnění držáku je možno využít čtyř šroubů izolátoru.

Svislé vodiče transformátoru mají na dolním konci závit M6 se dvěma maticemi, které svírají základní desku spolu se zploštělými konci šikmých radiál pro 145 MHz.

Radiální vodiče jsou zhotoveny z hliníkových (Al) trubek o vnějším průměru 6 mm a tloušťce stěny 1 mm, které v poslední polovině až třetině délky radiál „teleskopicky“ přecházejí v plné hliníkové vodiče o průměru 4 mm. Je možné zvolit alternativní uspořádání radiál bez patrného vlivu na vlastnosti antény. Délka i úhel sklonu radiál by však měly být zachovány.

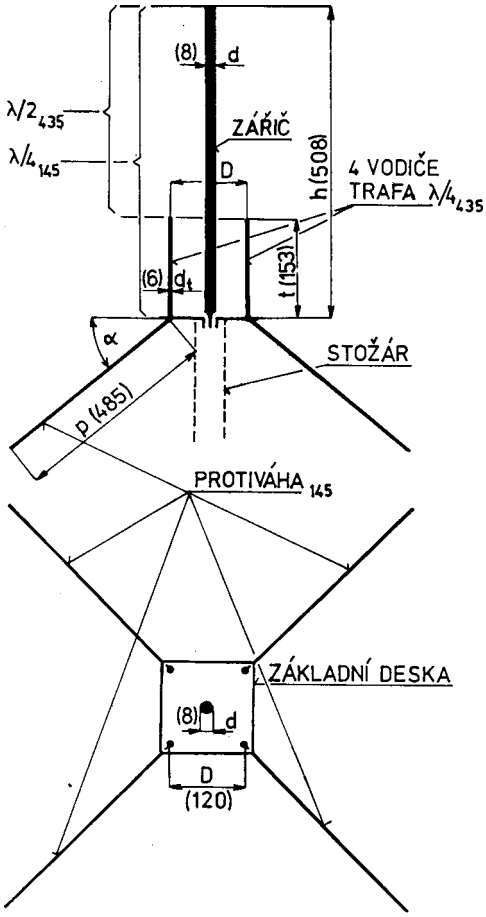
Jistou nevýhodou popsaného uspořádání (a většiny antén typu GP) je přímé galvanické spojení **neuzemněného zářiče** se vstupem radiostanice, který tak není chráněn před přímými účinky atmosferické elektřiny.

Tento nedostatek se zpravidla řeší čtvrtvlnným úsekem zkratovaného koaxiálního kabelu, který se připojí paralelně mezi vnitřní vodič a kostru (zemi) anténního konektoru, a to nejlépe přímo u antény, popř. u radiostanice.

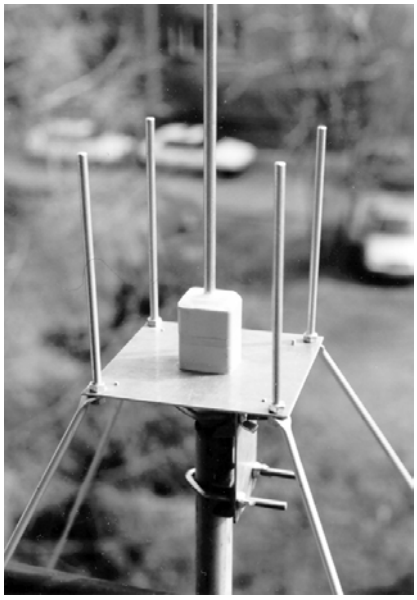
U profesionálních antén se zpravidla uzemňuje vlastní zářič souosým vedením uvnitř zářiče.

V našem případě musí být zářič spojen se zemí zkratovaným úsekem koaxiálního kabelu o elektrické délce $\lambda/4$ (0,25·λ x činitel zkrácení) na kmitočtu 145 MHz. Na kmitočtu 435 MHz bude mít tento kabel sice délku 0,75·λ, avšak bude se chovat také jako zkratované vedení o délce $\lambda/4$, protože zbývající část vedení o délce $\lambda/2$ transformuje impedanci v poměru 1 : 1 a v úzkém kmitočtovém pásmu se prakticky neuplatní.

Po sestavení a instalaci se celá anténa chrání nátěrem resistinu.



Obr. 7. Rozměrové schéma antény GP 4xJ pro pásma 145 a 435 MHz. Konkrétní rozměry v závorkách, včetně značení, odpovídají údajům v tab.1.



Obr. 8. Pohled na střední část antény s izolátorem

Tab. 1. Rozměry (v mm) jednopásmových antén 4xJ a antény „duoband“ GP 4xJ pro pásma 145 a 435 MHz. Označení jednotlivých rozměrů antény vyplývá z obr. 7.

Pásmo	*h*	*t*	*D*	*d*	d_t	*p*	α
145 MHz	1530	500	208	8	6	-	-
435 MHz	490	155	120	8	6	-	-
145 + 435 MHz	508	153	120	8	6	486	60 °

Výsledky měření a výpočtů

Profesionální vývoj antény končí závěrečným měřením elektrických vlastností v pracovním kmitočtovém pásmu.

Výsledky měření ve formě tabulek a grafů mají kvantifikovat hlavní elektrické parametry, resp. potvrdit funkčnost a provozuschopnost antény. Uživateli pak mají usnadnit orientaci při výběru antény.

Měří se napájecí vlastnosti (přizpůsobení) a směrové vlastnosti (jak a kam anténa vysílá/přijímá). Antény se zpravidla podrobují ještě mechanickým a klimatickým zkouškám odolnosti. Stejné proceduře by měly být vystavovány i antény, určené pro použití na pásmech amatérských.

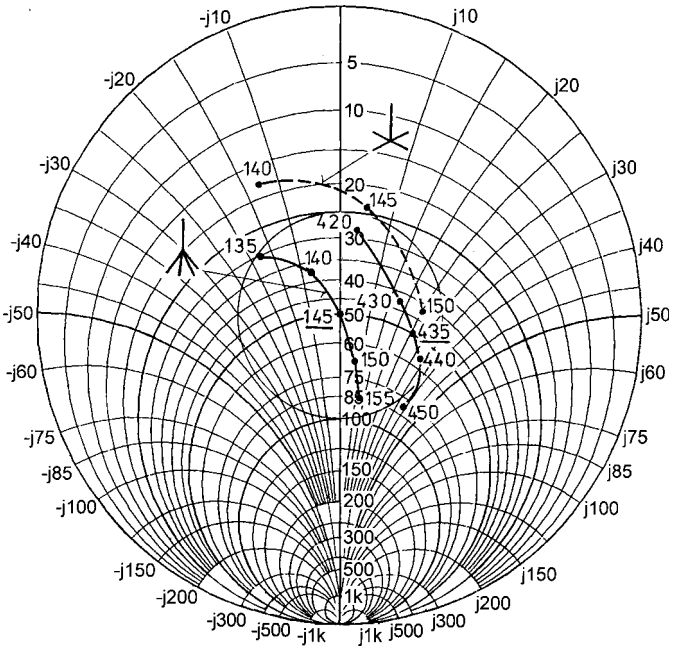
Tento požadavek je však současné praxi mnohdy dosti vzdálený. Prodávané antény často deklarované parametry nesplňují. I mechanické vlastnosti bývají nevalné. Výrobci do jisté míry hřeší jednak na částečnou „anténní negramotnost“ amatérských uživatelů a jednak na problematickou možnost kontroly elektrických parametrů antén v amatérských podmínkách.

Situace se však mění. Amatérským experimentátorům jsou již dostupné víceúčelové přístroje, určené pro měření napájecích vlastností antén, jejichž přesnost je srovnatelná s přesností drahých profesionálních přístrojů. Problematická měření vyzařovacích vlastností na pásmech KV byla prakticky realizována jen statistickým zpracováváním stovek navázaných spojení. Dnes tyto metody vytlačují snadno ovladatelné počítačové programy, např. [P-1, P-2, P-3] a další podobné.

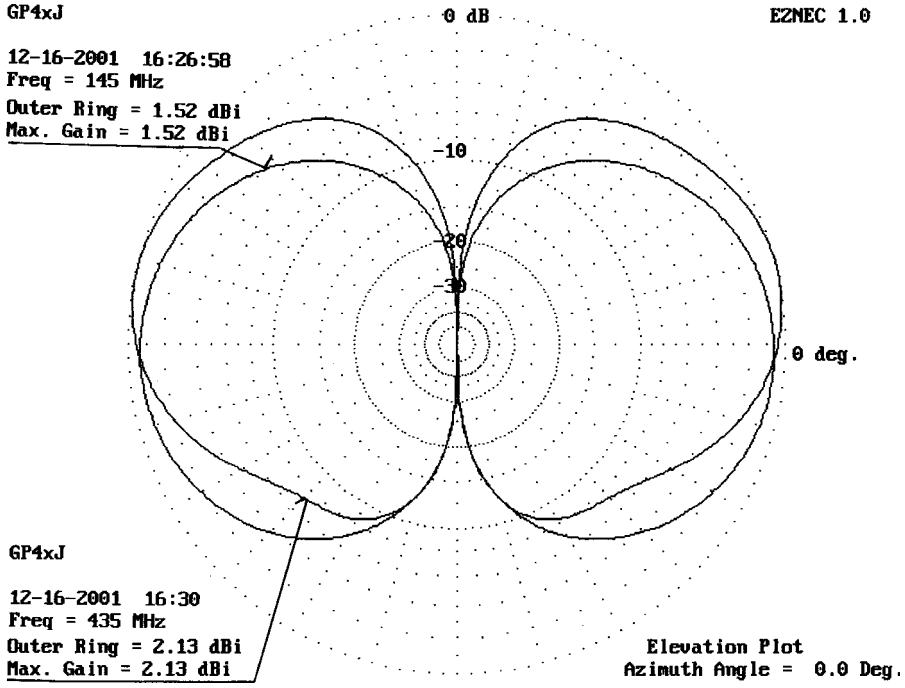
Jejich pomocí se dají předem vypočítat a optimalizovat elektrické vlastnosti i velmi nezvyklých anténních konfigurací, kterými jejich tvůrci řeší své specifické podmínky. Je to neuvěřitelný pokrok, zcela nedávno sotva představitelný. Předpokladem pro účelné využití těchto metod je už jen hlubší zájem o tuto velmi zajímavou a přitažlivou problematiku.

Tento postup byl uplatněn i při návrhu a měření relativně jednoduché antény GP 4xJ. Její charakteristické elektrické vf vlastnosti jsou vyjádřeny formou grafů na obr. 9 a obr. 10.

Ze Smithova diagramu na obr. 9 je zřejmé, že anténa splňuje požadavky na dobré přizpůsobení na obou pásmech. ČSV na kmitočtu 145 MHz je při napájení koaxiálním napáječem s vlnovou impedancí 50 Ω přesně 1. Na 435 MHz pak ČSV činí 1,6. Účinnost přenosu se zde zmenšuje o necelých 5 %, což představuje -0,22 dB. Vysílač připojený koaxiálním kabelem tak malé nepřizpůsobení vůbec nezaregistruje. Bude-li útlum kabelu činit jen 4 dB (např. 20 m kabelu RG 213), bude na anténním konektoru vysílače *ČSV* rovno 1,2.



Obr. 9. Impedanční křivky antény GP 4xJ na obou pásmech, měřené na vstupním konektoru typu PL. Přerušovaná čára platí pro anténu s vodorovnými vodiči protiváhy. Optimálním sklonem vodičů se impedance zvětší na 50 Ω



Obr. 10. Vypočtené vertikální diagramy záření antény GP 4xJ mají na obou pásmech prakticky shodný tvar, odpovídající záření půlvlnných antén ve volném prostoru. Spolu s impedančními diagramy na obr. 9 dokumentují funkčnost antény GP 4xJ

Za pozornost snad ještě stojí impedanční křivka antény (unipólu $\lambda/4$) pro 145 MHz s vodorovnými prvky protiváhy, jehož impedance je teoreticky i fakticky polovinou impedance dipólu $\lambda/2$, kterému se díky skloněným vodičům protiváhy anténa GP 4xJ přibližuje. Sklonem, který činí 60° od vodorovné roviny, se impedance zmenšila na potřebných 50 Ω.

Vyzařovací vlastnosti tak jednoduché antény, jakou je vertikální půlvlnný dipól, jistě není třeba měřit ve vodorovné rovině, kde je diagram všesměrový, nepatrně zvlněný čtyřprvkovou protiváhou (diagram záření ve vodorovné rovině, tj. v rovině rovnoběžné se zemí, bývá při počítačovém znázornění označován Azimutal Plot).

Vyzařovací vlastnosti svislého půlvlnného dipólu by nebylo nutné měřit ani v rovině vertikální (Elevation Plot). Víme, že ve volném prostoru má dipól v běžném dvojrozměrném zobrazení tvar „ležaté osmičky“, při zobrazení prostorovém se stává anuloidem (prstencem) vzniklým rotací „ležaté osmičky“ kolem svislé osy. Takové měření je obecně velmi obtížné, zvláště při požadavku zahrnout do měření i vliv a délku stožáru a země.

Neobvyklá kombinace šikmých prvků protiváhy a svislých prvků transfor-

mátoru však byla dobrým podnětem k ověření vertikálního diagramu záření této anténní struktury na každém z obou pásem počítačovou simulací programem EZNEC 1.0 [P-1] na letitém PC „486“.

Vertikální diagramy záření na obr. 10, zjištěné tímto způsobem, potvrzují, že anténa splňuje požadavky i předpoklady, a na každém pásmu skutečně září jako půlvlnný dipól s maximem ve vodorovné rovině. Pro objektivní posouzení případných rozdílů mezi oběma diagramy byla anténa simulována v podmínkách volného prostoru.

O tom, že naměřené diagramy záření odpovídají na každém z obou pásem předpokládanému proudovému rozložení (obr. 4) podél všech prvků anténní struktury, nás přesvědčují obr. 11 a obr. 12 (intenzita vf proudů odpovídá šířce vyčerněné plochy).

Vliv země je zřejmý z diagramů záření na obr. 13 a obr. 14. Členitost diagramů působí interferenční minima při umístění antény nad více či méně vodivou zemí. Minima vznikají interferencí přímé a od země odražené vlny, kdy se jejich amplitudy podle fáze odražené vlny periodicky sečítají nebo odečítají. Čím je země dokonaleji vodivější, tím jsou interferenční minima hlubší (ostřejší), protože ztráty při odrazu jsou menší a amplituda odražené vlny se více přibližuje amplitudě přímé vlny.

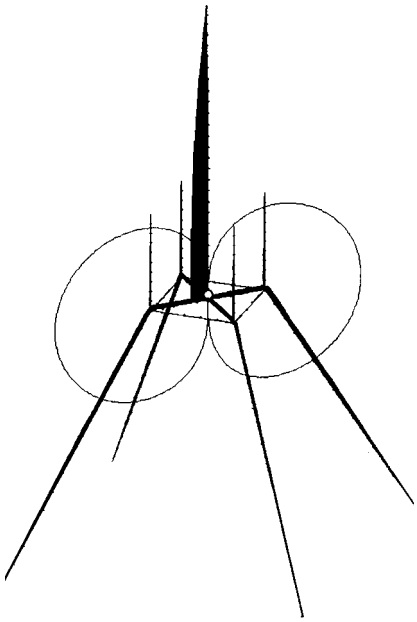
Při výpočtu se použily parametry odpovídající tzv. standardní - střední zemi, tj. měrná vodivost 0,005 [1/mΩ] a dielektrická konstanta (relativní permitivita) $\varepsilon_r = 13$.

Čím je anténa výše, tím členitější je diagram, což je možné doložit celou řadou podobných diagramů, které počítač po změnách zadané výšky bez potíží rychle spočítá, znázorní na monitoru a vytiskne.

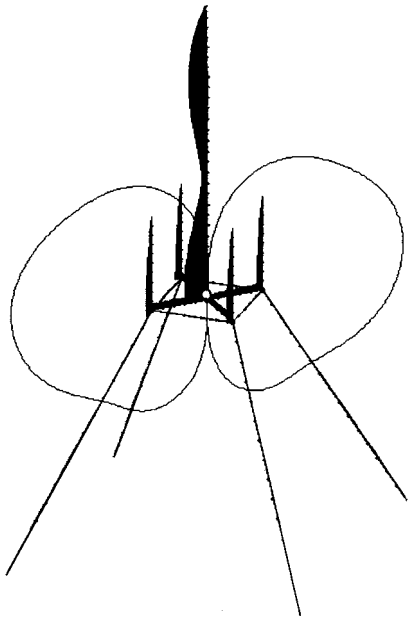
Porovnáme-li tyto diagramy s běžně uváděnými teoretickými diagramy nad dokonale vodivou zemí (obr. 4), vidíme, že maximum záření je vychýleno nad rovinu horizontu o jistý elevační úhel, pro který platí i uváděný zisk v dBi.

Čím je anténa výš, tím nižší je tento elevační úhel a tím větší je intenzita elektromagnetického pole nad zemí.

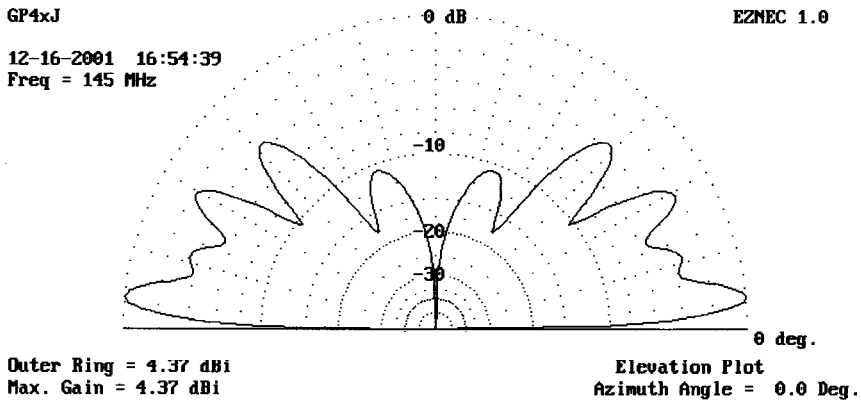
Znázorněné diagramy jsou sice vypočteny, ale jejich tvar se podstatně neliší od skutečnosti, pokud se zadané parametry země shodují se skutečnými. Při provozu nad zemí s podstatně odlišnými parametry je třeba počítat s jistými odchylkami, ale základní tvar digramu a jeho členitost se podstatně nezmění.



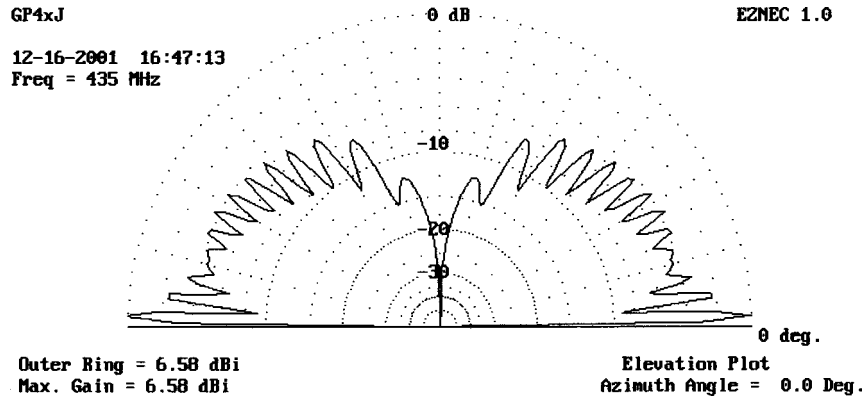
Obr. 11. Počítačová simulace proudového rozložení na všech vodičích antény GP 4xJ na kmitočtu 145 MHz



Obr. 12. Počítačová simulace proudového rozložení na všech vodičích antény GP 4xJ na kmitočtu 435 MHz



Obr. 13. Vertikální diagram záření antény GP 4xJ na kmitočtu 145 MHz. Výpočet platí pro anténu ve výši 2·λ (4 m) nad reálnou zemí



Obr. 14. Vertikální diagram záření antény GP 4xJ na kmitočtu 435 MHz. Výpočet platí pro anténu ve výši 6·λ (4 m) nad reálnou zemí

Literatura

[1] *Hille, K. H. DL1VU*: Neue Sperrtopf-Antenne fur VHF/UHF bei Helmut Bench. Funk 6/1997.

[2] *Bench, H.*: Die J-Antenne fur das 2-m Band. Funk 1/1995.

[P-1] *Lewallen, R. W7EL*: EZNEC 1.0 (30. 5. 1995), EZNEC 3.0 (6. 7. 2000). PO-Box 6658, Beaverton, OR 97007, <w7el@eznec.com> http://eznec.com/demoinfo.htm

[P-2] *Makoto Mori, JE3HHT*: MMANA 0.5 (10. 1. 1999 - první verze), (7. 7. 2000 - poslední verze). www.qsl.net/mmham5oft/mmana/index.htm

[P-3] Madjid Boukri, VE2GMI: NEC4WIN 1.9M (1. 11. 1997). ORION Microsystems, 197 Cr. Joncaire, Ile Bizard, Quebec, Canada, H9c 2P7, tel. (514) 626 52, <mboukri@cam.org>

Seznam článků s anténní tématikou

Články, uvedené v následujícím seznamu, publikoval autor v časopisech Amatérské Radio (AR resp. AR-A), Amatérské Radio pro konstruktéry (AR-B), Praktická elektronika (PE-A), Ročenka AR ELECTUS (ELEC), Sdělovací technika (ST), Stereo a Video (SV) atd.

Yagiho směrové antény - 1. část (úvod, definice, názvosloví, současný stav). AR 8/1961, s. 234 až 236.

Yagiho směrové antény - 2. část (směrové vlastnosti). AR 10/1961, s. 294 až 297.

Yagiho směrové antény - 3. část (impedanční vlastnosti). AR 2/1962, s. 48 až 51.

Yagiho směrové antény - 4. část (konstrukce antén). AR 3/1962, s. 81 až 84.

Yagiho směrové antény - 5. část (souhrn poznatků a anténa na 435 MHz). AR 6/1962, s. 172 až 174.

Anténní soustavy - 1. část (řazení antén, napájení laděné a neladěné). AR 3/1963, s. 80 až 83.

Anténní soustavy - 2. část (směrové vlastnosti). AR 7/1963, s. 201 až 204.

Zisk a směrové vlastnosti šroubovicových antén. ST 2/1981, s. 63 a 64.

Antenní výhybka (z koaxiálních kabelů). VKV technika 1/1965, s. 9 až 12.

Yagiho směrové antény pro VKV a UKV. AR-B 1/1982, s. 2 až 38.

Antény a anténní soustavy. AR-B 1/1984, s. 2 až 37.

Od antény k (TV) přijímači. AR-B 2/1986, s. 42 až 76.

Antény, kabely a konektory (všesměrové vertikální antény pro CB a pásmo 2 m). AR-B 1/1994, s. 3 až 40.

Antény (nejen) pro amatérská pásma. Konstrukční elektronika 3/2002, s. 3 až 33.

Jednoduché obvody ze souosých kabelů. ELEC 1994, s. 19 až 24.

Směrová anténa pro pásmo 430 až 440 MHz. ELEC 1997, s. 36 až 38.

Celovlnné smyčky - antény typu QUAD. ELEC 1999, s. 65 až 67.

Měření s analyzátorem ČSV typu MFJ 259B. ELEC 2000, s. 51 až 55.

Dvoupásmová TV přijímací anténa - jedna anténa na dva programy. AR-A 2/1988, s. 66 až 69.

Jedna anténa pro dvě amatérská pásma (145 a 435 MHz). AR-A 6/1991, s. 230 až 232.

Rukávová anténa pro 145 MHz - OK1ASB. AR-A 6/1992, s. 295.

S-metry a jejich údaje - 1. část. AR-A 4/1993, s. 37.

S-metry a jejich údaje - 2. část. AR-A 7/1993, s. 41 a 42.

Měření reflektometrem - 1. část. AR-A 8/1993, s. 42.

Měření reflektometrem - 2. část. AR-A 9/1993, s. 43 a 44.

Využití souosých kabelů s impedancí 75 Ω (nejen) na pásmu CB - 1. část. AR-A 11/1993, s. 38 a 39.

Využití souosých kabelů s impedancí 75 Ω (nejen) na pásmu CB - 2. část. AR-A 1/1994, s. 38 a 39.

Anténa na „Premiéru“ - K24. AR-A 3/1994, s. 8 až 10.

Souměrné vf napáječe - dvoulinky. AR-A 4/1994, s. 28 a 39.

Krátké (zkrácené) antény - 1. část. AR-A 5/1994, s. 28 a 39.

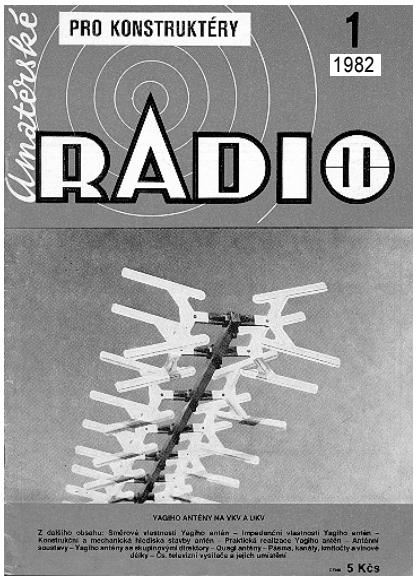
Krátké (zkrácené) antény - 2. část. AR-A 7/1994, s. 38.

KRCKA 2 (čtyřprvková anténa pro 145 MHz). Sborník HOLICE 1993, s. 26 až 28.

Autoantény - 1. díl. SV 8/1994, s. 61 a 62.

Autoantény - 2. díl. SV 9/1994, s. 51 až 53.

Elektronické autoantény. SV 10/1994, s. 77 až 79.



Příjem rozhlasu a TV. SV 1/1996, s. 8 až 15.

Délka anténních prvků a její korekce - 1. část. PE-A 6/1996, s. 38.

Délka anténních prvků a její korekce - 2. část, PE-A 7/1996, s. 42.

Proč a jak měříme ČSV (PSV) - 1. část. PE-A 4/1997, s. 32 a 47.

Proč a jak měříme ČSV (PSV) - 2. část, PE-A 6/1997, s. 32.

Proč a jak měříme ČSV (PSV) - 3. část, PE-A 7/1997, s. 42.

Diskutované téma - kruhové antény. PE-A 10/1998, s. 44 a 45.

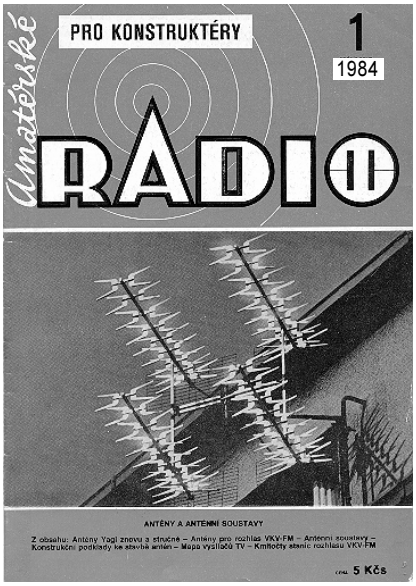
Účinnost „neviditelných“ antén. PE-A 4/1999, s. 30 a 31.

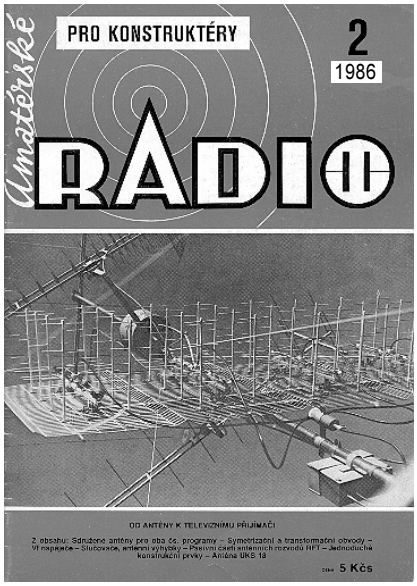
MFJ 259B - nový model analyzátoru ČSV. PE-A 7/1999, s. 43 a 44.

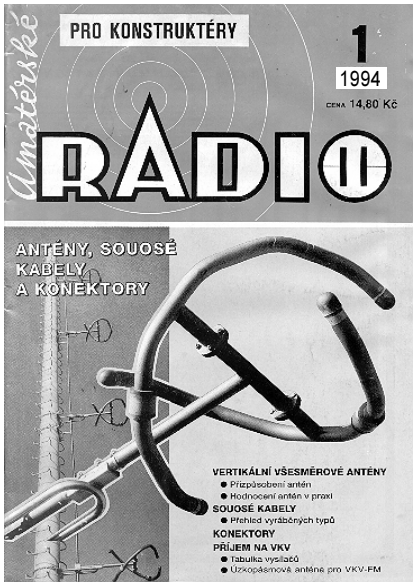
Přizpůsobení antény „Ringo Ranger“ (typ ZK2-145 MHz). PE-A 8/2000, s. 42 a 43.

Nalaďte si kabely pomocí kalkulačky. CB-magazin Výzva na kanále 4/2001, s. 4.

Antenna Compendium – to nejlepší o anténách a šíření. PE-A 12/2001, s. 44.







ZAJÍMAVÁ A PRAKTICKÁ ZAPOJENÍ

Do některých monotematicky zaměřených čísel časopisu Konstrukční elektronika je přidáván seriál zajímavých a praktických zapojení, převzatých ze zahraničních elektrotechnických a radioamatérských časopisů. Do tohoto čísla KE byla vybrána zapojení z oblasti napájecích zdrojů a nabíječek a různě aplikované elektroniky.

Uvedená zapojení je vhodné brát především jako podnět a inspiraci k další tvůrčí činnosti a je možné (a někdy i nutné) s nimi dále laborovat. U konstrukcí s uvedenými deskami s plošnými spoji byla ověřena funkčnost zapojení a případné chyby z původního pramene byly odstraněny.

Napájecí zdroje, nabíječky

Obvod IRU3037 pro měniče DC/DC

Rozšíření logických obvodů s napájecím napětím okolo třech voltů si vynutilo potřebu impulzních měničů DC/DC s malým výstupním napětím. Jedním z řídicích obvodů pro takové měniče je IO IRU3037 od firmy International Rectifier.

IRU3037 je určen pro impulzní přeměnu vstupního stejnosměrného napětí 4 až 25 V na výstupní stejnosměrné napětí 1,8 až 3,3 V. Celková vlastní spotřeba napájecího proudu je typicky 16 mA. Obvod v základní verzi pracuje se spínacím kmitočtem 200 kHz, obvod IRU3037A má spínací kmitočet 400 kHz.

IO je vybaven všemi potřebnými řídicími a ochrannými funkcemi. Umožňuje „měkký“ start, vypíná se při podpětí na svých napájecích přívodech Ucc a Uc a také se vypíná při podpětí na výstupu měniče (při zkratu na výstupu).

IO IRU3037 se dodává v pouzdrech SO 8 nebo TSSOP 8.

Podrobnější technické údaje a aplikační zapojení jsou k dispozici na Internetu na adrese:
http://www,irf.com/product-info/datasheets/data/iru3037.pdf

Zapojení měniče s obvodem IRU3037 na předváděcí desce (Demo-board) je na obr. 1. Jedná se o klasické zapojení snižujícího (buck) měniče, který však místo obvyklé Schotkyho diody má řízený spínač T2. Na spínacím tranzistoru T2 vzniká podstatně menší úbytek napětí než na Schotkyho diodě, takže i při malém výstupním napětí je účinnost měniče velmi vysoká. Měnič podle obr. 1 má při vstupním napětí 5 V a výstupním napětí 3,3 V v rozsahu výstupního proudu 1 až 9 A účinnost větší než 90 % a při výstupním proudu 2 A má účinnost dokonce 93 %.

Pro napájení řídicího obvodu horního spínacího tranzistoru T1 se musí na vývod Uc obvodu IRU3037 přivádět napětí nejméně o 4 V větší, než je napětí na vývodu Ucc. Aby nemusel být použit zvláštní napájecí zdroj, je napětí *Uc* získáváno zdvojovačem z impulzního napětí na tranzistorech T1, T2.

Podmínkou dosažení dobrých parametrů měniče (účinnost, zvlnění, rušení atd.) je použití vhodných (speciálních) součástek, které se bohužel běžně neprodávají. Jsou to především spínací tranzistory, elektrolytické kondenzátory a cívky (všechny součástky jsou v provedení SMD).

Pro informaci jsou dále uvedena typová označení a doporučené parametry stěžejních součástek.

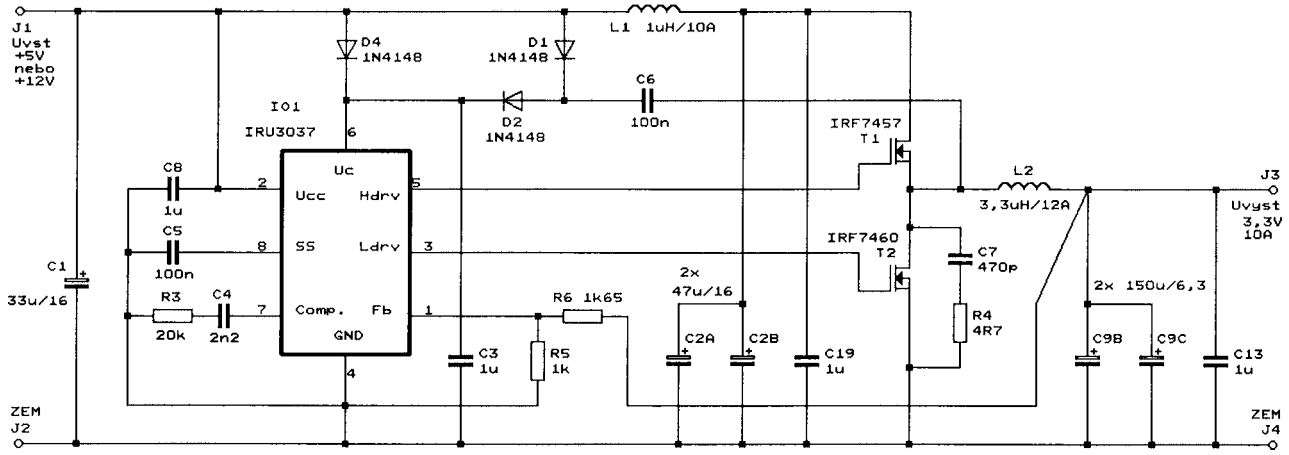
T1 je typu IRF7457 od firmy International Rectifier. Je to tranzistor MOSFET s kanálem N v pouzdru SO 8. Má řídicí napětí 4 V, vstupní kapacitu 3100 pF, průrazné napětí drainu 20 V, odpor v sepnutém stavu 7 mΩ, maximální proud 12 A, mezní proud 120 A atd.

T2 je typu IRF7460 od firmy International Rectifier. Je to tranzistor MOSFET s kanálem N v pouzdru SO 8. Má řídicí napětí 4 V, vstupní kapacitu 2050 pF, průrazné napětí drainu 20 V, odpor v sepnutém stavu 10 mΩ, maximální proud 10 A, mezní proud 100 A atd.

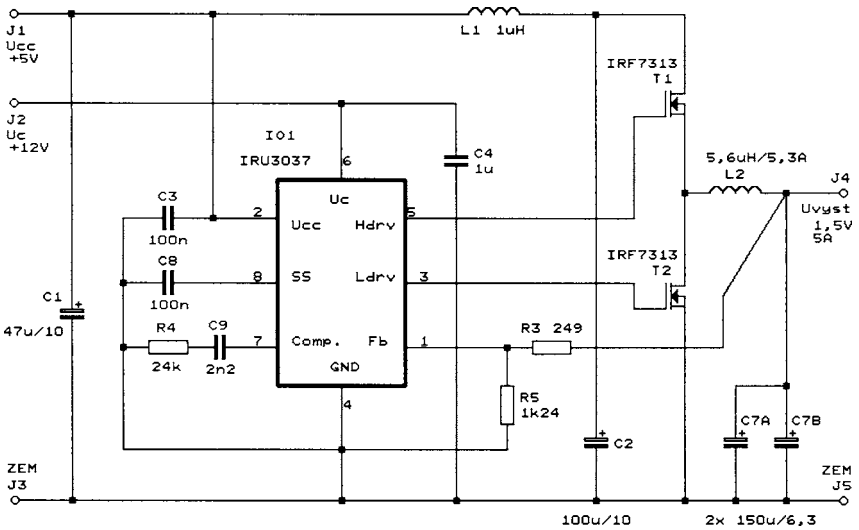
L1 je cívka typu D03316P-102HC od firmy Coilcraft. Má indukčnost 1 μH a je určena pro proud 10 A.

L2 je cívka typu D05022P-332HC od firmy Coilcraft. Má indukčnost 3,3 μH a je určena pro proud 12 A.

C1 je tantalový elektrolytický kondenzátor typu ECS-T1CD336R od fir-



Obr. 1. Zapojení měniče DC/DC s obvodem IRU3037 na předváděcí desce



Obr. 2. Základní zapojení měniče DC/DC s obvodem IRU3037

my Panasonic. Má kapacitu 33 µF a pracovní napětí 16 V.

C2A, C2B jsou elektrolytické kondenzátory Poscap typu 16TPB47M od firmy Sanyo. Mají kapacitu 47 µF, pracovní napětí 16 V a *ESR* = 70 mΩ.

C9B, C9C jsou elektrolytické kondenzátory Poscap typu 6TPC150M od firmy Sanyo. Mají kapacitu 150 µF, pracovní napětí 6,3 V a *ESR* = 40 mΩ.

Ostatní součástky jsou běžné SMD, rezistory R5 a R6 maji toleranci 1 %.

Nejjednodušší základní zapojení měniče s obvodem IRU3037 je na obr. 2. Měnič je určen pro vestavění do zařízení, ve kterém je k dispozici napětí 12 V pro napájení vývodu Uc obvodu IRU3037.

Za zmínku stojí spínací tranzistory T1 a T2 typu IRF7313 (MOSFET s kanálem N), které jsou jako dvojice umístěny v jediném pouzdru SO 8. Mají řídicí napětí 4 V, vstupní kapacitu 650 pF, průrazné napětí drainu 30 V, odpor v sepnutém stavu 29 mΩ, maximální proud 5,2 A, mezní proud 30 A atd.

Rovněž v tomto měniči musí mít elektrolytické kondenzátory malý *ESR*, C2 má doporučený *ESR* = 55 mΩ, C7A a C7B mají doporučený *ESR* = 40 mΩ.

Některé z předepsaných součástek nebo podobné vhodné součástky nabízí ve svém katalogu firma Semic Trade, s.r.o. (*www.semic.cz,* e-mail: *semic@vol.cz*).

Elektronika Praktyczna, 11/2001

Automatická nabíječka hermetických olověných akumulátorů

Popisovaná nabíječka je určena k průběžnému dobíjení hermetického olověného akumulátoru (SLA), ze kterého autor napájí transceiver Elecraft K2.

V původním prameni autor nejprve diskutuje nabíjení SLA běžnou třístavovou nabíječkou a poukazuje na nevhodnost použití této nabíječky k dobíjení SLA s připojeným transceiverem.

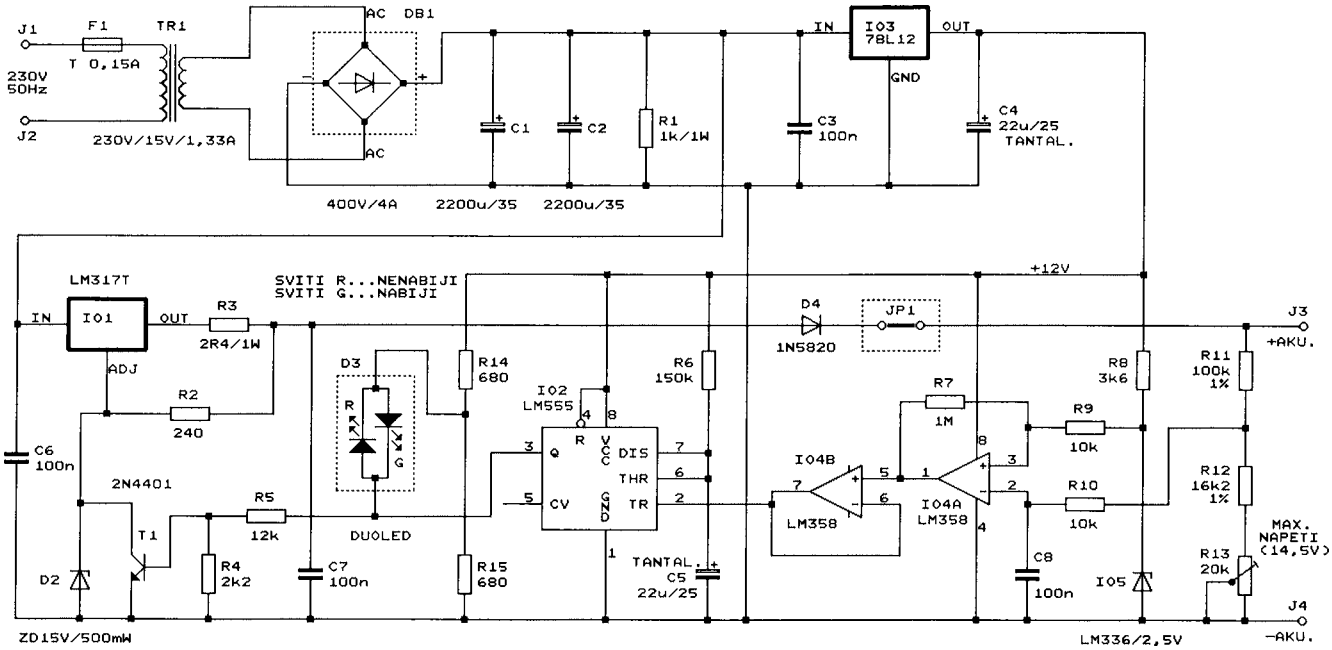
Připojí-li se ke třístavové nabíječce vybitý SLA, dodává nabíječka do SLA konstantní proud např. 500 mA a napětí na akumulátoru se postupně zvětšuje. Tento první stav nabíjení se nazývá *„bulk-mode“*. Dostoupí-li napětí na SLA velikosti 14,6 V, přestane se dále zvětšovat a začne klesat nabíjecí proud. Uvedený druhý stav se nazývá *„absorption mode“* nebo *„overcharge mode“* a během něj se SLA nabije na 85 až 95 % plné kapacity. Když poklesne nabíjecí proudu pod 30 mA, přejde nabíječka do třetího stavu, nazývaného *„float mode“*. Ve třetím stavu dodává nabíječka na svůj výstup napětí 13,8 V a akumulátor odebírá pouze proud, který kompenzuje samovybíjení. Když z nějakého důvodu napětí SLA klesne pod 12,4 V, přejde nabíječka do druhého stavu a SLA se rychle dobije. Pak nabíječka opět přejde do třetího stavu atd.

Pokud by nabíječka zůstávala trvale ve druhém stavu a dodávala na svůj výstup napětí 14,6 V, odebíral by SLA větší proud než odpovídá samovybíjení a byl by přebíjen. Tím by se zkracovala doba jeho života.

Pokud je během nabíjení třístavovou nabíječkou připojen k SLA transceiver K2, který má při příjmu odběr 220 mA a při vysílání 2 až 3 A, logika nabíječky se „zmate“ a SLA je buď přebíjen nebo nedostatečně nabíjen.

Aby odstanil tento nedostatek, navrhl autor automatickou nabíječku, jejíž schéma je na obr. 3.

SLA musí být připojen přímo k výstupním svorkám J3, J4. Nabíječka nabíjí SLA konstantním proudem 500 mA, který se vnitřním komparátorem vypne v okamžiku, když napětí na výstupu nabíječky (a tedy i na SLA) dosáhne veli-



Obr. 3. Automatická nabíječka hermetických olověných akumulátorů

kosti 14,5 V. Asi 4 s po vypnutí testuje vnitřní komparátor napětí na výstupu nabíječky (na SLA). Je-li během testu napětí na výstupu menší než 13,8 V, zapne se opět nabíjecí proud. Je-li během testu výstupní napětí větší než 13,8 V, nabíjení se neobnoví a nabíjecí proud se zapne teprve tehdy, když napětí poklesne pod 13,8 V.

SLA je tedy nabíjen řadou impulzů proudu 500 mA s proměnnou šířkou a periodou, přičemž střední hodnota nabíjecího proudu odpovídá střední hodnotě vybíjecího proudu (odběru transceiveru a samovybíjení). Akumulátor je tak trvale udržován plně nabitý.

Perioda spínání nabíjecího proudu je díky prodlevě testování výstupního napětí minimálně 4 s, takže nabíječka neprodukuje elektromagnetické rušení, které by zhoršovalo příjem radiových signálů. Kolísání napětí SLA mezi 14,5 a 13,8 V transceiveru nevadí.

Automatická nabíječka obsahuje síťový zdroj s transformátorem TR1, usměrňovacím můstkem DB1 a vyhlazovacími kondenzátory C1 a C2. Napětí ze zdroje se vede na výstup nabíječky přes stabilizátor IO1, který dodává na nezatížený výstup napětí 16,2 V a omezuje výstupní proud na 500 mA. Dioda D4 zabraňuje průtoku zpětného proudu z SLA do IO1 při vypnutém síťovém napětí. Propojka JP1 slouží při oživování komparátoru, v běžném provozu musí být zkratovaná.

Ke zdroji je také připojen pomocný stabilizátor IO3, který poskytuje napětí 12 V pro napájení vnitřních obvodů nabíječky.

Výstupní proud stabilizátoru IO1 (nabíjecí proud) je spínán tranzistorem T1, který je ovládán monostabilním klopným obvodem (MKO) s časovačem 555 (IO2). MKO je aktivován komparátorem (s operačními zesilovači IO4A a IO4B), který monitoruje výstupní napětí nabíječky. Komparátor má hysterezi, jeho dolní rozhodovací úroveň je 13,8 V, horní rozhodovací úroveň je 14,5 V. Když je na výstupu nabíječky napětí větší než 14,5 V, je na výstupu IO4B nízká úroveň L (přibližně potenciál země), při výstupním napětí nabíječky menším než 13,8 V je na výstupu IO4B vysoká úroveň H (přibližně +12 V).

Rozhodovací úrovně se nastavují trimrem R13 pomocí vnějšího regulovatelného zdroje. Zdroj je připojen k výstupním svorkám nabíječky a simuluje napětí na SLA. Při nastavování musí být rozpojena propojka JP1.

Když se k nabíječce připojí vybitý SLA, je na jejím výstupu napětí menší než 13,8 V. Proto je na výstupu IO4B úroveň H a MKO IO2 je v klidovém stavu. Na výstupu MKO (vývod *3* IO2) je úroveň L, tranzistor T1 je vypnutý a stabilizátor IO1 dodává do SLA proud 500 mA. Nabíjení SLA je indikováno svitem zelené (G) LED D3.

Když při nabíjení SLA překročí napětí na výstupu nabíječky velikost 14,5 V, přejde výstup IO4B do úrovně L a spustí se kyv MKO IO2. Po dobu kyvu, který trvá 4 s, je na výstupu MKO úroveň H, T1 je sepnutý a nabíjecí proud z IO1 je vypnutý. Absence nabíjecího proudu je indikována svitem červené (R) LED D3.

Pokud během kyvu MKO poklesne napětí na výstupu nabíječky (na SLA) pod 13,8 V a výstup IO4B se vrátí do úrovně H, přejde po ukončení kyvu výstup MKO do úrovně L a nabíjení se obnoví. Když během kyvu MKO napětí na výstupu nabíječky nepoklesne pod 13,8 V, setrvají výstup IO4B v úrovni L a výstup MKO v úrovni H a nabíjecí proud zůstane vypnutý. Nabíjení se obnoví, až když napětí na výstupu nabíječky poklesne pod 13,8 V.

Nabíječka je vestavěna do skříňky z plastické hmoty s větracími otvory.

Autor si pochvaluje, že s SLA s připojenou popisovanou nabíječkou může dlouhodobě provozovat svůj transceiver (při poměru dob vysílání/příjem rovném 1/10), aniž by potřeboval výkonný napájecí zdroj (13,8 V/5 A).

QST, květen 2001

Různě aplikovaná elektronika

Kuchyňský časovač

Časovač po stisknutí tlačítka sepne relé, které vypne po nastavené době několika minut až desítek hodin. Doba sepnutí relé se určuje plynule potenciometrem a hrubě propojkami nebo přepínačem.

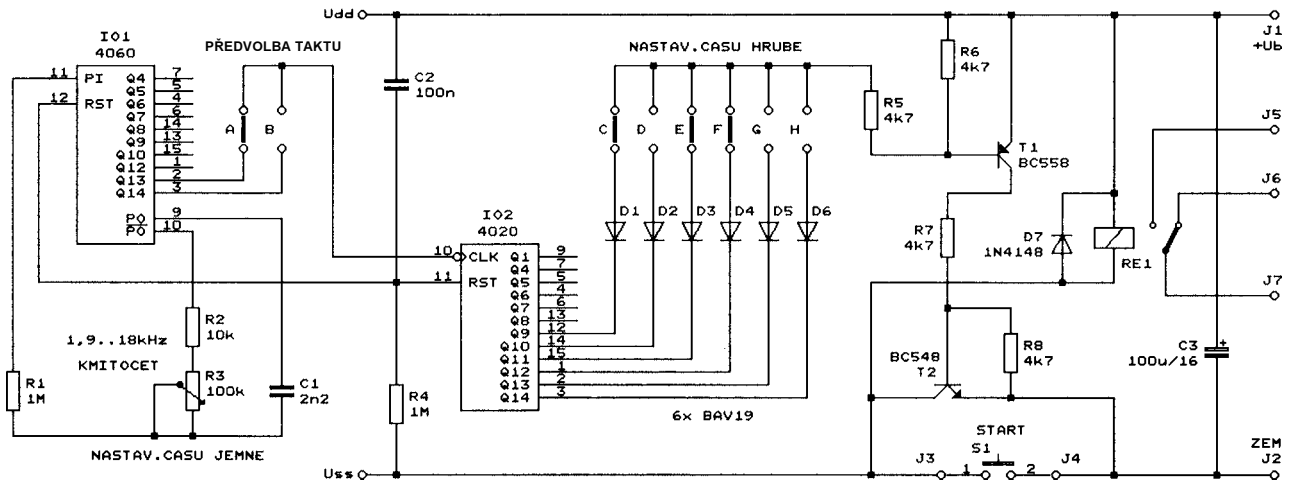
Doba sepnutí je odvozena číslicově binárními děličkami z periody signálu nf oscilátoru, který kmitá v rozsahu 1,9 až 18 kHz. Kmitočet oscilátoru je určen stabilními součástkami, takže díky použitému principu je i doba sepnutí relé přesně definována a je stabilní.

Časovač je určen do kuchyně pro odměřování času při vaření a pečení, lze jej však použít i k jakýmkoliv jiným účelům v domácnosti, reklamě i průmyslové výrobě.

Schéma časovače je na obr. 4. Obvod IO1 (CMOS 4060) obsahuje nf oscilátor a vícestupňovou binární děličku kmitočtu.

Kmitočet oscilátoru je určen součástkami C1 a R1 až R3. Trimrem (nebo potenciometrem) R3 můžeme kmitočet plynule měnit v rozsahu 1,9 až 18 kHz.

Z výstupů děličky Q13 a Q14 se odebírá taktovací signál. Na propojce A má taktovací signál z výstupu Q13 kmitočet 0,232 až 2,2 Hz (kmitočet oscilátoru dělený číslem 8192), resp. periodu 4,31 až 0,454 s, na propojce B má taktovací signál z výstupu Q14 kmitočet 0,116 až 1,1 Hz (kmitočet oscilátoru dělený číslem 16384), resp. periodu 8,62 až 0,91 s. Zkratováním jedné z propojek A nebo B volíme rozsah doby sepnutí relé.



Obr. 4. Kuchyňský časovač

Z propojek A, B se vede taktovací signál do druhé vícestupňové binární děličky IO2 (CMOS 4020). Z výstupů Q9 až Q14 IO2 se odebírají spínací signály, kterými se přes součtový obvod s diodami D1 až D6 řídí tranzistorový spínač napájení (T1, T2) a relé (RE1). Propojkami C až H se volí, kolik signálů z výstupů IO2 se uplatní v součtu.

V klidovém stavu jsou tranzistory T1 a T2 vypnuté a IO ani relé nejsou napájené. Když chceme časovač aktivovat, stiskneme tlačítko S1. Sepnutím tlačítka se zavede napájecí napětí do relé a do IO a oba IO se obvodem s C2 a R4 vynulují. Na výstupech Q9 až Q14 IO2 je nízká úroveň L, která přes diody a propojky sepne tranzistory T1 a T2. Protože T2 je připojen paralelně k S1, zůstanou IO napájené a relé sepnuté i po uvolnění tlačítka. Oscilátor kmitá a IO2 čítá taktovací impulzy. Předpokládejme, že máme zkratovanou pouze propojku C. Po načítání 256 taktovacích impulzů přejde výstup Q9 IO2 do úrovně H a přes propojku C se vypnou tranzistory T1 i T2. Tím se odpojí napájení časovače, relé vypne a časovač se uvede do klidového stavu. Podobně, je-li zkratována pouze propojka D (E, F, G, H), vypne relé po přechodu výstupu Q10 (atd.) IO2 do úrovně H po 512 (1024, 2048, 4096, 8192) taktovacích impulzech. Je-li současně zkratováno několik propojek C až H, vypne se relé po načítání součtu počtů taktovacích impulzů odpovídajících zkratovaným propojkám (např. při zkratovaných propojkách C, E a F podle obr. 4 vypne relé po 256 + 1024 + 2048 = 3328 taktovacích impulzech).

Z uvedených period taktovacích impulzů a z jejich počtu můžeme snadno určit (vynásobením) dobu sepnutí relé pro různé konfigurace propojek A až H.

Některé propojky můžeme podle potřeby vynechat, nebo je můžeme nahradit přepínačem DIL, přepínačem BCD apod.

Kontakty relé RE1 se ovládá bzučák nebo jakékoliv jiné zařízení.

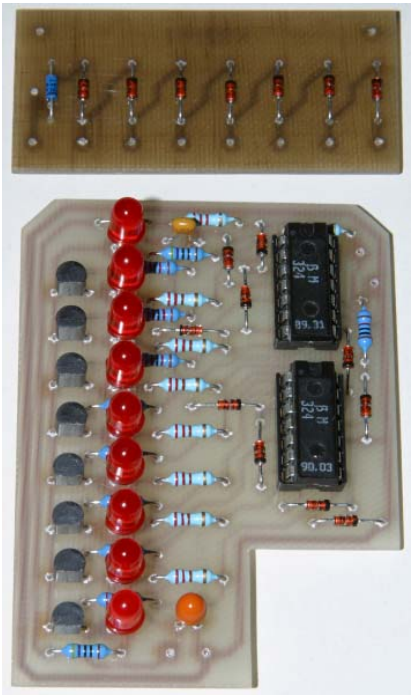
V původním prameni nebyla uvedena velikost napájecího napětí *+Ub*. To může zřejmě být podle provozního napětí relé +5 nebo +12 V.

Radioelektronik Audio-HiFi-Video,11/2001

Tester vícežilových kabelů

Při listování starými časopisy bylo nalezeno zapojení, které je stále aktuální a je sestaveno z věčně zelených součástek - diod 1N4148, LED, operačních zesilovačů LM324 atd. Jediná, dnes již nedostupná součástka - germaniový tranzistor PNP, byla nahrazena Schotkyho diodou BAT47. Jedná se o tester vícežilových kabelů.

Tester je určen k identifikaci jednotlivých žil (vodičů) v kabelů a můžeme jím určit též zkraty a přerušené vodiče.



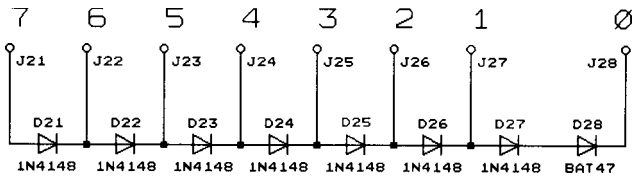
Vysílač a přijímač testeru vícežilových kabelů

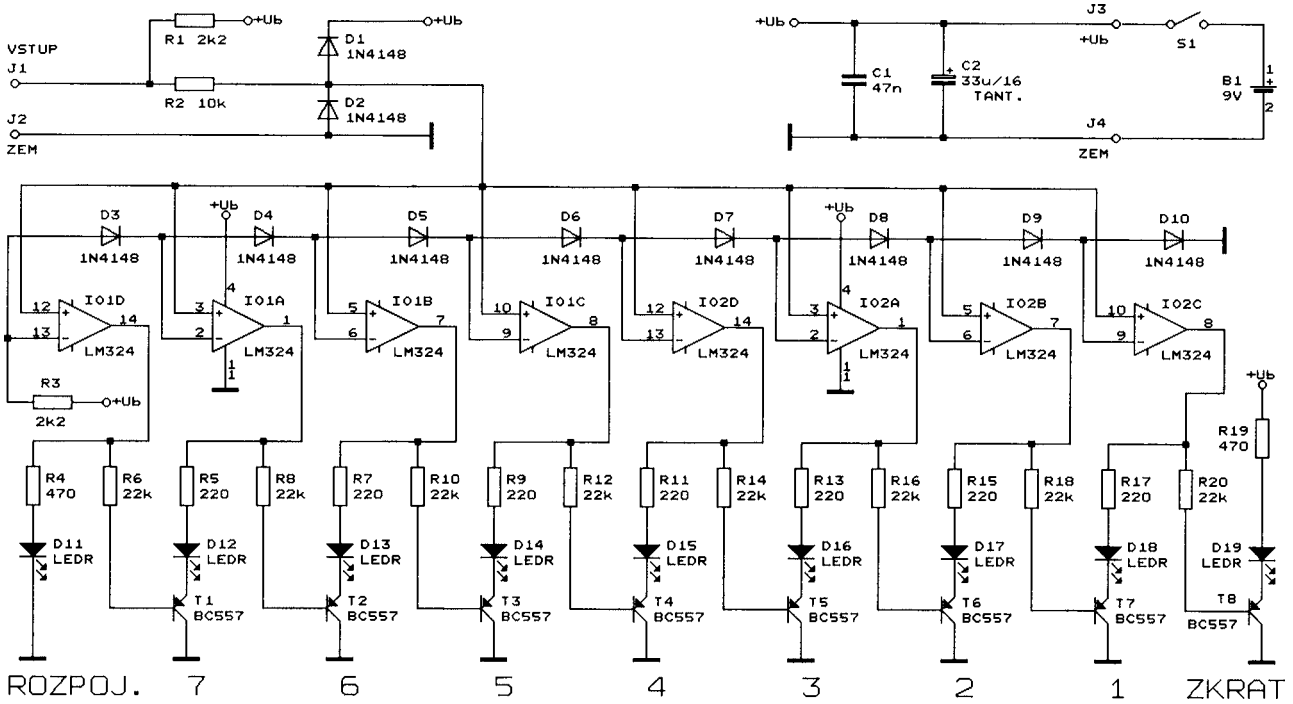
Tester je tvořen dvěma díly - vysílačem, jehož schéma je na obr. 5, a přijímačem, jehož schéma je na obr. 6.

Vysílač má osm vývodů s krátkými kablíky s krokodýlky, které jsou označeny čísly 0 až 7. Vývod 0 se připojí na jednom konci kabelu k barevně odlišenému vodiči kabelu nebo ke stínění, vývody 1 až 7 se na témž konci kabelu spojí s jednotlivými vodiči kabelu.

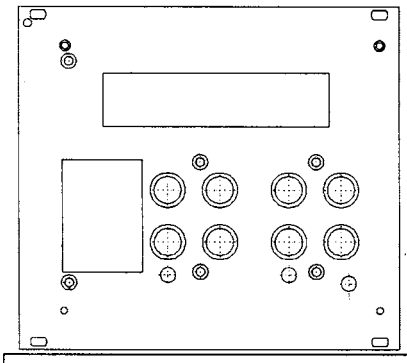
Přijímač má dva vývody s krátkými kablíky s krokodýlky, označené ZEMĚ a VSTUP. Dále je na přijímači devět LED, označených ZKRAT, 1 až 7 a ROZPOJENO. Vývod ZEMĚ připojíme na druhé

Obr. 5. Vysílač testeru vícežilových kabelů





Obr. 6. Přijímač testeru vícežilových kabelů

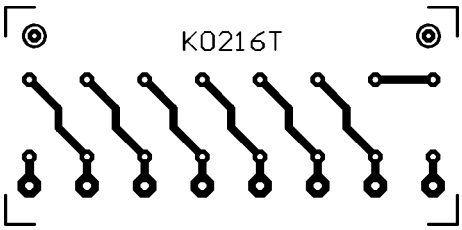


!!!!!!!!!!Mechanické díly nejen pro elektroniku!!!!!!!!!!

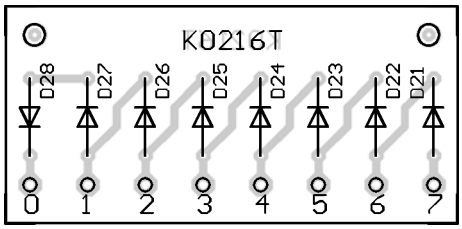
Na CNC strojích provádíme tyto práce:
- *výrobu přesných přístrojových panelů*
- *úpravy profesionálně vyráběných panelů od světových špičkových výrobců (Schroff, Fischer, atd.) za tuzemské ceny*
- *výrobu přesných lineárních i nelineárních stupnic přímých i kruhových*
- *vyřezávání nápisů do neželezných plechů a vícevrstvých plastů*
- *vyřezávání negeometrických tvarů*
- *tvorbu komplexních vizuálních informačních systémů*
- *výrobu firemních štítů*

HP – průmyslová elektronika

tel. 02-6791 3846, fax 02-6791 3847, e-mail: hp@telecom.cz, mobil 0602-261 444



Obr. 7. Obrazec plošných spojů vysílače testeru víceżilových kabelů (měř.: 1:1)



Obr. 8. Rozmístění součástek na desce vysílače testeru víceżilových kabelů

straně kabelu k témuž vodiči (stínění), ke kterému je připojen vývod 0 vysílače. Vývod VSTUP pak připojujeme k jednotlivým vodičům kabelu a rozsvítí se vždy LED označená stejným číslem jako vývod vysílače, připojený k témuž vodiči. Pokud je vývod VSTUP odpojen, svítí LED ROZPOJENO, při spojených vývodech VSTUP a ZEM svítí LED ZKRAT.

Přijímač je tvořen zdrojem proudu (nikoliv ideálním - baterií B1 se sériovým rezistorem R1), ke kterému je paralelně připojen bodový indikátor devíti úrovní napětí. Rozhodovací úrovně indikátoru jsou určeny řetězcem diod D3 až D10 a při teplotě 20 °C jsou 0,63; 1,27; 1,90; 2,54; 3,17; 3,80; 4,43 a 5,07 V.

Vysílač je tvořen řetězcem diod D21 až D28, které po připojení přijímače mezi vývody 0 a 1 až 7 poskytují referenční napětí 0; 0,92; 1,58; 2,23; 2,88; 3,50; 4,12 a 4,72 V (při teplotě 20 °C).

Propojujeme-li přijímač dříve popsaným způsobem prostřednictvím vodičů testovaného kabelu s jednotlivými vývody vysílače, pak indikátor napětí zobrazuje jednotlivá referenční napětí vysílače a tak můžeme určit, ke kterému vývodu vysílače je testovaný vodič připojen.

Přijímač je napájen napětím 9 V z destičkové baterie, vysílač je pasivní.

Součástky vysílače i přijímače jsou připájené na deskách s plošnými spoji (obr. 7 až obr. 10). Na desce přijímače je jedna drátová propojka. K deskám jsou připájené kablíky o délce asi 20 cm, které mají na koncích krokodýlky. Tester nevyžaduje žádné seřizování.

Zapojené desky jsou vestavěné do malých skříněk z plastické hmoty. Na skříňkách jsou nalepené papírové štítky s označením kablíků a LED.

Tester byl realizován a proměřen, pracoval na první zapojení.

Seznam součástek

Rezistory (s kovovou vrstvou, 0,5 W, 1 %)

R1, R3	2,2 kΩ
R2	10 kΩ
R4	10 kΩ
R4, R19	470 Ω
R5, R7, R9, R11, R13, R15, R17	220 Ω
R6, R8, R10, R12, R14, R16, R18, R20	22 kΩ

Kondenzátory

(keramický, RM = 5 mm)

C1	47 nF

(elektrolytický, tantalový, kapkový)

C2	33 μF/16 V

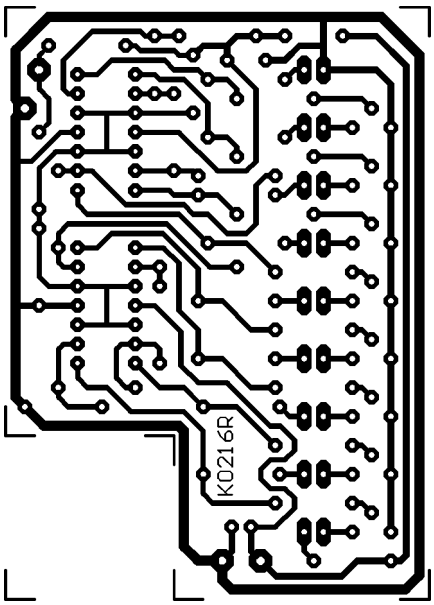
Polovodičové součástky

D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D21, D22, D23, D24, D25, D26, D27	1N4148
D11, D12, D13, D14, D15, D16, D17, D18, D19	LED červená, 5 mm, 2 mA
D28	BAT47
T1, T2, T3, T5, T6, T7, T8, T9	BC557
IO1, IO2	LM324

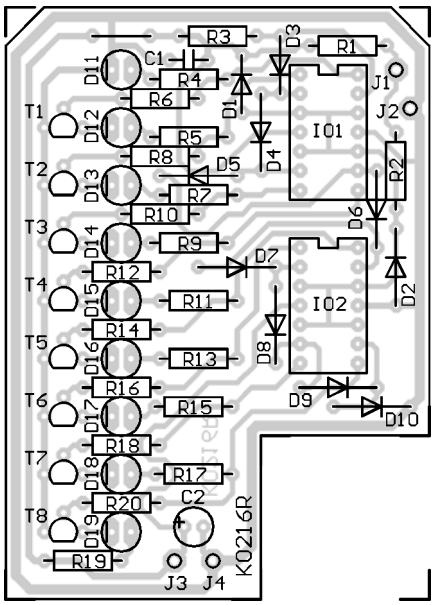
Ostatní součástky

deska s plošnými spoji č.: K0216T (vysílač), K0216R (přijímač)
objímka DIL14 (pro IO1 a IO2)
skříňky z plastické hmoty, spínač napájení, baterie 9 V s připojovacím konektorem, kablíky, krokodýlky atd.

ELO, 8/1982



Obr. 9. Obrazec plošných spojů přijímače testeru víceżilových kabelů (měř.: 1:1)



Obr. 10. Rozmístění součástek na desce přijímače testeru víceżilových kabelů